

Baustellen an Hochleistungsstrassen

Verkehrstechnische Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses

Prof. P. Spacek
M. Laube
G. Santel

Forschungsauftrag VSS 1999/127 auf Antrag
des Schweizerischen Verbandes der Strassen-
und Verkehrsfachleute (VSS)

Zürich, August 2005

Vorwort

Die vorliegende Untersuchung hatte zum Ziel, Massnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Verkehrsflusses im Zufahrtsbereich zu Autobahnbaustellen abzuleiten. Zu diesem Zweck mussten auch empirische Daten im realen Verkehrsablauf erhoben und analysiert werden. Die Einrichtung und Durchführung entsprechender Feldversuche auf schnell und stark befahrenen Strassen war anspruchsvoll und personalintensiv; sie war auch nicht ungefährlich. Das Gelingen der Erhebungen war nur dank tatkräftiger Unterstützung durch die örtlichen Unterhaltsdienste möglich.

Der fachliche Gedankenaustausch mit der verkehrstechnischen Abteilung der Kantonspolizei Zürich hat massgeblich zum zielgerichteten Vorgehen beigetragen. Besonders wertvoll war der Support im messtechnischem Bereich sowie bei der Analyse der Unfalldaten.

Die Untersuchungsarbeiten wurden durch die Expertenkommission 3.02 der VSS intensiv begleitet. Einzelne Kommissionsmitglieder haben auch wiederholt die Versuchsdurchführung vor Ort besichtigt und mit praktischen Hinweisen zum Gelingen der Arbeiten beigetragen.

Einen besonderen Dank gebührt auch den örtlichen Bauleitern und den Verantwortlichen der Kantone Aargau, St. Gallen und Zug für ihr Entgegenkommen bei der Einrichtung der Versuchsanordnungen an den Baustellen sowie dem Kanton Uri für das unentgeltliche zur Verfügung stellen der Baustellen-Signalportale.

Neben den Berichtenden haben am IVT folgende MitarbeiterInnen an den Untersuchungsarbeiten massgeblich mitgewirkt: Frau C. Heil (Unfalluntersuchungen), Herren I. Belopitov und Th. Koy (Messdurchführung und –auswertung) und Herr Th. Weber (Datenauswertung und –verwaltung sowie statistische Berechnungen). Bei den Messarbeiten haben auch verschiedene Studenten mitgeholfen. Allen Beteiligten sei an dieser Stelle gedankt.

Prof. P. Spacek

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Ausgangslage.....	1
1.2. Auftrag.....	2
1.3. Problemstellung und Abgrenzungen.....	2
1.4. Forschungsziele.....	3
1.5. Untersuchungsvorgehen.....	4
1.6. Bisherige Untersuchungen.....	6
1.6.1. Erkenntnisse aus der Schweiz.....	6
1.6.2. Ausländische Unterlagen.....	6
2. Vorarbeiten	9
2.1. Betriebsformen und Abschnitte der Baustellen.....	9
2.1.1. Verkehrsführung in Baustellenbereichen.....	9
2.1.2. Baustellenabschnitte.....	10
2.2. Baustellenumfragen.....	11
2.3. Einflussgrößen.....	11
2.3.1. Gliederung.....	11
2.3.2. Diskussion und Auswahl.....	13
2.4. Erhebungsgrößen.....	14
2.4.1. Geschwindigkeitsverhalten in der Zufahrt.....	14
2.4.2. Spurverhalten in der Überleitung.....	14
2.4.3. Fahrstreifenwechsel.....	15
2.5. Versuche.....	15
2.5.1. Versuchsbedingungen.....	15
2.5.2. Versuchselemente.....	16
2.6. Evaluation der Messeinrichtungen.....	17
2.6.1. Messeinrichtungen des IVT.....	18
2.6.2. Induktivplatten.....	19
2.6.3. Vergleichsmessungen.....	19
2.6.4. Installationsbedingungen.....	20
2.7. Anforderungen an Unfalldaten.....	20
3. Felderhebungen	22
3.1. Untersuchungsstrecken.....	22
3.1.1. Untersuchungsstrecke SG1.....	23
3.1.2. Untersuchungsstrecke SG2.....	23
3.1.3. Untersuchungsstrecke ZG1.....	23
3.1.4. Untersuchungsstrecke AG1.....	24
3.2. Versuchsanordnungen.....	24
3.3. Messanordnung und -durchführung.....	25
3.3.1. Messanordnung.....	25
3.3.2. Messdurchführung.....	26

3.4. Art und Umfang der Datenauswertungen.....	27
4. Untersuchungen des Unfallgeschehens.....	29
4.1. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecken SG1 und SG2.....	29
4.2. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke ZG1.....	29
4.3. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke AG1.....	30
5. Messergebnisse.....	31
5.1. Ergebnisse der Untersuchungsstrecke SG1.....	31
5.1.1. Geschwindigkeitsverhalten	32
5.1.2. Spurverhalten in der Überleitung	39
5.1.3. Fahrstreifenwechsel	42
5.1.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke SG1	42
5.2. Ergebnisse Untersuchungsstrecke SG2	44
5.2.1. Geschwindigkeitsverhalten	44
5.2.2. Spurverhalten in der Überleitung	59
5.2.3. Fahrstreifenwechsel	62
5.2.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke SG2.....	63
5.3. Ergebnisse Untersuchungsstrecke ZG1.....	65
5.3.1. Geschwindigkeitsverhalten	66
5.3.2. Spurverhalten in der Überleitung	73
5.3.3. Fahrstreifenwechsel	75
5.3.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke ZG1	75
5.4. Ergebnisse Untersuchungsstrecke AG1	77
5.4.1. Geschwindigkeitsverhalten	78
5.4.2. Spurverhalten in der Überleitung	80
5.4.3. Fahrstreifenwechsel	81
5.4.4. Baustellenbedingte Verkehrsbehinderungen	82
5.4.5. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke AG1.....	84
6. Ergebnisse der Unfallauswertungen.....	86
6.1. Bisherige Erkenntnisse.....	86
6.1.1. Unfallgeschehen an früheren HLS-Baustellen in der Schweiz	86
6.1.2. Unfallgeschehen an ausländischen Autobahnbaustellen	96
6.2. Unfallgeschehen im Bereich der Untersuchungsstrecken.....	101
6.2.1. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke SG1.....	101
6.2.2. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke SG2.....	104
6.2.3. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke ZG1	106
6.2.4. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke AG1	107
6.2.5. Unfallschwerpunkte im Baustellenbereich der Untersuchungsstrecken	110
6.3. Vergleiche mit Unfallgeschehen an anderen Baustellen.....	112
6.3.1. Vergleiche mit früheren Baustellen in der Schweiz.....	112
6.3.2. Vergleiche mit ausländischen Baustellen	113
7. Analyse der Messergebnisse.....	115
7.1. Einleitung.....	115
7.2. Vorgehen bei der Analyse	116
7.2.1. Arbeitsschritte.....	116

7.2.2. Statistische Tests	117
7.3. Verkehrsablauf im Zufahrtsbereich.....	118
7.3.1. Einfluss der Tempolimits	119
7.3.2. Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung	130
7.3.3. Einfluss weiterer Merkmale	135
7.3.4. Zusammenhänge mit Unfallgeschehen in der Zufahrt.....	140
7.4. Verkehrsablauf im Ein- und Überleitungsbereich	141
7.4.1. Einfluss der Tempolimits	141
7.4.2. Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung	151
7.4.3. Einfluss der Leiteinrichtungen.....	153
7.4.4. Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse.....	167
7.4.5. Zusammenhänge mit Unfallgeschehen im Überleitungsbereich	174
8. Folgerungen und Empfehlungen	175
8.1. Folgerungen aus Erhebungen.....	175
8.1.1. Unfallgeschehen in Baustellenbereichen.....	175
8.1.2. Verkehrsablauf in Baustellenbereichen	177
8.2. Folgerungen aus weiteren Erkenntnissen	183
8.2.1. Gestaltung im Zufahrtsbereich.....	183
8.2.2. Gestaltung im Überleitungsbereich	185
8.3. Empfehlungen	185
8.3.1. Signalisation	186
8.3.2. Verkehrsüberwachung.....	187
8.3.3. Leiteinrichtungen	188
8.3.4. Weitere Massnahmen	188
8.3.5. Baustellen an Autostrassen	189
8.3.6. Ergänzende Forschungsthemen.....	189
8.4. Normung.....	190
8.4.1. Analyse der bestehenden Normen	190
8.4.2. Vorschläge zur Normung	193
9. Verzeichnisse und Quellen	194
9.1. Literaturverzeichnis.....	194
9.2. Abbildungsverzeichnis	196
9.3. Tabellenverzeichnis	199

Zusammenfassung

Ausgangslage und Auftrag

Bisherige Untersuchungen an Autobahnbaustellen deuten darauf hin, dass die Hauptprobleme der Verkehrssicherheit (Unfallentstehung) im Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und der Baustelle liegen. Dieser umfasst den stromaufwärts liegenden Autobahnabschnitt mit entsprechend herabgesetzter Höchstgeschwindigkeit sowie den Überleitungs- bzw. Einengungsbereich. Anders als längs der Baustelle, wo in der Regel gleichmässig gefahren wird, entstehen im Zufahrtbereich im Zusammenhang mit der notwendigen Geschwindigkeitsanpassung an die signalisierte Tempolimiten Inhomogenitäten im Verkehrsablauf. Sie manifestieren sich in einer erhöhten Geschwindigkeitsstreuung und in häufigeren Fahrstreifenwechseln.

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde die Forschungsgemeinschaft beauftragt, die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangsbereichs vor den Baustellen und den Merkmalen des Verkehrsablaufs bei verschiedenen Baustellentypen zu erkennen. Die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die damit verbundene Verkehrssicherheit sollen abgeschätzt werden. Grundsätze und Empfehlungen für die örtlich zweckmässige Ausgestaltung der Übergangsbereiche vor Baustellen bei verschiedenen Betriebsformen sollen abgeleitet werden.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Gestaltung und die entsprechenden Auswirkungen auf das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker im Übergangsbereich vor Baustellen. Dazu wurden verschiedene Versuchsanordnungen untersucht. Die Erhebungen wurden bewusst auf Verkehrszeiten mit kleineren bis mittleren Verkehrsstärken ausgelegt.

Feldversuche und Unfallgeschehen

Bei den Felderhebungen bei Autobahnbaustellen wurden die Auswirkungen auf das Fahrverhalten bei verschiedenen signalisierten Höchstgeschwindigkeiten und bei verschiedenen Leiteinrichtungen vor und im Einleitungsbereich der Baustelle untersucht. Dazu wurden Erhebungen im Bereich von vier Untersuchungsstrecken mit Baustellen, mit insgesamt 16 Versuchsanordnungen durchgeführt. Erhoben wurde das Geschwindigkeitsverhalten und die Fahrstreifenwechsellvorgänge in den Baustellenzufahrten sowie das Spurverhalten in den Überleitungen. Insgesamt wurden an den Messquerschnitten der vier Baustellen 32'630 Fahrzeuge erfasst.

Zur Beurteilung der Verkehrssicherheit wurde das Unfallgeschehen von sechs früheren Autobahnbaustellen aus der Schweiz untersucht, sowie die Erkenntnisse aus Unfalluntersuchungen an ausländischen Autobahnbaustellen einbezogen. Bei den vier Untersuchungsstrecken wurden die Merkmale Unfallort (Zuordnung zu den Baustellenabschnitten) und Fahrtrichtung bzw. Fahrbahn, sowie Unfalltyp (Kollisionsentstehung), Unfallbeteiligte (Fahrzeugarten) und Unfallfolgen (Angabe der Verletzungsfolgen und des Sachschadens) ausgewertet und anhand der Vorher-/Nachher- und Mit-/Ohne-Vergleiche analysiert.

Analysen der Messergebnisse

Bei der Beurteilung der Messergebnisse wurden folgende Beschreibungsgrössen des Verkehrsablaufs verwendet:

- Für die Geschwindigkeitsverteilung an den massgebenden Querschnitten die Standardabweichungen S um die mittlere Geschwindigkeit V_m und
- für die Geschwindigkeitsanpassung die Geschwindigkeitsdifferenzen und die mittleren Verzögerungen zwischen den massgebenden Querschnitten. Dabei wurden die Fahrzeuggruppen „Alle MFz“ (charakterisiert mit V_m) und „schnellfahrende MFz“ (charakterisiert mit $V_{85\%}$) betrachtet.

- Analog wurden bei der Spurverteilung die Standardabweichungen an den massgebenden Querschnitten und
- die Verschiebungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen von der Fahrstreifenmitte herangezogen.
- Bei den Fahrstreifenwechseln wurden die Häufigkeit und die Richtung der Wechselvorgänge in der Baustellenzufahrt verwendet.

Bei der Analyse der Einflüsse wurde in einem ersten Schritt geprüft, welche der Veränderungen beim Vergleich einzelner Versuche statistisch signifikant sind. Für signifikante und sicherheitsrelevante Veränderungen wurden in einem zweiten Schritt die möglichen Erklärungen anhand der versuchsbedingten und/oder versuchsunabhängigen Einflüsse gesucht. Dabei wurden auch – soweit möglich und sinnvoll – Vergleiche zwischen den Untersuchungsstrecken angestellt und Ergebnisse aus anderen Untersuchungen einbezogen.

Analysen des Unfallgeschehens

Aus dem Unfallgeschehen ergaben sich zusammenfassend folgende Erkenntnisse:

Die beträchtlichen Unterschiede in der Unfallhäufigkeit zwischen den einzelnen Autobahnbaustellen deuten an, dass mit geeigneten Gestaltungsmaßnahmen Sicherheitsverbesserungen grundsätzlich möglich sind. Dies haben Versuchsanordnungen mit verschiedenen Leit- und Trenneinrichtungen sowie die Anordnung von Überwachungsmaßnahmen in der vorliegenden Arbeit auch gezeigt.

Baustellen-Innenbereiche ausserhalb von Anschlüssen/Verzweigungen der Betriebsformen 4+0 und 3+1 weisen im Vergleich zum Zustand ohne Baustelle in der Regel keine erhöhte Unfallhäufigkeit auf, wenn die Fahrrichtungen mittels Baustellenleitschranken baulich getrennt werden. Diese Folgerung trifft für Autobahnabschnitte mit einem DTV von bis zu 50'000 MFz/Tag zu.

Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung von Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich vor. Sie werden oft mit einer im Vergleich zu den Über- bzw. Rückleitungen auffallend kleineren Sorgfalt eingerichtet und bilden in der Regel eigentliche Unfallschwerpunkte.

Die überdurchschnittlich häufigen Unfälle bei Dunkelheit erfordern Bemühungen um die Verbesserung der optischen Führung im Baustellenbereich. Diese Forderung bezieht sich auf die Gestaltung der Mittelstreifenüberfahrten, der Baustellen-Innenbereiche sowie der bereits erwähnten Anschlüsse im Baustellenbereich.

Empfehlungen

In der vorliegenden Untersuchung konnten insgesamt 36 Folgerungen abgeleitet werden. Aufgrund dieser Erkenntnisse lassen sich die nachfolgend zusammengestellten Empfehlungen zur Gestaltung von Autobahnbaustellen abgeben. Sie gelten für Betriebsformen von Baustellen ohne Reduktion der Fahrstreifenanzahl.

Signalisation; Tempolimit im Baustellenbereich

Anders als die Tempolimit von 100 km/h wird jene von 80 km/h von den Fahrzeuglenkern bei allen hier untersuchten Betriebsformen sowohl in der Baustellenzufahrt als auch in der Überleitung massiv missachtet. Hinsichtlich des Verzögerungsverhaltens in der Überleitung hat die Tempolimit kein Einfluss, weil die Geschwindigkeitsabnahme bei beiden Tempolimiten grösstenteils vor der Überleitung erfolgt. Durch die Anordnung der Tempolimit von 80 km/h erfolgt auch keine überproportionale Beeinflussung der sicherheitsrelevanten, schnell fahrenden Fahrzeuge. Umgekehrt bewirkt die Anordnung der Tempolimit von 100 km/h keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen im Geschwindigkeitsverhalten: Die Geschwindigkeitsverläufe sind in der Regel ausgeglichener als bei Tempolimit von 80 km/h.

Die Anordnung der Tempolimit von 100 km/h bedarf klarer Voraussetzungen. Die wichtigsten sind:

- *Ausreichende Fahrstreifenbreite im Baustellen-Innenbereich*
- *Mittels Baustellenleitschranken baulich getrennte Fahrtrichtungen im Baustellen-Innenbereich und physisch gesicherte Arbeitsbereiche*
- *Günstige Gestaltung der Mittelstreifenüberfahrt*

Signalisation; Lage der Geschwindigkeitssignale

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unabhängig von der Höhe der Tempolimite rund ein Drittel der gesamten Geschwindigkeitsanpassung im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals (ca. 350 m vor der Überleitung) erfolgt. Wesentlich ist dabei, dass anschliessend bis zum Beginn der Überleitung die Geschwindigkeiten in Richtung Baustelle nicht wieder ansteigen. Deshalb ist das zweite Geschwindigkeitssignal auch bei Tempolimite 100 km/h als Wiederholungs- bzw. Bestätigungsanzeige sinnvoll.

Verkehrsüberwachung

Die Verkehrsüberwachung mittels einer stationären Radaranlage hat sich als ein wirksames Hilfsmittel zur Homogenisierung des Verkehrsablaufs im Baustellenbereich erwiesen. Sie führt zu einer frühzeitigeren und gleichmässigeren Geschwindigkeitsanpassung. Insbesondere gelingt es mit der Radarüberwachung die exzessiv erhöhten Fahrgeschwindigkeiten in der Zufahrt deutlich zu reduzieren. Vergleichende Untersuchungen an Baustellen im Kanton Zürich haben gezeigt, dass mit dieser Massnahme auch eine deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit im gesamten Baustellenbereich erreicht wird.

Aufgrund vorliegender Erkenntnisse können zum Einsatz der Radarüberwachung folgende Empfehlungen angegeben werden:

- *Geeignete Einsatzorte sind*
 - *vor Überleitungen (bzw. Verschwenkungen oder Fahrstreifenabbaus) zu Beginn des Baustellen-Innenbereichs*
 - *vor Einfahrten, die sich im Baustellen-Innenbereich befinden.*
- *Die Anordnung der Radaranlagen sollte in einem Abstand von ca. 100 bis 150 m vor den genannten Einsatzorten erfolgen; Abstände von mehr als 200 m sind zu vermeiden.*
- *Zur Entfaltung der präventiven Wirkung sollten die Radaranlagen sichtbar sein und mit Hinweisschildern angekündigt werden.*

Leiteinrichtungen

Die überdurchschnittlich häufigen Unfälle bei Dunkelheit erfordern Bemühungen zur Verbesserung der optischen Führung im Baustellenbereich. In der vorliegenden Untersuchung hat sich die Zweckmässigkeit von linienförmigen und niedrigen Leiteinrichtungen (Leitschiene mit aufgesetzten Leitbaken im Kleinformat) im Bereich von Überleitungen gezeigt.

Bei der Anordnung mit Leitschienen und niedrigen Baken ergeben sich in der Überleitung homogenere Geschwindigkeitsverläufe in der Zufahrt und eine wesentlich bessere Fahrzeugführung in der Überleitung als bei der Anordnung mit hohen Baken. Diese Unterschiede sind bei Dunkelheit ausgeprägt. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass bei hohen Leitbaken die Linienführung der Überleitung wegen Verdeckungs- und Blendeffekten in Augenhöhe der Fahrzeuglenker nicht immer rechtzeitig eingeschätzt werden kann.

Im Hinblick auf den Baustellenbetrieb nachts wird deshalb empfohlen:

- *Im Bereich von Überleitungen und Fahrstreifenverschwenkungen sollten vermehrt Leitschienen mit niedrigen Leitbaken (im Klein- oder Miniformat) eingesetzt werden.*
- *Hohe Leitbaken sollten bei gekrümmten Fahrstreifenführungen nicht verwendet werden. Ihr Einsatz zur optischen Abtrennung des Hindernisbereichs sollte sich auf gestreckte Abschnitte beschränken.*

Weitere Massnahmen

- Geometrie der Mittelstreifenüberfahrt

Die Messungen haben gezeigt, dass grössere Öffnungslängen und überbreite Fahrstreifen in der Überleitung zu erhöhten Geschwindigkeiten führen. Bei Öffnungslängen von über 100 m wird eine Tempolimite von 80 km/h auch am Ende der Überleitung von ca. 50 bis 70% aller Fahrer nicht eingehalten. Solche Öffnungslängen sind nur zusammen mit einer Tempolimite von 100 km/h angezeigt. Bei Fahrstreifenbreiten von deutlich mehr als 4.0 m und Fahrraumbreiten zwischen den Leiteinrichtungen von gegen 10.0 m entsteht im Spurverhalten ein Schwimmeffekt. Für eine straffe Spurführung sind überbreite Fahrstreifen in der Überleitung zu vermeiden.

- **Physische Richtungstrennung**
Die Unfallauswertungen für die Untersuchungsstrecken haben gezeigt, dass Baustellen-Innenbereiche ausserhalb von Anschlüssen/Verzweigungen bei den Betriebsformen 4+0 und 3+1 keine erhöhte Unfallhäufigkeit im Vergleich zum Zustand ohne Baustelle aufweisen. Dabei ist von Bedeutung, dass bei allen untersuchten Baustellen die Fahrrichtungen mittels Baustellenleitschranken baulich getrennt waren. Diese physische Trennung der Fahrrichtungen im Baustellen-Innenbereich sollte wenn immer möglich eingerichtet werden.
- **Fahrstreifenabbau**
Die Leistungsfähigkeit im Baustellenbereich wird allein schon infolge der reduzierten Fahrstreifenbreiten und der eingeschränkten seitlichen Hindernisfreiheiten um bis zu 30% vermindert. Wird zudem die Anzahl von Fahrstreifen reduziert, ergeben sich infolge Verkehrsbehinderung entsprechend hohe Zeitverluste und Unfallkosten. Die Unfallauswertungen in dieser Untersuchung haben auch deutlich gezeigt, dass Verkehrsführungen mit Fahrstreifenreduktionen im Baustellenbereich bereits bei mittleren Verkehrsbelastungen zu einer überproportionalen Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen.
- **Ein-/Ausfahrten**
Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung der Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich vor. Sie werden oft mit einer im Vergleich zu den Über- bzw. Rückleitungen auffallend kleineren Sorgfalt eingerichtet und bilden in der Regel eigentliche Unfallschwerpunkte.

Normung

Die Analyse der bestehenden VSS-Normen für Einrichtung und Betrieb von Baustellen an Hochleistungsstrassen ergab mehrere Mängel. Im Zusammenhang mit den empfohlenen Verbesserungen wird auch angeregt, den Normungskonzept zu überdenken. Für diese Neukonzeption sprechen auch die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Zusatzuntersuchungen zu den Problemschwerpunkten „Ein- und Ausfahrten im Baustellen-Innenbereich“ und „Tagesbaustellen“.

Resumé

Situation initiale et mandat

Les précédentes études relatives aux chantiers autoroutiers ont montré que les principaux problèmes de sécurité routière (genèse des accidents) concernent la zone de transition entre le tronçon en section courante et le chantier. Cette zone comprend la portion d'autoroute en amont du chantier où la vitesse maximale signalisée est réduite ainsi que la zone de dégagement ou de rétrécissement. Si l'écoulement du trafic est en général homogène le long du chantier, tel n'est pas le cas dans la zone d'approche de celui-ci en raison de l'adaptation nécessaire à la vitesse maximale signalisée, ce qui se traduit par une plus grande dispersion des vitesses et par des changements de voie plus fréquents.

Sur la base de cette situation initiale le centre de recherche a-t-elle été chargée d'établir, pour différents types de chantiers, les principales relations entre, d'une part, les éléments constructifs et d'exploitation de la zone de transition et, d'autre part, les caractéristiques d'écoulement du trafic. En évaluant les conséquences pour l'écoulement du trafic et le niveau de sécurité routière qui en résulte, elle doit en déduire les grands principes d'aménagement des zones de transition pour différentes formes d'exploitation et formuler des recommandations en la matière.

Le présent travail se concentre sur l'aménagement des zones de transition et ses répercussions sur le comportement des conducteurs dans lesdites zones. A cet effet, différentes configurations d'aménagement ont été examinées. Les mesures ont été limitées volontairement aux heures à volume de trafic moyen à faible.

Relevés sur le terrain et accidents

Les relevés sur le terrain consistaient à étudier, dans la zone de chantier, les répercussions de différentes vitesses maximales signalisées et de différents dispositifs de balisage sur le comportement au volant. Ils ont été réalisés sur quatre tronçons autoroutiers en chantier, au moyen de 16 configurations d'aménagement au total. On a ainsi relevé le comportement des conducteurs en matière de vitesse et de changement de voie à l'approche des chantiers ainsi que leur comportement dans les voies au niveau des dégagements, et ce pour un total de 32 630 véhicules sur l'ensemble des points de mesure des quatre tronçons.

Afin d'évaluer la sécurité routière, on a examiné les accidents survenus dans le cadre de six anciens chantiers autoroutiers en Suisse et utilisé les résultats d'études étrangères. Pour les quatre tronçons étudiés, on s'est intéressé au lieu de l'accident (affectation à l'une des sections du chantier), au sens de circulation et/ou à la voie de circulation empruntée ainsi qu'au type d'accident (genèse de l'accident), aux véhicules impliqués (type) et aux conséquences de l'accident (dommages corporels et matériels), puis on a analysé ces informations au moyen de comparaisons avant/après et avec/sans.

Analyse des résultats de mesure

A cette fin, on a utilisé les grandeurs suivantes pour décrire l'écoulement du trafic:

- pour la distribution des vitesses aux points de mesure déterminants: les vitesses moyennes V_m et les écarts-types S ;
- pour l'adaptation de la vitesse: les différences de vitesse et les décélérations moyennes entre les points de mesure déterminants, en considérant les groupes «Tous les véhicules» (caractérisés par V_m) et «Véhicules rapides» (caractérisés par $V_{85\%}$);
- pour la répartition dans les voies, de manière analogue: les écarts-types aux points de mesure déterminants et
- les écarts moyens de l'axe des véhicules par rapport au milieu de la voie;
- pour les changements de voie: la fréquence et la direction des changements dans la zone d'approche du chantier.

Lors de l'analyse des influences, on a, dans un premier temps, examiné quels changements étaient significatifs d'un point de vue statistique par comparaison d'essais individuels. Pour les changements significatifs ayant une incidence sur la sécurité, on a, dans un deuxième temps, cherché les explications possibles à l'aide des influences liées ou non aux essais. Dans la mesure où cela était possible et pertinent, on a aussi procédé à des comparaisons entre les tronçons examinés et utilisé les résultats d'autres études.

Analyse des accidents

Les conclusions de l'analyse des accidents sont les suivantes.

Les différences considérables de fréquence des accidents entre les différents chantiers autoroutiers laissent supposer que la sécurité peut être accrue grâce à des aménagements appropriés. Ceci a pu être montré, dans le cadre de la présente étude, par des essais avec différents dispositifs de balisage et de séparation ainsi que par des mesures de surveillance.

Par rapport aux autoroutes sans chantier, la fréquence des accidents n'est en général pas plus élevée pour les chantiers de la forme d'exploitation 4+0 ou 3+1 situés hors des jonctions ou des échangeurs, à condition que les deux sens de circulation soient séparés par des rails de sécurité. Cette conclusion est valable pour les tronçons autoroutiers avec un TJM jusqu'à 50 000 véhicules/jour.

Le besoin d'agir est plus grand en ce qui concerne l'aménagement des entrées et sorties d'autoroute dans la zone de chantier. En effet, il est souvent porté à celles-ci beaucoup moins d'attention qu'aux dégagements et aux retours sur la chaussée initiale, de sorte qu'elles constituent en général des points noirs en matière d'accidents.

La fréquence supérieure à la moyenne des accidents de nuit requiert des mesures visant à améliorer le guidage optique dans la zone de chantier: aménagement du passage du terre-plein central, du tronçon le long du chantier ainsi que des jonctions dans la zone de chantier.

Recommandations

La présente étude a permis de tirer 36 conclusions au total, dont on a déduit les recommandations suivantes pour l'aménagement des chantiers autoroutiers. Ces dernières sont valables pour tout chantier sans suppression de voie de circulation.

Signalisation: limitation de vitesse dans la zone de chantier

La vitesse maximale de 80 km/h, contrairement à la limitation à 100 km/h, n'est que peu respectée par les conducteurs pour toutes les formes d'exploitation examinées ici, et ce tant dans la zone d'approche du chantier que dans le dégagement. Concernant la décélération dans la zone de dégagement, la limitation de vitesse n'a aucune incidence, car la plus grande partie de la diminution de vitesse a lieu avant le dégagement, et ce pour 80 ou 100 km/h. La fixation de la limite à 80 km/h n'a pas non plus une influence considérable sur les véhicules roulant à vive allure. A l'inverse, la limite de 100 km/h ne porte pas préjudice au comportement en matière de vitesse: l'évolutions de la vitesse sont en général plus homogène que pour la limite de 80 km/h.

La fixation de la limite à 100 km/h nécessite un certain nombre de conditions, dont les principales sont:

- une largeur de voie suffisante le long du chantier;
- des sens de circulation séparés par des rails de sécurité le long du chantier ainsi qu'une zone de travail sécurisée par des mesures physiques;
- un aménagement favorable du passage du terre-plein central.

Signalisation: emplacement des signaux de vitesse

Les études ont montré qu'indépendamment de la limite de vitesse fixée, l'adaptation de la vitesse a lieu pour un tiers environ à proximité du dernier signal de vitesse (soit 350 m environ avant le dégagement). A cet égard, il est important que les vitesses n'augmentent plus jusqu'au début du dégagement. Aussi, il est judicieux de placer un deuxième signal de vitesse, en guise de rappel ou de confirmation, même pour une limite de 100 km/h.

Surveillance du trafic

La surveillance du trafic à l'aide d'un radar fixe s'est révélée être un moyen efficace pour homogénéiser l'écoulement du trafic dans la zone de chantier, car l'adaptation de la vitesse a lieu plus tôt et de manière plus uniforme. Elle permet en particulier de réduire sensiblement les vitesses excessives à l'approche du chantier. Des études comparatives menées sur des chantiers dans le canton de Zurich ont montré que cette mesure permet également une nette amélioration de la sécurité routière pour l'ensemble de la zone de chantier.

Sur la base de ces constatations, on peut formuler les recommandations suivantes en matière de surveillance radar.

→ *Zones préconisées pour le contrôle:*

- *avant le dégagement, le déplacement latéral des voies ou la suppression de voie et jusqu'à hauteur du chantier;*

- *avant les entrées d'autoroute dans la zone de chantier.*

→ *Les radars seront placés 100 à 150 m environ avant les zones ci-dessus; des distances supérieures à 200 m sont à éviter.*

→ *Pour obtenir un effet préventif, les radars devront être bien visibles et annoncés par des panneaux indicateurs.*

Dispositifs de balisage

La fréquence supérieure à la moyenne des accidents de nuit requiert une amélioration du guidage optique dans la zone de chantier. Dans le cadre de la présente étude, les dispositifs de balisage linéaires et de petite taille (rails de balisage sur lesquels ont été enfichées des balises de guidage de petit format) se sont révélés appropriés dans la zone de dégagement.

Dans la configuration d'aménagement avec rails de balisage et balises de guidage de petit format, l'évolution des vitesses est plus homogène dans le dégagement et le guidage des véhicules est nettement meilleur que pour la configuration avec les balises de guidage de grand format. Ces différences sont plus marquées de nuit car, pour les balises de grand format, le tracé du dégagement ne peut pas toujours être appréhendé à temps en raison de l'effet de masquage et de l'éblouissement des conducteurs à hauteur des yeux.

Pour l'exploitation des chantiers de nuit, les recommandations suivantes sont donc formulées:

→ *mise en place de rails de balisage avec balises de guidage enfichées de petit format (ou mini-format) dans la zone de dégagement et de déplacement latéral des voies;*

→ *pas de balises de guidage de grand format lorsque les voies de circulation sont courbées; leur utilisation pour délimiter optiquement l'obstacle devrait se limiter aux tronçons droits.*

Autres mesures

- Géométrie du passage du terre-plein central

Les mesures ont montré que des longueurs d'ouverture trop grandes et des voies de dégagement trop larges conduisent à des vitesses plus élevées. Pour des longueurs d'ouverture de plus de 100 m, environ 50 à 70% des conducteurs ne respectent pas la limitation de vitesse à 80 km/h même à la fin du dégagement. De telles ouvertures sont uniquement appropriées pour une vitesse limitée à 100 km/h. Lorsque la largeur de voie est nettement supérieure à 4,0 m et que la largeur de l'espace de circulation entre les dispositifs de balisage est d'environ 10,0 m, on observe un effet de flottement au niveau du comportement dans les voies de circulation. Pour un guidage rigoureux dans les voies, il faut donc éviter des largeurs de voie trop importantes dans le dégagement.

- Séparation physique des sens de circulation

L'analyse des accidents survenus sur les tronçons étudiés a montré que, par rapport aux autoroutes sans chantier, la fréquence des accidents n'est pas plus élevée pour les chantiers de la forme d'exploitation 4+0 ou 3+1 situés hors des jonctions ou des échangeurs. Il faut toutefois souligner que, pour tous les chantiers étudiés, les sens de circulation étaient séparés par des rails de sécurité. Une telle séparation physique est donc vivement recommandée, dans la mesure où la situation le permet.

- Suppression de voie

Des largeurs de voie plus faibles et le fait que les zones latérales libres d'obstacles soient limitées peuvent réduire la capacité dans la zone de chantier jusqu'à 30%. De plus, en cas de suppression de voie, les entraves à la circulation entraînent une perte de temps et des coûts des accidents plus élevés. L'analyse des accidents réalisée dans le cadre de cette étude a également montré clairement qu'un guidage du trafic avec suppression de voie dans la zone de chantier donne lieu à une très forte augmentation de la fréquence des accidents dès un débit de trafic moyen.

- Entrées et sorties d'autoroute

Le besoin d'agir est plus grand en ce qui concerne l'aménagement des entrées et sorties d'autoroute dans la zone de chantier. En effet, il est souvent porté à celles-ci beaucoup moins d'attention qu'aux dégagements et aux retours sur la chaussée initiale, de sorte qu'elles constituent en général des points noirs en matière d'accidents.

Normalisation

L'analyse des normes VSS relatives à l'aménagement et à l'exploitation des chantiers sur les routes à grand débit a révélé un certain nombre d'insuffisances. Parallèlement aux améliorations recommandées, nous incitons donc à revoir le concept de normalisation. Les études complémentaires relatives aux problèmes-clés «entrées et sorties d'autoroute au niveau des chantiers» et «chantiers de courte durée», proposées dans la présente étude, plaident aussi en faveur d'une telle révision.

Abstract

Background and assignment

Previous research into construction zones on freeways has indicated that the main problems to do with traffic safety are to be found in the transition area between the open freeway and the construction zone. This includes the upstream section of freeway with a suitably reduced speed limit as well as the crossover or narrowing section. Traffic flow along the activity area of the construction zone is generally uniform, but in the approach zone, as speeds are adjusted to the posted speed limit, inconsistencies arise. These manifest themselves in the form of greater speed variation and more frequent lane changes.

Against this background, the researchers were assigned the task of identifying the fundamental correlations between the structural/operational elements which characterize the transition area ahead of the construction zone and the characteristics of the traffic flow at different types of construction zone. The aim is to appraise the effects on traffic flow and thus on traffic safety. Principles and recommendations are to be worked out for locally expedient arrangements in the transition area ahead of construction zones with various service forms.

The present study concentrates on the issue of layout/design and the corresponding effects on the driver behavior of vehicles in the transition area ahead of construction zones. This involved investigating various trial layouts. The data collections were deliberately scheduled for periods of low to medium traffic volumes.

Field trials and accident occurrence

In the field trials at construction zones on freeways, the effects on driver behavior were investigated with various posted speed limits and with various channelization devices ahead of and in the lead-in area to the construction zone. Data was collected at four selected stretches of freeway with construction zones, using a total of 16 trial layouts. Speed behavior and lane changes in the approaches to the construction zones were measured, along with track behavior in the crossovers. Data relating to a total of 32'630 vehicles was collected at the measurement cross-sections in the four constructions zones.

In order to assess traffic safety, accident occurrence at six previous construction zones on Swiss freeways was investigated, along with findings from accident investigations at construction zones on foreign freeways. For the four stretches of freeway selected for the research project, the following parameters were evaluated and analyzed with reference to the before/after and with/without comparisons: accident location (i.e. which construction zone) and direction of travel or carriageway; type of accident (how the collision occurred), parties involved in accident (types of vehicle) and accident consequences (enumeration of the injuries and damage to property caused).

Analyses of the measurement results

The following descriptive quantities were used in assessing the results of the measurements:

- For the speed distribution at the representative cross-sections: the standard deviations S at the average speed V_m and
- for the speed adjustment: the speed differences and the average decelerations between the relevant cross-sections. The vehicle groups used were those of "all veh." (denoted by V_m) and "fast-moving veh." (denoted by $V_{85\%}$).
- Similarly, for the track distribution: the standard deviations at the relevant cross-sections and
- the deviation in the average position of the vehicle axis from the center of the traffic lane.
- For lane changes: the frequency and direction of the lane changes in the approach to the construction zone.

In analyzing the effects, the first step was to check which of the changes are statistically significant in the comparison of individual trials. The second step, for significant changes relevant to safety, was to look for

possible explanations by reference to influences inherent in, and/or independent of, the trials. This included, wherever possible and reasonable, making comparisons between the investigated stretches and consulting the results of other studies.

Analyses of accident occurrence

The findings arising from the accident occurrence data may be summarized as follows:

The considerable difference in accident frequency between the individual construction zones suggests that it is fundamentally possible to improve safety by means of suitable design measures. This is also indicated by the evidence from trial layouts using various channelization and separation devices and by the monitoring measures taken in the present study.

If the directions of travel are structurally separated by construction zone barriers, there is not generally a higher accident frequency within construction zones with the operating forms 4+0 and 3+1 away from access junctions and fork junctions, compared to the situation when there is no construction zone. This applies to sections of freeways with an ADT of up to 50,000 veh/day.

There is a greater need for action in the design of entrances and exits at construction zones. They are often installed with conspicuously less care than the crossovers and termination area (downstream tapers) and tend to represent genuine accident black spots.

The above-average frequency of accidents taking place in darkness makes it clear that attempts should be made to improve visual guidance at construction zones. This applies to the design of the median crossovers, of the areas within the construction zone, and of junctions at the construction zone (referred to above).

Recommendations

The present study led to a total of 36 conclusions. Based on these findings, the following recommendations were made for the design of freeway construction zones. They apply to construction-zone operating forms which do not entail reducing the number of lanes.

Signposting: speed limit at construction zone

Unlike the speed limit of 100 km/h, that of 80 km/h is very widely ignored by drivers in all of the operating forms investigated in the present study – both in the approach to the construction zone and in the crossover. The speed limit has no influence on deceleration behavior in the crossover, as (with both speed limits) the reduction in speed has largely been accomplished before the crossover. Nor does the introduction of an 80-km/h speed limit have any disproportionate influence on the fast-moving vehicles which are a factor in safety levels. Conversely, the introduction of a 100-km/h speed limit does not produce any diminutions relevant to safety in speed behavior: speed adjustments are generally smoother than with a speed limit of 80 km/h.

Clear prerequisites are necessary for the imposition of a 100-km/h speed limit. These include, above all:

- *adequate lane width within the construction zone*
- *construction zone barriers separating the directions of travel within the construction zone, and physically protected working areas*
- *appropriate design of the median crossover.*

Signposting: location of the speed signs

The research has shown that, irrespective of the level of the speed limit, about a third of the total speed adjustment takes place in the vicinity of the final speed sign (approx. 350 m before the crossover). It is important that the speeds of vehicles approaching the construction zone do not then increase again before the start of the crossover. For this reason, it is advisable to install a second speed sign, even with a 100-km/h limit, to serve as a repetition or confirmation.

Traffic monitoring

Traffic monitoring by means of a fixed radar unit has proven to be an effective aid in making traffic flow around the construction zone more consistent. It produces earlier, smoother speed adjustment. In

particular, radar monitoring makes it possible to significantly reduce the excessively high speeds in the approach. Comparative studies at construction zones in Canton Zurich have shown that this measure also achieves a significant improvement in traffic safety in the whole construction zone.

On the basis of these findings, the following recommendations are made concerning the use of radar monitoring:

- *Appropriate locations include*
 - *ahead of crossovers (or lateral shifts / lane reductions) at the start of the construction zone.*
 - *ahead of entrances within the construction zone.*
- *Radar units should be sited approx. 100 to 150 m ahead of the relevant location: gaps of more than 200 m should be avoided.*
- *To have a preventive effect, the radar units should be visible and drivers should be alerted to them by signposting.*

Channelizing devices

The above-average frequency of accidents which take place in darkness makes it clear that efforts should be made to improve visual guidance at construction zones. The present study has shown the effectiveness of low, linear guidance devices (curb-style traffic channelizers with small-sized markers mounted on them) at crossovers.

When channelization curbs and low markers are installed, speed adjustment in the approach to the crossover is smoother and vehicle guidance in the crossover is much better than with high markers. These differences are pronounced in darkness. This is because high markers can cause effects such as view-obstruction and glare at drivers' eye level, preventing them from judging the alignment of the crossover in time.

The following recommendations are therefore made regarding the operation of construction zones at night:

- *More use should be made of curb-style channelizing devices with low guidance-markers (small-sized or mini) at crossovers and lane shifts.*
- *High guidance markers should not be used at angled lane alignments. Their use as a visual division from the obstruction area should be restricted to straighter stretches.*

Further measures

- **Geometry of the median crossover**

The measurements made have shown that wider openings in the median and extra-wide lanes in the crossover produce higher speeds. When the opening in the median is wider than 100 m, a speed limit of 80 km/h is exceeded by approx. 50 to 70% of all drivers even at the end of the crossover. Such widths for the opening in the median are appropriate only with a speed limit of 100 km/h. If lane widths are significantly greater than 4.0 m and the width of the driving space between the channelizing devices approaches 10.0 m, there is a blurring effect on track behavior. Extra-wide lanes in the crossover should be avoided to achieve consistent track guidance.
- **Physical separation of directions of travel**

The accident analyses for the stretches of freeway investigated in this study have shown that the accident frequency is not higher within construction zones operating in the forms 4+0 and 3+1, away from access/fork junctions, compared to the situation where there is no construction zone. It is significant that the directions of travel were structurally separated by means of construction-zone barriers in all the construction zones investigated in the study. This physical division of opposing traffic within construction zones should be implemented whenever possible.
- **Lane reduction**

The capacity at construction zones shrinks by as much as 30% simply as a consequence of reduced lane widths and restricted lateral clearances. If, in addition, the number of lanes is reduced, the ensuing obstruction of traffic causes severe delays and accident costs. The accident analyses in the present study have also clearly shown that traffic management using lane reductions at construction zones leads to a disproportionate rise in accident frequency even with medium traffic volumes.
- **Entrances/exits**

There is a particular need for action in the design of entrances and exits at construction zones. They are often constructed with conspicuously less care than the crossovers and termination area (downstream tapers) and tend to represent genuine accident black spots.

Standardization

The analyses of the existing Swiss standards for constructing and operating construction zones on freeways identified several shortcomings. There is reason to urge a reconsideration of the standardization policy in conjunction with the recommended improvements. The additional investigations suggested in the course of the present project, concerning the particular problems of “entrances and exits within construction zones” and “short-term construction zones” also imply a need for a reconsideration of the standardization policy.

1. Einleitung

Zwischen den Jahren 1985 und 1995 ist das Nationalstrassennetz von 1'054 km auf 1'197 km, also um rund 150 km (+10%) angewachsen. Gemäss der Auswertung der amtlichen Verkehrszählungen verzeichnete die durchschnittliche Verkehrsbelastung auf den Hochleistungsstrassen eine Zunahme um 50% und liegt heute durchschnittlich bei rund 36'000 Fz/Tag. Viele Abschnitte des HLS-Netzes weisen heute Verkehrsbelastungen auf, die nahe an oder über der kritischen Belastungsgrenze für vierstreifige Querschnitte liegen (DTV von ca. 45'000 Fz/Tag). Bei solchen Auslastungsverhältnissen führen auch kleine Zwischenfälle oder Störungen zu starken Behinderungen im Verkehrsablauf. Kommen in diesen Bereichen zusätzlich noch Behinderungen durch Baustellen hinzu, sind Verkehrszusammenbrüche in der Regel unvermeidlich. Die Bauarbeiten, welche an HLS unter Verkehr ausgeführt werden müssen, sind heute eine der Hauptursachen für die Bildung von Staus auf dem Nationalstrassennetz. Die jährlichen volkswirtschaftlichen Folgekosten der Stautunden werden heute auf eine zweistellige Millionenhöhe geschätzt. Bei den im Vergleich zu den übrigen Strassentypen sehr sicheren Autobahnen muss gemäss Schätzungen des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) im Bereich von Baustellen mit einer rund 50% höheren Unfallrate gerechnet werden.

Bei einer angenommenen Gebrauchsdauer von 25 Jahren für den Strassenoberbau sowie für Kunstbauten und bei einem ca. 1'200 km langen Nationalstrassennetz wird jährlich im Durchschnitt mit rund 50 Baustellenkilometern gerechnet. Die Erfahrungsgrenzwerte in der Schweiz, gemäss derer bei einem Fahrstreifenabbau ohne Staubildung gerechnet werden kann, liegen bei 25'000 Fz/Tag für vierstreifige und bei ca. 50'000 Fz/Tag für sechsstreifige Autobahnen. Aufgrund der heutigen Verkehrsbelastungen des Nationalstrassennetzes ist ein Fahrstreifenabbau im Baustellenbereich ohne grössere Folgen für den Verkehrsablauf nur noch auf wenigen Teilstrecken ausserhalb der Agglomerationen möglich.

1.1. Ausgangslage

Die für die Substanzerhaltung notwendigen Baustellen auf Hochleistungsstrassen (HLS) führen grundsätzlich zu Einschränkungen und Behinderungen im Verkehrsablauf. Je nach Verkehrsführung, Baustellenorganisation und Verkehrsmengen resultieren mehr oder weniger starke Auswirkungen auf das individuelle Fahrverhalten und somit auf das gesamte Verkehrs- und Unfallgeschehen. Die Folgen sind erhöhte Unfallzahlen, Staubildung und höhere Umweltbelastung. Diese negativen Auswirkungen lassen sich nie gänzlich vermeiden, können jedoch durch verschiedene Massnahmen reduziert werden. Das Schwergewicht liegt dabei in der Erhöhung der Verkehrssicherheit¹.

Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit liegen auf zwei Ebenen, nämlich der Ebene Planung von Baustellen im Strassennetz und der Ebene der Vorbereitung und des Betriebes der einzelnen Baustellen. Im Schlussbericht „Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke“ des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) von 1998 werden bei den Massnahmen Nr. 10, 11 und 12 Verbesserungen im Bereich der Verkehrssicherheit durch eine gezielte Planung und Organisation der Baustellen postuliert. Dabei werden besonders die „minutiöse Planung und Vorbereitung“, die „Zusammenlegung von Baustellen zu grossen Bauosen“ und die „4/0-Verkehrsführung“ als Verbesserungspotential erwähnt. Mit den Massnahmen auf dieser Ebene befasst sich einerseits die beim ASTRA in der Bearbeitung stehende „Unterhaltsplanung Nationalstrassen (UPlaNS)“, andererseits wird diese Fragestellung auch in den Fachkonzepten MSE99 der Fachkommission 7 (Erhaltungsmanagement) des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) behandelt.

Im Vordergrund der vorliegenden Forschungsarbeit steht die zweite Ebene, die Vorbereitung und der Betrieb von Baustellen auf HLS im Vordergrund. Die verschiedenen Grundlagen für die Detailplanung der Baustelle, namentlich die VSS-Normen zur temporären Signalisation (SN 640 885c und SN 640 822) genügen zur Planung, Vorbereitung und Einrichtung der Baustellen an Hochleistungsstrassen (HLS) nur teilweise. Sicherheits- und Stauprobleme bei den zahlreichen Baustellen auf dem Netz der HLS werden häufiger. Zunehmende Verkehrsmengen und örtliche Gegebenheiten wie Anschlussbereiche oder ungünstige Linienführung verschärfen die Problematik zusätzlich.

¹ Die Anforderungen bzgl. Schutz des Baustellenpersonals werden in dieser Untersuchung nicht vordergründig berücksichtigt.

1.2. Auftrag

Aufgrund dieser Ausgangslage wurden die Forschungsstellen

- Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) an der ETH Zürich (Federführung),
- Kantonspolizei Zürich, Verkehrstechnische Abteilung, Zürich und
- W. Schüler, Ingenieurbüro für passive Schutz Einrichtungen im Strassenraum, Zürich

beauftragt, die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangsbereichs vor der Baustelle und den Merkmalen des Verkehrsablaufs bei verschiedenen Baustellentypen zu erkennen. Die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die damit verbundene Verkehrssicherheit sollen abgeschätzt werden. Grundsätze und Empfehlungen für die örtlich zweckmässige Ausgestaltung der Übergangsbereiche vor HLS- Baustellen bei verschiedenen Betriebsformen sollen abgeleitet werden.

1.3. Problemstellung und Abgrenzungen

Bisherige Untersuchungen an HLS-Baustellen deuten darauf hin, dass die Hauptprobleme der Verkehrssicherheit (Unfallentstehung) im Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und der Baustelle liegen. Dieser umfasst den stromaufwärts liegenden HLS-Abschnitt mit entsprechend herabgesetzter Höchstgeschwindigkeit sowie den Überleitungs- bzw. Einengungsbereich. Anders als längs der Baustelle, wo in der Regel gleichmässig gefahren wird, entstehen im Zufahrtsbereich im Zusammenhang mit der notwendigen Geschwindigkeitsanpassung an die signalisierte Tempolimiten Inhomogenitäten im Verkehrsablauf. Sie manifestieren sich in einer erhöhten Geschwindigkeitsstreuung und in häufigeren Fahrstreifenwechseln.

Dementsprechend zeigen die Auswertungen des Unfallgeschehens, dass die Unfallhäufigkeit im Zufahrtsbereich in der Regel höher liegt als im eigentlichen Baustellenbereich. Der grösste Teil der Unfälle wird in den Unfallprotokollen auf nicht angemessene Geschwindigkeiten zurückgeführt.

Aus diesen Gründen wurde das Schwergewicht der vorliegenden Untersuchung auf den *Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und der Baustelle* gelegt.

Ein besonderer Aspekt im Zusammenhang mit der Baustellenplanung betrifft die Wahl einer den örtlichen Verkehrsmengen angemessenen Betriebsform. Dementsprechend befasst sich die überwiegende Zahl von Untersuchungen zum Verkehrsablauf an Autobahnbaustellen mit den *Fragen der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität* im Zufahrtsbereich (Wartezeiten, Staubildung, Fahrzeit- und Kostenverluste) bei verschiedenen Baustellenformen und Verkehrsführungen. Sie basieren auf empirischen Erhebungen und entwickeln Modelle zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität (z.B. in [25]). Als Variablen werden in solchen Untersuchungen lediglich die Betriebsform verwendet (Anzahl Fahrstreifen). Weitere Gestaltungsmerkmale wie Art und Form der Fahrstreifeneinengung und -überleitung sowie die Ausgestaltung der Zufahrtsbereiche werden nicht berücksichtigt.

Untersuchungen, die sich mit den Einflüssen der konkreten *Gestaltung des Übergangsbereichs* vor Baustellen auf den Verkehrsablauf befassen, wurden bisher in der Schweiz nur wenig durchgeführt ([11], [34], [38]). Die Ausgestaltung betrifft die Signalisation und Markierung (insbesondere die Lage und Abstufung der Geschwindigkeitsregelung) sowie weitere optische Führungshilfen unmittelbar vor und im Überleitungs- bzw. Einengungsbereich.

Hinsichtlich der Baustellenplanung (Verkehrsmengen / geeignete Betriebsform) kann davon ausgegangen werden, dass die Richtwerte in den VSS-Normen „Freie Strecken auf Autobahnen“ und „Einfahrten an Hochleistungsstrassen“² der Normgruppe „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit“ sowie weitere in- und ausländische Untersuchungen in der Praxis eine Verbesserung ermöglichen werden.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich deshalb auf die Gestaltung des Übergangsbereichs vor Baustellen und die entsprechenden Auswirkungen auf das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker. Dazu sind entsprechende Versuchsanordnungen vorzusehen. Die Erhebungen werden bewusst auf Verkehrszeiten mit kleineren bis mittleren Verkehrsstärken ausgelegt. Dieser Ausprägung wird man bei der Auswahl von Untersuchungsobjekten (vgl. 3.1.) Rechnung tragen müssen. In den durchzuführenden Versuchen sollen zudem die in der Schweiz häufigsten Betriebsformen berücksichtigt werden. Verkehrsführungen mit Reduktion der Fahrstreifenanzahl werden nicht näher untersucht. Diese Betriebsform sollte auf Autobahnen aus Leistungsgründen wenn immer möglich vermieden werden. Aus versuchstechnischen Gründen können auch kurzzeitig eingerichtete Baustellen (Tagesbaustellen) nicht berücksichtigt werden.

² SN 640 018 und SN 640 019

Im Untersuchungsteil „Verkehrsablauf“ werden Relativvergleiche zwischen den Versuchsanordnungen an den einzelnen Baustellen sowie – in verallgemeinerter Form – zwischen den Baustellen im Vordergrund stehen. Soweit möglich werden auch Erkenntnisse aus Versuchen bei ausländischen Untersuchungen zum Vergleich beigezogen.

Parallel dazu werden *Unfalluntersuchungen* durchgeführt. Angesichts der kurzen Versuchsperioden sind direkte Auswirkungen der Versuchsanordnung auf das Unfallgeschehen nicht möglich. Diese können nur indirekt über die Veränderungen im Verkehrsablauf gedeutet werden.

Im Vordergrund der Unfallauswertungen stehen deshalb MIT/OHNE- und VORHER/NACHHER-Vergleiche. MIT/OHNE-Vergleiche beziehen sich jeweils auf einen Abschnitt mit Baustelle und auf einen Abschnitt auf der gleichen Strecke ohne Baustelle (Anschlussstrecke). VORHER/NACHHER-Vergleiche beziehen sich jeweils auf den gleichen Abschnitt in der Zeitperiode vor und nach Einrichtung der Baustelle. Auch in diesem Untersuchungsteil sollen Erkenntnisse aus anderen Arbeiten einbezogen werden.

Aufgrund der Ausgangslage und der hier beschriebenen Problematik ergeben sich die folgenden Untersuchungsschwerpunkte:

- Ausgestaltung des Übergangsbereichs bis zur Fahrstreifeneinengung oder Fahrstreifenverschwenkung bzw. Überleitung mittels Mittelstreifenüberfahrt. Dies betrifft die Signalisation (Art und Abstände), die Fahrbahnmarkierung, vertikale Leiteinrichtungen und übrige Führungshilfen.
- Bei den Mittelstreifenüberfahrten steht – zusätzlich zur Geometrie gemäss VSS-Norm SN 640 135 – die Ausgestaltung zur klaren optischen Führung am Tag und bei Dunkelheit im Vordergrund.
- Verwendung der verschiedenen Typen von Leiteinrichtungen, teilweise auch solcher mit zusätzlicher Schutzfunktion (transportable Schutzeinrichtungen aus Beton oder Metall) sowie Leitschienen, Leitbaken usw. und ihre Wirksamkeit bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen.
- Zweckmässigkeit des Einsatzes der (angekündigten) Geschwindigkeitsüberwachung im Übergangsbereich vor den Baustellen.
- Als ein Sonderproblem erweisen sich Ein- und Ausfahrten bei Anschlüssen und Rastplätzen, die im Bereich der Baustellen betrieben werden müssen. Hier sind die Verkehrsführung und Ausgestaltung unter Berücksichtigung der Struktur des Unfallgeschehens zu untersuchen.

Die obigen Schwerpunkte beziehen sich primär auf *Baustellen an Autobahnen*. Angesichts der nur beschränkten Zahl und Länge von Autostrassen in der Schweiz würde es kaum gelingen, geeignete Baustellen für die Versuchsdurchführung zu finden. Zudem lassen sich die erhofften Empfehlungen zur Ausgestaltung der Zufahrtsbereich zu Autobahnbaustellen auch auf den HLS-Typ „Autostrasse“ sinngemäss übertragen. Die beschränkten Forschungsmittel werden deshalb primär für die Baustellen auf Autobahnen eingesetzt.

1.4. Forschungsziele

Mit dieser Forschungsarbeit werden folgende Ziele angestrebt:

- Erkennen der wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangs- bzw. Zufahrtsbereichs vor der Baustelle und den Merkmalen des Verkehrsablaufes bei verschiedenen Betriebsformen von HLS-Baustellen. Für dieses Forschungsziel werden empirische Erhebungen als unerlässlich erachtet.
- Falls sich die obigen Zusammenhänge quantifizieren lassen, soll eine Abschätzung der Auswirkungen der wichtigsten Elemente bzw. Elementgruppen der Ausgestaltung des Zufahrtsbereiches auf den Verkehrsablauf und auf die Verkehrssicherheit vorgenommen werden.
- Ableitung von Grundsätzen und Empfehlungen für die zweckmässige Ausgestaltung der Zufahrtsbereiche vor HLS-Baustellen bei verschiedenen Betriebsformen. Anzustreben sind auch Hinweise auf Anpassungen oder Ergänzungen bestehender technischer Normen. Die Normung selbst ist jedoch nicht Gegenstand der Forschungsarbeit.

Voraussetzung für das Erreichen der obigen Ziele ist eine umfassende Auswertung bisheriger in- und ausländischer Erkenntnisse zum Verkehrs- und Unfallgeschehen im Bereich von HLS-Baustellen. Zu diesem Zweck sind sowohl Forschungsergebnisse als auch Erfahrungen aus früheren konkreten Baustellen einzu beziehen.

1.5. Untersuchungsvorgehen

Die Zweckmässigkeit der Ausgestaltung der Zufahrtsbereiche zu Baustellen kann grundsätzlich anhand von Merkmalen des Unfallgeschehens und jenen des Verkehrsgeschehens beurteilt werden. Für den Bereich Unfallgeschehen sind es die Merkmale der relevanten Unfälle (z.B. Unfalltypen, -orte, -zeiten) und deren Folgen, die als absolute und relative Zahlen aufbereitet werden können; beim Verkehrsgeschehen sind es die Verkehrsmengen und -zusammensetzung sowie die Merkmale des Fahrverhaltens und des Verkehrsflusses. Diese Merkmale beziehen sich auf eine bestimmte Einrichtung des Baustellenbereiches, die durch eine Vielzahl von baulich-geometrischen Grössen (z.B. Breiten und Linienführung von Fahrstreifen, Art von Baustellenzu- und -wegfahrten, passive Schutzeinrichtungen) und betrieblichen Anordnungen (z.B. Art und Ausgestaltung des Geschwindigkeitsregimes und weiterer Vorschrifts- und Gefahrensignale, vertikale Leiteinrichtungen, zusätzliche Hinweissignale) definiert werden kann.

In der vorliegenden Untersuchung wird versucht, die oben erwähnte Zweckmässigkeit,

- einerseits aufgrund von Auswertungen des Unfallgeschehens in Baustellenbereichen
- und andererseits aufgrund von messtechnisch erfassten Veränderungen im Verkehrsablauf zwischen verschiedenen Anordnungen und Gestaltungen der Zufahrtsbereiche zu Baustellen zu beurteilen.

Zu diesem Zweck wurden die Untersuchungsarbeiten in drei Phasen gegliedert (vgl. Abbildung 1-1).

• *Vorarbeiten*

In einem ersten Schritt waren verschiedene Vorarbeiten notwendig. Die Vielzahl von Verkehrsführungen bzw. Betriebsformen und Ausgestaltungen im Bereich von HLS-Baustellen bedingt bei der Bearbeitung dieses Forschungsvorhabens eine Beschränkung auf die in der Praxis häufigsten bzw. wichtigsten Anwendungsfälle. Aus diesem Grund wurden Unterlagen über frühere Baustellen ausgewertet. Soweit dokumentiert, umfassten diese Auswertungen die Bereiche Verkehrsgeschehen (z.B. Verkehrsbelastungen, Geschwindigkeiten, Stauhäufigkeit), Unfallgeschehen sowie die Dokumentation der jeweiligen Baustellenausgestaltung. Parallel dazu erfolgte die Sichtung der Fachliteratur.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Auswertungen und unter Berücksichtigung in- und ausländischer Richtlinien und Forschungsarbeiten wurde eine Typisierung der Baustellenbereiche vorgenommen, mit dem Ziel, die näher zu untersuchenden Betriebsformen festzulegen.

In einem nächsten Schritt wurden Baustellenumfragen bei verschiedenen Kantonen durchgeführt, mit dem Ziel, mögliche Untersuchungsstrecken auszuwählen.

Ein wichtiger Teil der Vorarbeiten bildeten die Vorbereitungen der Erhebungen. Sie betrafen einerseits die Möglichkeiten, Versuche (Art und Umfang) im Bereich der gewählten Baustellen abzuklären. Andererseits mussten für die Felderhebungen die messtechnischen Möglichkeiten untersucht werden. Dazu gehörten die Evaluation verschiedener Messsysteme, mögliche Messanordnungen sowie die Vorgehensmöglichkeiten bei der Installation der Messeinrichtungen im Fahrbahnbereich.

• *Erhebungen und Auswertungen*

In dieser Phase wurden Erhebungen im Bereich von vier Baustellen durchgeführt. Dazu mussten je Baustelle die einzelnen Versuche und die Messanordnung festgelegt werden. Die Arbeiten erfolgten stets nach Absprache mit den zuständigen Unterhaltsdiensten, wobei hier auch einige logistische Schwierigkeiten gelöst werden mussten. Anschliessend wurden die anfallenden Datensätze aus den drei Gruppen von Messwerten (Geschwindigkeits- und Spurverhalten, Fahrstreifenwechsel) ausgewertet.

Der zweite Teil dieser Phase umfasste die Auswertungen des Unfallgeschehens. Dazu wurden in einem ersten Schritt frühere Baustellen in der Schweiz einbezogen und Erkenntnisse aus der Fachliteratur verwertet. Im zweiten Schritt (nach Beendigung der Bauarbeiten) konnte auch das Unfallgeschehen im Bereich der Untersuchungsstrecken ausgewertet werden.

• *Analyse und Empfehlungen*

Im letzten Arbeitsteil wurden die Ergebnisse der zweiten Phase analysiert und Empfehlungen abgeleitet. Der analytische Teil erfolgte getrennt für die Bereiche Unfallgeschehen und Verkehrsablauf.

Beim *Unfallgeschehen* stand im Vordergrund, möglichst zuverlässige Erkenntnisse für die verschiedenen Betriebsformen zu gewinnen. Die Basis hierzu bildeten verschiedene Zustandsvergleiche. Insbesondere interessierten

- das generelle Niveau des Unfallgeschehens bei Baustellen in Relation zu HLS-Abschnitten ohne Baustellen,
- die massgebenden Unfalltypen im Baustellenbereich,
- die Unfallverteilung auf die verschiedenen Baustellenabschnitte sowie
- die Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und den Elementgruppen der Baustellenausgestaltung.

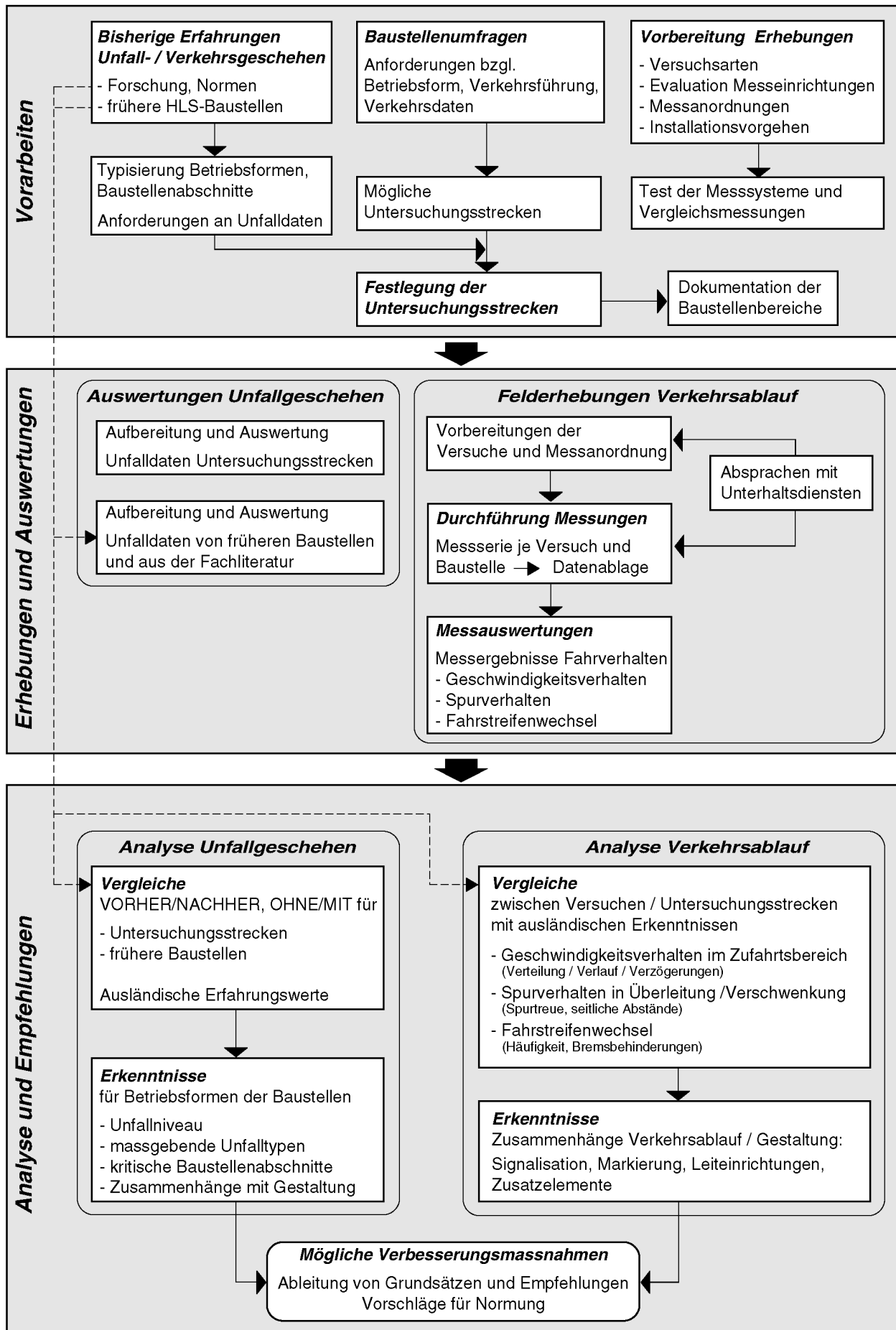


Abb. 1-1: Schematische Darstellung des Untersuchungsverfahrens

Beim *Verkehrsablauf* wurden die Ergebnisse der Messauswertungen verglichen und zwar hinsichtlich Auswirkungen einzelner Versuche in einem Baustellenbereich. Soweit sinnvoll wurden auch Veränderungen zwischen einzelnen Untersuchungstrecken analysiert. Verwendet wurden dazu Kenngrößen des Geschwindigkeitsverhaltens (wie Verteilung an Messquerschnitten, Verlauf und Verzögerungen im Zufahrtsbereich), des Spurverhaltens (Verteilung der Lateralpositionen an Messquerschnitten in der Fahrstreifenüberleitung und die seitlichen Abstände zu den Fahrstreifenabgrenzungen) und die Art und Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel vor der Überleitung.

Aus den Gegenüberstellungen und Analysen erhofft man sich die wichtigsten Zusammenhänge mit den betrieblichen und baulichen Gestaltungselementen abzuleiten.

In einem letzten Arbeitsschritt wurden – im Sinne einer Synthese – die Erkenntnisse aus den Bereichen Unfallgeschehen und Verkehrsablauf gegenübergestellt, um Empfehlungen für die Ausgestaltung der Zufahrtsbereiche abzuleiten. In diesem Schritt wurden auch Empfehlungen und Erfahrungen aus ausländischen Untersuchungen berücksichtigt.

1.6. Bisherige Untersuchungen

1.6.1. Erkenntnisse aus der Schweiz

Bisher wurden in der Schweiz nur wenige Forschungsarbeiten zum Thema Verkehrsablauf und -sicherheit bei Baustellen an HLS durchgeführt. Sie stammen aus der Zeit um 1990 und befassten sich primär mit den Fragen der Leistungsfähigkeit [27, 11, 10]. Aufschlussreicher sind jedoch Erfahrungen mit dem Verkehrs- und Unfallgeschehen an einzelnen Baustellen, die in der Vergangenheit in der Schweiz eingerichtet und oft auch erfolgreich betrieben wurden. Es war deshalb angezeigt, diese Erfahrungen auszuwerten und in die Überlegungen einzubeziehen.

Zu diesem Zweck konnten grössere Baustellen aus den Kantonen Zürich, Luzern und Aargau einbezogen werden. Ausgewertet wurden Unfalldaten aus den Zeiträumen ohne und mit Bauarbeiten. Die mehrere Kilometer langen Baustellen waren während mehrerer Monate in den Jahren 1998 bis 2000 eingerichtet. Während der Bauarbeiten haben die Betriebsformen – je nach Bauetappe – gewechselt. Bei einigen der Baustellen konnten die Unfälle auch den verschiedenen Abschnitten räumlich zugeordnet werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in 6.1.1. beschrieben.

1.6.2. Ausländische Unterlagen

Im Hinblick auf eigene Untersuchungen wurden auch mehrere ausländische Unterlagen gesichtet. Dabei handelt es sich um Forschungs- und Erfahrungsberichte aus Deutschland und Österreich. Die Ergebnisse der Literaturlauswertung sind nachfolgend kurz zusammengefasst. Die Unterlagen sind gegliedert in solche, die sich überwiegend mit dem Verkehrsablauf befassen und jene, die das Unfallgeschehen näher untersuchen.

1.6.2.1. Untersuchungen im Bereich Verkehrsablauf

KOCKELKE, ROSSBANDER; 1989 [13] haben Testfahrten auf Autobahnen mit 7 Baustellen (Betriebsformen 4+0, 2+2 und 3+3 sowie Variation von Tempolimiten im Zulauf, Fahrstreifenreduktion und Gestaltung der Überleitungsbereiche) im Raum Köln (Autobahnen A3 und A4) durchgeführt. Weiterhin sind Befragungen aller 22 Versuchsfahrer und Unfallauswertungen der befahrenen Autobahnabschnitte vorgenommen worden. Die Versuchsfahrten fanden in verkehrsärmeren Zeiten bei Verkehrsstärken von ca. 1'500 Fz/h und Richtung (A4, 2-streifig) bzw. 1'200 Fz/h und Richtung (A3, 3-streifig) statt und sind zum Teil durch den vorhandenen Verkehr beeinflusst worden. Die aufgenommenen Geschwindigkeitsverläufe zeigen bei allen Fahrern und allen Baustellen annähernd das gleiche Resultat. Die Strassensignalisation entsprach den Regelplänen der damaligen Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Strassen (RSA). Sie wurde durch die Fahrzeuglenker sehr grosszügig ausgelegt und die signalisierten Höchstgeschwindigkeiten durchgehend überschritten. Erst die baulichen Veränderungen der Überleitungen bewirkten eine Geschwindigkeitsreduktion, die bei allen Baustellen annähernd an der gleichen Stelle (ca. 800m vor der Baustelle) eintritt. Die gefahrenen Geschwindigkeiten lagen jedoch immer noch über den als zulässig signalisierten.

MÜLLER, SELIGER; 1990 [19] haben Geschwindigkeitsmessungen an einer Autobahnbaustelle mit einer 4+0-Verkehrsführung durchgeführt. Gestestet wurden dabei drei Varianten mit verschiedenen Anordnungen der Leiteinrichtungen. Neben der Anordnung nach damaliger RSA wurde ein Versuch mit trichterförmiger Einengung und dicht stehenden Leitbaken durchgeführt. Die dritte Variante sah ebenfalls eine Einengung mit dicht stehenden Leitkegeln vor. Die Einengungen begannen jeweils 200m vor dem nach RSA definierten Überleitungsbereich. Durch die Einengungen konnten die Fahrzeuggeschwindigkeiten deutlicher als bei der RSA-Anordnung gesenkt werden. Weiterhin wurde damit auch eine grössere Abnahme der Geschwindig-

keitsstreuung auf dem Überholfahrstreifen erreicht. Bei der Ausstattung nach RSA konnte ein erhöhter Anteil gefährlicher Nettozeitlücken ($< 1,5$ s) und damit verbundener Fahrstreifenwechsel vom Überholstreifen auf den Normalfahrstreifen festgestellt werden.

KRUX, DETERMANN; 1995 [15] hatten mit ihrer Forschungsarbeit eine Verbesserung und Regelung der Gestaltung von Autobahnbaustellen in Deutschland zum Ziel. Eine Unfallauswertung erfolgte anhand von Literaturstudien und Untersuchungen vom Autobahnamt Frankfurt/Main. Diese Untersuchung ergab hohe Unfallraten im Zulaufbereich der Baustellen aufgrund unangepasster Geschwindigkeiten und zu kleiner Sicherheitsabstände. Betrachtet wurden nur Autobahnbaustellen vom Typ 4+0 von längerer Dauer. Hierfür wurden Feldversuche mit unterschiedlichen Gestaltungsvarianten der Leiteinrichtungen durchgeführt. Einerseits wurde die Baustellenabsicherung gemäss RSA getestet. In einer zweiten Testphase wurde mit unterschiedlichen Aufbauten und Materialien experimentiert. Im Anschluss daran wurden zwei Konzeptvarianten unter Verkehr getestet. Eine Variante beinhaltet einen Geschwindigkeitstrichter und an die Verzögerung angepasste Abstände der Signalisation. Die zweite Variante enthielt eine verbesserte optische Führung, einen verlängerten Überleitungsbereich und eine durchgezogene Sicherheitslinie zwischen den Fahrstreifen vor der Überleitung. Die Geschwindigkeiten wurden im Bereich von 2km vor der Baustelle (erstes Signal „Baustelle“) bis 700 m nach durchfahrener Überleitung aufgezeichnet. Mit beiden Varianten konnten grössere Nettozeitlücken und homogenere Verkehrsflüsse erreicht werden.

SCHMUCK, BECKER; 1984 [30] haben im Rahmen ihrer Untersuchung Geschwindigkeitsmessungen auf Autobahnen im Baustellenbereich durchgeführt. Dabei wurden neben der Geschwindigkeit, der Verkehrsdichte und der Verkehrsstärke auch die Fahrstreifenbelegung, das Abstandsverhalten und die Pulkbildung erfasst. Bei geringen Verkehrsstärken ($< 1'200$ Fz/h und Richtung) überschreiten die mittleren lokalen Geschwindigkeiten die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. Je niedriger die signalisierte Geschwindigkeit war, desto grösser wurde der Anteil der Überschreitungen. Im Annäherungsbereich an eine Baustelle (Geschwindigkeitstrichter) werden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten $V_{zul} = 100, 80, 60$ km/h im Mittel ca. 10% häufiger als im Gegenverkehrsbereich bei gleichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten überschritten. Lediglich im Bereich der Mittelstreifenüberfahrt wurde für die Fahrzeuggruppe Schwerverkehr eine geringere Geschwindigkeitsüberschreitung beobachtet. Für freifahrende Fahrzeuge konnte ein um lediglich 1-2 km/h höheres Geschwindigkeitsniveau festgestellt werden, sodass die zuvor genannten Erkenntnisse auch auf diese Gruppe übertragbar sind. Mit steigender Verkehrsstärke wurde eine Abnahme des Verkehrsstärkeanteils auf dem rechten Fahrstreifen beobachtet. Die Autoren vermuten hier einen Einfluss des Güterverkehrsanteils.

Die letztgenannten Untersuchungen wurden später von RESSEL und SCHMUCK; 1993 [24] sowie RESSEL; 1994 [25] weiter vertieft. In [25] wurde ein Verkehrsflussmodell zur Abschätzung der Leistungsfähigkeit bei verschiedenen Baustellenformen entwickelt. Die Ergebnisse dienen als Planungshilfen für die Praxis (z.B. in [12]). In eine ähnliche Richtung ging auch die Arbeit von BECKMANN, ZACKOR; 2001 [3], die verschiedene Einflussfaktoren auf den Verkehrsablauf bei Baustellen definieren. Die Einteilung erfolgt in streckencharakteristische, verkehrsrechtliche, fahrzeug- und fahrzeugführerabhängige sowie verkehrs- und umweltabhängige Faktoren. Erarbeitet wurde hier ein Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen.

AULBACH; 1994 [1] hat die neue Gestaltung der Baustellenbeschilderung und Markierung mit Testfahrten und mit Messungen mittels Induktivmessplatten untersucht. Die untersuchten Baustellen hatten eine 3+1- bzw. eine 4+2-Verkehrsführung. Die Neugestaltung sah eine Kennzeichnung des Baustellenbeginns mit Torelementen mit Warnleuchten vor. Weiterhin kamen Pfeilbaken mit Warnleuchten, niedrige retroreflektierende Sichtzeichen sowie Leitwände bzw. -schiene mit reflektierender Markierung zum Einsatz. Die stufenweise Einführung der neuen Elemente, beginnend mit der Gestaltung nach RSA, bot die Möglichkeit, die Wirksamkeit der einzelnen Elemente zu überprüfen. Die Geschwindigkeiten bei der Gestaltung nach RSA lagen deutlich über denen, die bei der neuen Gestaltung mit der Toreinfahrt ermittelt wurden. Die Toreinfahrt bewirkt eine Geschwindigkeitsreduktion von ca. 10 km/h. Durch die konstante Reduktion der Geschwindigkeit kommt es gemäss [1] zu einem wesentlich ruhigeren Verkehrsablauf im Zulaufbereich. Die Abstände zwischen den Fahrzeugen vergrössern sich und es treten wesentlich weniger Bremsbetätigungen auf. Die neue Gestaltung bewirkt ein gleichmässigeres Geschwindigkeitsprofil. Für die 4+2-Verkehrsführung wurden auch Untersuchungen in der Dämmerung durchgeführt. Die verbesserte optische Führung führt zu einer leichten Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit. Mit der Wirksamkeit vertikaler Leitelemente befasst sich später auch MESEBERG; 1997 [18].

1.6.2.2. Untersuchungen im Bereich Unfallgeschehen

BOESEFELDT, EMDE, HAMESTER; 1983 [5] haben für die Jahre 1979 und 1980 das Unfallgeschehen in den Bundesländern Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen aufgrund der häufigsten gemeldeten Baustellen analysiert. Es wurden baustellenbedingte Unfälle auf 57% des Bundesautobahnnetzes für die genannten zwei Jahre erfasst. Untersucht wurden unter anderem die Verkehrsführungen 4+0 und 3+1. Die Verkehrs-

führung 3+1 weist in den Überleitungsbereichen unterschiedliche Unfallraten für die Fahrtrichtungen auf. Die baustellenzugewandte Fahrtrichtung schneidet aufgrund der stärkeren Fahrbahnverschwenkung schlechter ab. Bei der Verkehrsführung 4+0 weist der Überleitungsbereich vor der Baustelle die höchste Unfallrate auf. Dies gilt sowohl für den Vergleich der einzelnen Verkehrsführungen untereinander also auch für den Vergleich der Baustellenbereiche. Insgesamt wurden in [5] für die Verkehrsführung 4+0 höhere Unfallraten als für die Verkehrsführung 3+1 ermittelt.

Die ergänzenden Unfalluntersuchungen von KOCKELKE, ROSSBANDER; 1988 [14] auf deutschen Autobahnen mit und ohne Baustelleneinfluss ergaben erhöhte Unfallraten aufgrund der Baustellen. Die Baustellen wurden in vier Abschnitte eingeteilt, denen jeweils Unfallraten zugeordnet werden konnten. Es wurde festgestellt, dass sich ca. die Hälfte der Unfälle im Zulaufbereich vor der Baustelle ereignen. Hier ist der Zusammenstoß mit einem vorausfahrenden Fahrzeug die häufigste Unfallart. In den Überleitungen konnten nur geringe Unfallzahlen festgestellt werden, diese waren am häufigsten auf das Abkommen von der Fahrbahn zurückzuführen. Unangepasste Geschwindigkeiten sind laut den Autoren die häufigste Unfallursache.

WEINSPACH; 1988 [39] stellte fest, dass die nach den RSA angeordneten Höchstgeschwindigkeiten schlecht eingehalten werden. Die Hälfte aller Unfälle in Baustellenbereichen werden durch zu geringe Abstände und nicht angepasste Geschwindigkeiten verursacht. Der Vergleich der Verkehrsführungen 2+2, 3+1 und 4+0 zeigt die höchsten Unfallraten in den Überleitungsbereichen für die Verkehrsführung 4+0. Während die Verkehrsführung 4+0 über die Bereiche Zulauf, Überleitung, Baustellen-Innenbereich und Zurückführung erhöhte Unfallraten aufweist, können für die Verkehrsführung 3+1 nur in den Überleitungsbereichen und in der Baustelle selbst höhere Unfallraten festgestellt werden, welche jedoch unterhalb derer der Verkehrsführung 4+0 liegen. Zur Verminderung der Unfallzahlen schlägt der Autor Stauwarnanlagen vor.

Die Untersuchung von NADLER, HANKO, SCHREFEL; 1988 [20] beinhaltet umfangreiche Unfallauswertungen von Autobahnabschnitten (ca. 450 km) in Österreich im Zeitraum von 1981 bis 1984. Es wurden Autobahnabschnitte mit und ohne Baustellen verglichen. Dies stellt die umfangreichste Unfallauswertung für Österreich dar. Die Autoren stellen im Vorlaufbereich vor den Baustellen erhöhte Unfallraten gegenüber der freien Strecke fest. Im Überleitungsbereich vor den Baustellen treten die höchsten Unfallraten auf. Auch der Baustellen-Innenbereich ist durch Unfallraten über denen des Zulaufs gekennzeichnet. Auffahrunfälle auf vorausfahrende Fahrzeuge sind die häufigste Unfallart, gefolgt von Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn.

LAFFONT, SCHMIDT; 1995 [16] haben Verkehrs- und Unfallerhebungen für die Verkehrsführungen 2+0, 2+1 und 1+1 durchgeführt. Aufgrund des erhöhten Massnahmenbedarfs auf den ostdeutschen Autobahnen werden Empfehlungen für dortige Autobahnverwaltungen gegeben. Die Gestaltungsvorschläge könnten nur für Baustellen auf HLS ohne bauliche Richtungstrennung (Autostrassen) angewendet werden.

2. Vorarbeiten

Für die vorgesehene Untersuchung waren sowohl für den Bereich Verkehrsablauf als auch für jenen des Unfallgeschehens verschiedene Vorarbeiten nötig. Neben der Evaluation geeigneter Untersuchungsobjekte standen im verkehrstechnischen Teil die Abklärungen zu den Einflussgrössen auf das Fahrverhalten im Zufahrtsbereich zur Baustelle (Signalisierung und Ausgestaltung) und zur Erfassung des Fahrverhaltens (Erhebungsgrössen) im Vordergrund. Beim Unfallgeschehen war die Art und Struktur der erforderlichen Daten abzuklären.

2.1. Betriebsformen und Abschnitte der Baustellen

2.1.1. Verkehrsführung in Baustellenbereichen

Zur Verkehrsführung im Baustellenbereich sind verschiedene Betriebsformen möglich. Sie weisen für die Verkehrsteilnehmer und/oder die Bauausführenden Vor- und Nachteile auf. Grundsätzlich unterscheiden sich die Betriebsformen in der Anzahl und in der Anordnung von Fahrstreifen sowie in folgenden Merkmalen:

- mit/ohne Einengung von Fahrstreifen (und der entsprechenden Fahrstreifenverschwenkung)
- mit/ohne Fahrstreifenabbau (reduzierte Zahl von Fahrstreifen im Baustellenbereich)
- mit/ohne Überleitung der Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn (Mittelstreifenüberfahrten)
- mit/ohne Beanspruchung von Standstreifen.

Dementsprechend werden in den Normen und Richtlinien verschiedene Typen der Betriebsformen unterschieden. Die Abbildung 2-1 zeigt Beispiele von Baustellentypen aus der VSS-Norm [33].

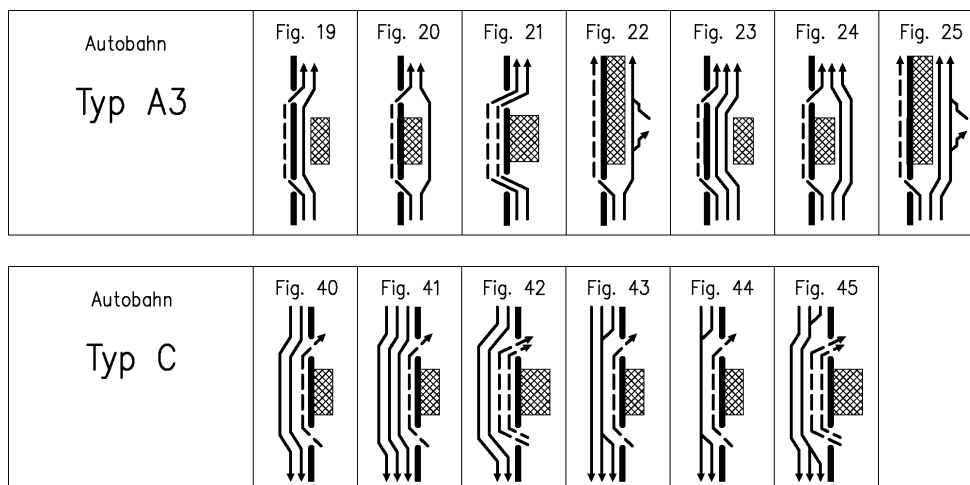


Abb. 2-1: Beispiele von Baustellentypen auf Autobahnen gemäss [33]

In der Praxis werden oft Bezeichnungen verwendet, mit welchen die Zahl der Fahrstreifen auf der Fahrbahn ohne Baustelle / mit Baustelle ausgedrückt wird (z.B. 2/2, 3/1 oder 4/0). Die folgende Abbildung zeigt die häufig angewendeten Betriebsformen in Form von Querschnittsskizzen.

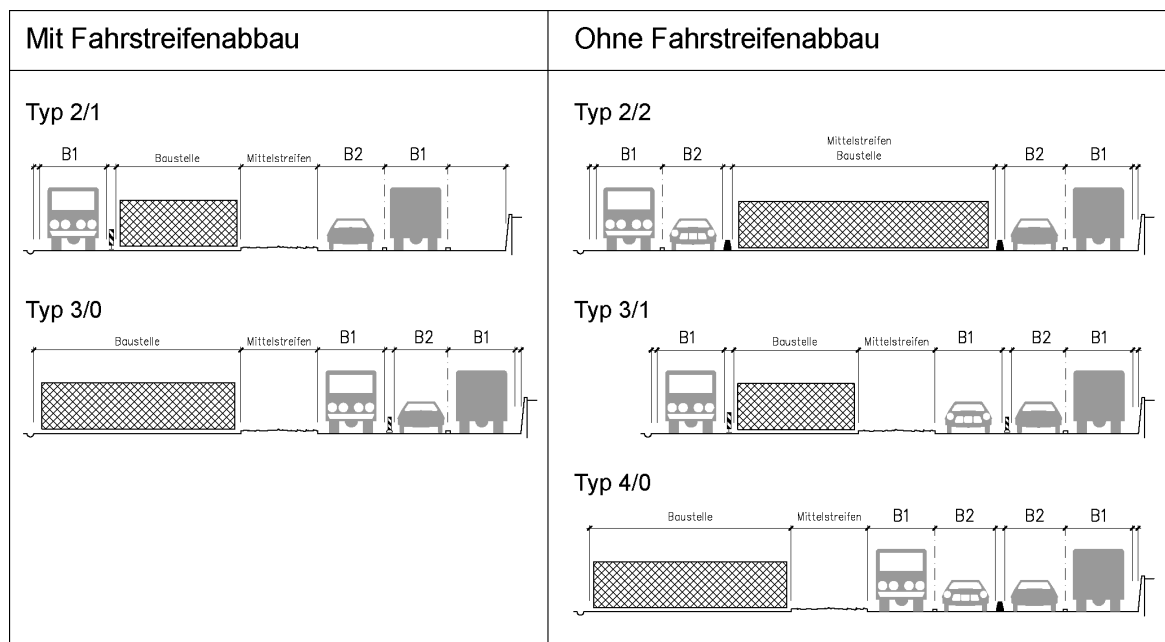


Abb. 2-2: Querschnittsskizzen der Betriebsformen bei Baustellen auf Autobahnen; Beispiele aus [33]

Das grösste Rationalisierungspotential bei Sanierungs- und Instandhaltungsmassnahmen resultiert aus der Sicht eines Unternehmens bei Bedingungen auf den Baustellen, die den Verhältnissen bei einem Neubau möglichst ähnlich sind. Dies ist insbesondere bei den Verkehrsführungen 3/0 und 4/0, mit Baustellenbetrieb auf dem gesamten Fahrbahnbereich der Fall. Die Vielfalt der Querschnittstypen an HLS in der Schweiz sowie die im Vergleich zu den ausländischen Beispielen eher knapp bemessenen Querschnittsbreiten lassen die Einrichtung dieser Betriebsformen vor allem in Bereichen mit Kunstbauten nicht immer zu.

2.1.2. Baustellenabschnitte

Im Hinblick auf die Unfallauswertungen und auf die Untersuchungen des Verkehrsablaufs sowie für spätere Vergleiche mit anderen Untersuchungen drängt sich eine geeignete Unterteilung der Baustellenbereiche auf. In Anlehnung an die Untersuchungen in Deutschland [2] werden unabhängig von der Betriebsform die folgenden Abschnitte in Längsrichtung der Baustelle unterschieden (vgl. Abb. 2-3).

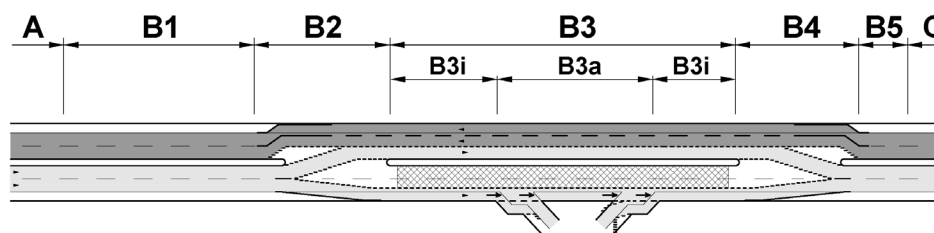


Abb. 2-3: Unterteilung in Baustellenabschnitte

Die obigen Baustellenabschnitte werden wie folgt charakterisiert:

Abschnitt A: Unbeeinflusster Vorbereich

Abschnitt B1: Beschilderter Bereich vor der Baustelle mit abgestuften Geschwindigkeitssignalen (Trichter). Der Verkehrsteilnehmer wird auf die Baustelle hingewiesen und sollte sein Fahr- und Geschwindigkeitsverhalten anpassen. (Die Länge dieses Abschnittes beträgt gemäss VSS-Norm [33] 1'000 m.)

Abschnitt B2: Überleitungs- und/oder Verschwenkungsbereich zu Beginn der Baustelle. Die Länge ist von der Verkehrsführung abhängig.

Abschnitt B3: Baustellen-Innenbereich mit ausschliesslich eingeeengten Fahrstreifen. Die Länge ist abhängig von der Baustelle.

- Abschnitt B3i: Baustellen-Innenbereich ohne Abschnitt mit Verzweigung oder Autobahnanschluss
- Abschnitt B3a: Baustellen-Innenbereich im Abschnitt einer Autobahnein- bzw. Autobahnausfahrt
- Abschnitt B3b: Baustellen-Innenbereich im Abschnitt mit Verzweigung
- Abschnitt B4: Überleitungs- und/oder Verschwenkungsbereich am Ende der Baustelle. Die Länge ist abhängig von der Verkehrsführung.
- Abschnitt B5: Entflechtungsbereich nach der Baustelle. Die Verbote und Einschränkungen werden aufgehoben.
- Abschnitt C: Unbeeinflusster Bereich nach der Baustelle

2.2. Baustellenumfragen

Unter Berücksichtigung der Erwägungen in 2.1. wurden geeignete Untersuchungsobjekte für die Versuchsdurchführung gesucht. Zu diesem Zweck wurde im Sommer 2000 eine erste Baustellenumfrage (vgl. ANHANG 1) bei den Kantonen durchgeführt, mit dem Ziel, im Jahr 2001 verkehrstechnische Erhebungen im Baustellenbereich durchzuführen. Bei den im Jahr 2001 geplanten Baustellen wurden Angaben angefordert zu:

- Anlage der Baustelle (Baustellentyp, Abmessungen, Baustellenzufahrten, Ausrüstungen und Signalisation usw.)
- Verkehr/Betrieb (Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten, Staustatistik, Auswertung allfälliger Reaktionen/Stellungnahmen der Verkehrsteilnehmer, z.B. aus dem Internet usw.)
- Unfallgeschehen (Häufigkeit, Unfallfolgen, Unfalltypen und -orte, VORHER/NACHHER-Vergleiche usw.).

Im Vordergrund standen Baustellen mit den häufigen Betriebsformen 3+1 und 4+0. Um die Veränderungen des Fahrverhaltens infolge verschiedener Versuchsanordnungen zu erfassen, waren Baustellenbereiche gesucht, wo zumindest während der verkehrlichen Zwischenzeiten keine Staus entstehen.

Eine zweite Baustellenumfrage musste im Jahr 2002 durchgeführt werden. In diesem Jahr gab es im Nationalstrassennetz – im Zusammenhang mit der Landesausstellung – keine geeigneten Untersuchungsobjekte³. Aufgrund der zweiten Umfrage konnte eine Baustelle auf einem stark belasteten Autobahnabschnitt festgelegt werden. Dabei handelt es sich um eine hinsichtlich Verkehrsführung besondere Betriebsform, die sich zudem je nach Baufortgang relativ rasch änderte.

2.3. Einflussgrössen

Eine eindeutige optische Führung im Strassenraum ist insbesondere im Bereich von Baustellen an HLS eine Grundvoraussetzung für einen sicheren und homogenen Verkehrsablauf. Die optische Führung der Fahrzeuglenker wird stark beeinflusst durch die Ausgestaltung der Strassenränder und der Seitenräume sowie durch die Längsmarkierung und die Leiteinrichtungen. Leider lässt sich der Fahrzeuglenker oftmals durch Informationen aus dem Erscheinungsbild zu einer offensiven Fahrweise verleiten, obwohl der vor ihm liegende weitere Strassenverlauf und die Verkehrssituation noch nicht einsehbar sind. Dieses oft bewusst eingegangene Risiko kann zu kritischen Fahrmanövern oder gar zu Verkehrsunfällen führen. Im Bereich von Baustellen kommen weitere Einflüsse hinzu: Mangelndes Sicherheitsgefühl (z.B. durch schlechte Signalisation, Unübersichtlichkeit, fehlende Notausstellbuchten usw.) oder unzureichender Komfort kombiniert mit einem grossen Verkehrsaufkommen werden oft als Unfallursachen im Baustellenbereich bezeichnet.

2.3.1. Gliederung

In diesem Abschnitt werden Einflüsse von Elementen oder Elementgruppen diskutiert, die speziell in den Zufahrtsbereichen zu HLS-Baustellen das Fahrverhalten der Automobilisten massgeblich beeinflussen können. Dabei müssen aus der Vielzahl von Elementen, welche das gesamte Erscheinungsbild des Strassenraumes aus der Fahrerperspektive bilden, jene im Vordergrund stehen, die im Zusammenhang mit der Einrichtung einer Baustelle gestaltet werden können. Die Beschränkung auf mutmasslich massgebliche

³ Aufgrund einer Absprache der Forschungsstellen mit dem Präsident der Forschungskommission wurden die Feldarbeiten für ein Jahr sistiert. Die Messungen an der letzten Untersuchungsstrecke erfolgten im Sommer 2003.

Einflussselemente unterstellt, dass ihre Auswirkungen auf das veränderte Fahrverhalten messtechnisch festgestellt werden können. Dieser Aspekt darf bei der Auslegung der geplanten Versuche nicht unterschätzt werden.

In den Zufahrten zu Baustellenbereichen können drei Gruppen von Gestaltungseinrichtungen unterschieden werden: Die *Strassensignalisation*, die (horizontale) *Fahrbahnmarkierung* und die vertikalen *Leiteinrichtungen*. Im eigentlichen Baustellen-Innenbereich kommt noch die Gruppe der Trennelemente zur Trennung der Fahrrichtungen und zur Absicherung des Baubereichs hinzu⁴. Diese Elemente können durch ihre Art (z.B. Form, Grösse bzw. Höhe, Farbgebung) und ihre Anordnung (z.B. Abstände seitlich und in Längsrichtung, Breiten, Verziehnungsneigungen und Ausrundungen) unterschiedlich gestaltet werden. Dabei sind dem Gestaltungsspielraum durch die Normen Rahmenbedingungen gesetzt.

In Anlehnung an die Abschnittsbildung in 2.1.2. kommen zur Anwendung:

- Im ersten Abschnitt des Zufahrtsbereichs (B1) vor allem die Signalisation. In diesem Abschnitt kommen in der Praxis auch Überwachungseinrichtungen zum Einsatz, die in dieser Gliederung unter „Signalisation“ subsummiert werden.
- Im zweiten Abschnitt (B2), der Einleitung der Fahrstreifenüberleitung oder -verschwenkung, wo in der Regel auch eine Einengung der Fahrstreifen und der seitlichen Hindernisfreiheit erfolgt, werden vor allem die Fahrbahnmarkierung und die Leiteinrichtungen eingesetzt.

- *Strassensignalisation*

Die Signalisation umfasst Vorschriftssignale (z.B. Höchstgeschwindigkeit, Überholverbote, partielle Befahrbarkeitsverbote einzelner Fahrstreifen) und Hinweissignale zur Ankündigung der Baustelle und zur Verdeutlichung der Verkehrsführung. Ihre Form und Lage im Zufahrtsbereich zur Baustelle (Abschnitt B1) ist durch die Signalisationsverordnung und die technischen Normen geregelt. Hinsichtlich Anordnung ist die Abstufung der Geschwindigkeitssignale („Geschwindigkeitstrichter“) im Zufahrtsbereich wesentlich. Sie erfolgt in der Regel von 120 über 100 auf 80 km/h. Eine Herabsetzung der Geschwindigkeit auf 60 km/h wird auf Autobahnen kaum mehr angeordnet. Wie in [34] nachgewiesen, ist diese Anordnung auf bereits mittelstark belasteten Abschnitten ursächlich für starke Staubbildung. Hingegen werden heute vermehrt Anordnungen realisiert, die das Signalisieren des gesamten Baustellenbereichs mit 100 km/h erlauben.

Um die Auffälligkeit der Signale zu erhöhen, wurden in einem europäischen Projekt (ARROWS, vgl. Fussnote 8) Vorschläge entwickelt, die auf einem Portaleffekt basieren. Dabei werden die Signale auf einer gelben, retroreflektierenden Wandtafel am Strassenrand befestigt (vgl. 2.5.2.).

- *Fahrbahnmarkierung*

Die gelb-orange Markierung wird zu optischen Führung in der Einleitung des Baustellenbereichs (gegen Ende von Abschnitt B1) und in der Fahrstreifenüberleitung bzw. -verschwenkung (Abschnitt B2) eingesetzt.

- *Leiteinrichtungen*

Die vertikalen Leiteinrichtungen dienen zur zusätzlichen Verdeutlichung der optischen Führung, insbesondere bei Dunkelheit. Sie können punktförmig (als Leitbaken, -kegel oder Markierungsknöpfe) oder linienförmig (Leitprofile wie Leitschranke, -bord oder -schiene) ausgeführt werden. Bei Leitbaken wird nach deren Höhe (Gross- bis Miniformat), bei den Leitprofilen wird nach Höhe und Material (Beton, Kunststoff, Metall) unterschieden.

In diese Gruppe gehören auch ergänzende Beleuchtungsmittel (z.B. gelbblinkende Leuchten an den Bakern oder gelbblinkende Abweispfeile in erhöhter Lage zu Beginn der Mittelstreifenüberfahrten).

⁴ Neben diesen Hauptgruppen werden auch andere – teilweise unkonventionelle – Gestaltungselemente zur Aufmerksamkeits-erhöhung angewendet.

2.3.2. Diskussion und Auswahl

Bei der Auswahl von Einflussgrössen, deren Auswirkungen bei den Feldversuchen untersucht werden können, müssen auch die äusseren Randbedingungen, die durch den Kreditrahmen und durch die Bereitschaft der am Bau Beteiligten vorgegeben sind, berücksichtigt werden.

Bei der *Strassensignalisation* ist die dominierende Wirkung der Geschwindigkeitssignale unumstritten. Die Variation in diesem Bereich betrifft die Höhe der Geschwindigkeitsanzeige und deren Abstände vor der Baustelle. Für die Feldversuche wurde festgelegt, die Auswirkungen der veränderten Geschwindigkeitshöhe zu untersuchen. Dabei steht die Variation zwischen 80 und 100 km/h im letzten Signalisationsabschnitt vor der Baustelle im Vordergrund. Bezüglich Anordnung der Signale längs des Zufahrtsbereichs werden keine Anpassungen gegenüber den Normempfehlungen (erstes Signal 750 m vor der Baustelle) vorgenommen⁵. Bei den Untersuchungsstrecken wird von der jeweils eingerichteten (und von uns festgehaltenen) Anordnung ausgegangen.

Eines der Mittel zur Durchsetzung angepasster Geschwindigkeiten sind die (i.d.R. angekündigten) Überwachungsanlagen. Bei den Felderhebungen soll versucht werden, ihre Auswirkungen auf das Fahrverhalten zu ermitteln.

Bei den *Fahrbahnmarkierungen* werden für die Versuche keine sinnvollen Variationsmöglichkeiten gesehen.

Bei den *Leiteinrichtungen* sollten die Unterschiede in der Wirksamkeit zwischen punktförmigen und linienförmigen Mitteln untersucht werden. Dabei sollen auch verschiedene Höhen der Leiteinrichtungen einbezogen werden. Diese haben gemäss einer experimentellen Untersuchung der Kantonspolizei Zürich [38] Auswirkungen auf das Fahrverhalten in gekrümmten Abschnitten, wie sie bei der Überleitung über den Mittelstreifen vorliegen. Durch hohe Baken entsteht ein Verdeckungseffekt in Kurven, was die optische Führung, insbesondere bei Dunkelheit beeinträchtigt. Die Untersuchung hat gezeigt, dass diese negative Wirkung durch die Anordnung durchgehend niedriger Führungshilfen (getestet wurden nur ca. 30 cm hohe Reflektoren) beseitigt werden kann.

Eine zweite Gruppe der Anordnung von Leiteinrichtungen betrifft die Gestaltung im Vorfeld der Überleitung bzw. Verschwenkung. Zur Anpassung der Geschwindigkeit an die beengten Verhältnisse im Baustellenbereich werden die Fahrstreifen seitlich stark eingengt. Die markierte Einengung wird durch trichterförmig angeordnete Leiteinrichtungen optisch verstärkt. Die reduzierten Fahrstreifenbreiten werden bis zum Beginn der Überleitung durchgezogen. Versuche mit derartigen Anordnungen wurden im Ausland durchgeführt [19, 15] und haben sich als Mittel zur Harmonisierung des Geschwindigkeitsverlaufs bewährt. Aus diesem Grund werden sie bei unseren Feldversuchen nicht einbezogen.

Aufgrund dieser Erwägungen werden als Einflussgrössen für die Versuche folgende Elemente vorgesehen:

	Anordnung	Variation
Strassensignalisation: <i>Signal Höchstgeschwindigkeit</i>	letzter Signalstandort vor der Überleitung	100/80 km/h
Strassensignalisation: <i>Geschwindigkeitsüberwachung</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Sichtbare Radarkabine (Standort seitlich, ca. Mitte des Zufahrtsbereichs) - Ankündigung der Überwachung (Standort seitlich oder Überkopf, zu Beginn des Zufahrtsbereichs) 	ohne/mit
Strassensignalisation: <i>Signal Nr. 1.14. „Baustelle“</i>	Portalanordnung auf gelber Tafel (Standort beidseitig, ca. in der Mitte des Zufahrtsbereichs)	ohne / mit
Leiteinrichtung: - <i>Leitbaken</i>	vor und in der Überleitung	Grossformat (70 - 100 cm) / Kleinformat (bis 50 cm) mit/ohne aufgesetzter Minileitbake
- <i>Leitschienen</i>	vor und in der Überleitung	
- <i>Niedrige Baustellenleitschranke (Varioguard)</i>	vor und in der Überleitung	ohne/mit
- <i>Blinkende Abweispfeile in Hochlage</i>	in der Überleitung	ohne/mit

Tab. 2-1: Festgelegte Einflussgrössen für die Felderhebungen

⁵ In Deutschland (Bundesanstalt für Strassenwesen) wurden entsprechende Versuche in [15] mit einem verkürzten Signalisationsbereich vorgenommen. Allerdings werden Baustellen auf Bundesautobahnen nach den Richtlinien [26] bereits 2 km vor dem Baubereich (bei uns erst 1 km) angezeigt.

2.4. Erhebungsgrössen

Mit den Felderhebungen soll das Fahrverhalten während der verschiedenen Versuchsanordnungen erfasst werden. Im Zufahrtsbereich (Abschnitte B1 und B2 gemäss 2.1.2.) steht vor allem das Geschwindigkeitsverhalten je Versuch im Vordergrund. In der Überleitung bzw. Verschwenkung der Fahrstreifen interessiert zudem die Spurtreue beim Befahren der Einleitungsbogen. Die dritte Erhebungsgruppe umfasste die Vorgänge beim Fahrstreifenwechsel.

2.4.1. Geschwindigkeitsverhalten in der Zufahrt

Im signalisierten Zufahrtsbereich vor der Baustelle hat eine entsprechende Anpassung der Fahrgeschwindigkeiten zu erfolgen. Sie sollten an den Betrachtungsquerschnitten möglichst homogen verteilt und entlang der Strecke möglichst harmonisch abgestuft sein.

Die Geschwindigkeitsverteilungen an den Messquerschnitten werden mit den üblichen statistischen Grössen ($V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, und Standardabweichung s) beschrieben.

Der Geschwindigkeitsverlauf wird anhand der mittleren Geschwindigkeit V_m und der Streuung (s) um diesen Mittelwert beschrieben. Für Sicherheitsüberlegungen wird hier mit der Beschreibungsgrösse $V_{85\%}$ die Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge zusätzlich berücksichtigt. Die Qualität der Geschwindigkeitsanpassung kann durch Geschwindigkeitsdifferenzen bzw. durch mittlere Verzögerungen zwischen den Messquerschnitten entlang des Zufahrtsbereichs beschrieben werden.

Um den Geschwindigkeitsverlauf auf den einzelnen Fahrstreifen des Zufahrtsbereichs möglichst repräsentativ zu erfassen, sind im Abschnitt B1 in der Regel 5 Messquerschnitte und in der Überleitung (Abschnitt B2) jeweils 4 bis 5 Messquerschnitte vorgesehen.

Hinsichtlich Fahrzeugart wird anhand der Längenmessung zwischen den Gruppen Personenwagen (PW), Lastwagen (LW) und allen Fahrzeugen (Fz) unterschieden.

Aufgrund der Zeiterfassung durchfahrender Einzelfahrzeuge können auch die Zeitabstände (Bruttozeitlücken) ermittelt werden. Dies ermöglicht, die sogenannt ungehindert fahrenden Fahrzeuge, die von den jeweils vorausfahrenden Fahrzeugen in ihrer Geschwindigkeitswahl nicht beeinflusst werden, auszusortieren. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die minimale Zeitlücke zum Vorderfahrzeug mit 4 s definiert⁶. Anhand der Zeitlücken lassen sich auch Teilmengen mit verschiedenen Zeitintervallen innerhalb der Versuchsdauer generieren. Die Intervallbildung wird bei allfälligen Darstellungen in Fundamentaldiagrammen verwendet. Der Bezugszeitraum entspricht der jeweiligen Versuchsdauer.

2.4.2. Spurverhalten in der Überleitung

Als Unsicherheit der Fahrzeuglenker bei der Einfahrt in die Mittelstreifenüberfahrt können spurverhaltenbezogene Grössen gedeutet werden, die sich aus den Lateralpositionen der an einem Querschnitt vorbeifahrenden Fahrzeuge ergeben.

Die sogenannt ideale Fahrzeugspur entspricht der durch die Markierung bzw. die Leiteinrichtungen vorgegebenen Fahrstreifenachse. Die tatsächlichen Fahrzeuglagen können von dieser Ideallage mehr oder weniger abweichen. Unsicherheiten der Fahrzeuglenker manifestieren sich in der grösseren Streuung der Lateralpositionen der Fahrzeuge in einem betrachteten Querschnitt. Im Zusammenhang mit Vergleichen zwischen den einzelnen Versuchsanordnungen interessieren auch die Verschiebungen der mittleren Lage der Fahrzeugpositionen an den einzelnen Querschnitten.

Als Erhebungsgrössen des Spurverhaltens wurden je Versuch ausgewertet:

- Mittlere Achslage der Fahrzeuge an den einzelnen Betrachtungsquerschnitten, bezogen auf die jeweilige Geometrie des Fahrstreifens und
- Standardabweichung der Streuung um die mittlere Achslage.

Die Betrachtungsquerschnitte befinden sich im Bereich der Mittelstreifenüberfahrt und umfassen in der Regel den Beginn, die Mitte und das Ende des Einleitungsbogens.

Um die Auswirkungen des „Nachfahreffektes“ auf das Spurverhalten zu überprüfen, werden Auswertungen für die Gruppen „alle Fz“ und „freifahrende Fz“ vorgenommen.

⁶ Die Unabhängigkeit der Fahrweisen bei Zeitlücken grösser als 4 s wurde im Rahmen von früheren Untersuchungen der Forschungsstelle nachgewiesen (vgl. z.B. in [4, 35]).

2.4.3. Fahrstreifenwechsel

Im Zusammenhang mit Sicherheitsüberlegungen bei Baustellen an HLS sind auch die Wechselvorgänge zwischen einzelnen Fahrstreifen von Bedeutung. Ihre Häufung im letzten Teil des Baustellenabschnitts B1 kann als ein Zeichen der Unsicherheit der Fahrzeuglenker gedeutet werden. Sicherheitsrelevant sind vor allem Fahrstreifenwechsel, die beim wechselnden Fahrzeug und/oder bei den diesem Fahrzeug nachfolgenden Fahrzeugen zu Bremsverzögerungen führten.

Bei Betriebsformen ohne Fahrstreifenabbau (diese wurden gemäss 1.3. nicht einbezogen) können die Ursachen für Fahrstreifenwechsel in folgenden Gegebenheiten liegen:

- Überleitung eines der Fahrstreifens auf die Gegenfahrbahn bei einer signalisierten Breitenbeschränkung für diesen Fahrstreifen,
- Überleitung beider Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn bei einer signalisierten Breitenbeschränkung für den linken Fahrstreifen,
- Überleitung eines der Fahrstreifens auf die Gegenfahrbahn und Wegweisung auf unterschiedliche Fahrtziele (Betriebsform 3+1 mit einer Ausfahrt im Baustellenbereich).

Als Erhebungsgrössen der Vorgänge wurden ausgewertet:

- Anzahl und Richtung der Fahrstreifenwechsel (Normal- → Überholfahrstreifen und umgekehrt)
- Anzahl Fahrstreifenwechsel mit Bremsverzögerung bei einem oder mehreren der beteiligten Fahrzeuge; als Bremsverzögerung wurde das Aufleuchten der Bremslichter bezeichnet.

Die obigen Grössen werden in Abhängigkeit der jeweiligen Belegung des Normalfahrstreifens bzw. der Gesamtbelastung angegeben.

2.5. Versuche

2.5.1. Versuchsbedingungen

Wie in 2.3. dargelegt, kommen für die Versuche kombinierte Gestaltungen mit Einsatz von Strassensignalen, Fahrbahnmarkierungen und Leiteinrichtungen zur Anwendung. Dabei wurde grundsätzlich von der geplanten Signalisierung und der geometrischen Auslegung der Baustellenabschnitte B1 und B2, wie sie von den Unternehmern vorgegeben wurde, ausgegangen. Bei Untersuchungsstrecken, auf welchen die Variierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (80/100 km/h) vor der Überleitung vorgesehen war, wurde jedoch vorgängig geprüft, ob die Mittelstreifenüberfahrt die Voraussetzungen für die zeitweise Anordnung einer höheren Tempolimite erfüllte. Dazu wurden die Empfehlungen hinsichtlich Geometrie der Mittelstreifenüberfahrt gemäss Norm⁷ berücksichtigt. Als Randbedingung galt eine ausreichende Öffnungslänge.

Die Versuchsdauer war einerseits abhängig von den örtlichen Bedingungen wie Baufortgang (Bauetappen) und vom Zeitbedarf für die Versuchs- und Messeinrichtung, andererseits musste auch die Erfassungskapazität der Messeinrichtungen sowie ihre Programmierung berücksichtigt werden. Dies ist in der folgenden Tabelle veranschaulicht.

Messsystem	Max. Datenmenge	Max. Betriebsdauer	Neuprogrammierung
Induktivmessplatten NC97	28'000 Fz	ca. 14 Tage	Zeitaufwendig, da zur Demontage Fahrstreifen gesperrt werden müssen
Messpfosten	4'000 Fz	ca. 4 bis 8 Std. (je nach Anzahl gemessener Fz)	Zugang für Neuprogrammierung unter Verkehr möglich, das Aufladen der Akkus benötigt jedoch mindestens 8 Std.;
Induktivschlaufen / DATAMOS C88	Nicht beschränkt	nicht beschränkt	Nicht relevant, da Zugang ausserhalb Fahrbahn

Tab. 2-2: Randbedingungen bzgl. Kapazität und Programmierung der Messeinrichtungen

Aufgrund dieser Randbedingungen wurde eine Versuchsdauer von jeweils 2 Stunden angestrebt.

Das Einrichten der Versuche haben freundlicherweise die zuständigen Unterhaltsdienste übernommen. Die Installation der Messeinrichtungen (vgl. 2.6.4.) erfolgte durch die Forschungsstelle, wiederum mit Unterstützung der Unterhaltsdienste.

⁷ SN 640 135: Linienführung; Mittelstreifenüberfahrten

Der Regelablauf bei der Vorbereitung und Durchführung von Versuchen umfasste:

- Einrichten der Versuchsgestaltung (i.d.R. am Vortag des Versuchs 1)
 - ↓
- Einbau und Programmierung von Induktivmessplatten (getrennt für Fahrstreifen 1 bzw. 2) und Messpfosten (Induktivschlaufen wurden von einer Drittfirma vorgängig eingefräst)
 - ↓
- Messung für Versuch 1
 - ↓
- Auslesen der Messpfosten-Daten (Speichermedium / PC, in der Regel vor Ort)
 - ↓
- Umgestaltung für Versuch 2 (je nach Art der Umgestaltung am gleichen oder darauf folgenden Tag)
 - ↓
- Neuprogrammierung der Messpfosten
 - ↓
- Messung für Versuch 2
 - ↓
- Auslesen der Messpfosten-Daten und Demontage von Induktivmessplatten und Messpfosten

Die Versuchsdauer richtete sich nach der Messdauer bzw. den Zeitangaben der Messpfosten. Bei den übrigen Messsystemen wurden die entsprechenden Datensätze gemäss diesen Zeitangaben entnommen. Bei längeren Zeitabständen zwischen den Versuchen mussten die Induktivmessplatten ausgebaut und vor dem nächsten Versuch nach einer Neuprogrammierung wieder eingebaut werden.

2.5.2. Versuchselemente

In Tabelle 2-1 (vgl. 2.3.2.) sind die für die Versuchsdurchführung vorgesehenen Elemente zusammengestellt. Die Zusammensetzung der verschiedenen Elemente zu einzelnen Versuchen ist in 3.2. beschrieben. In den folgenden Abbildungen sind ausgewählte Versuchselemente bildlich veranschaulicht.



Abb. 2-4: Leitbaken im Grossformat in einstreifiger Mittelstreifenüberfahrt



Abb. 2-5: Blinkende Abweispfeile in Hochlage zu Beginn einer Überleitung



Abb. 2-6: Niedrige Leitbaken aufgesetzt auf Leitschiene in einstreifiger Mittelstreifenüberfahrt

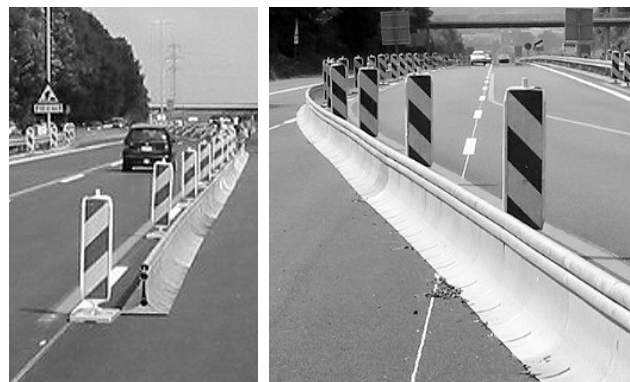


Abb. 2-7: Niedrige Baustellenleitschranke und Leitbaken im Grossformat

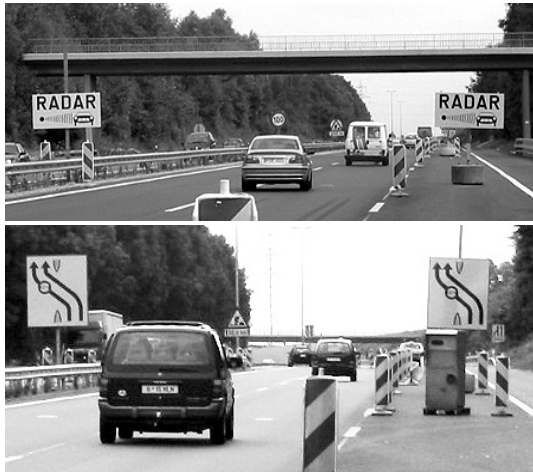


Abb. 2-8: Angekündigte Geschwindigkeitsüberwachung

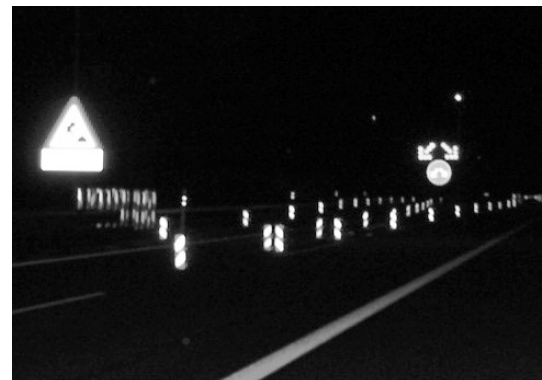


Abb. 2-9: Portalanordnung Signal „Baustelle“ auf gelben Tafeln

Die Portalanordnung in Abbildung 2-9 wurde im Rahmen eines europäischen Forschungsauftrags⁸ eingesetzt. Die Ursprüngliche Idee der „Torbildung“ geht auf Arbeiten von AULBACH [1] zurück. Erkenntnisse zur Wirkung dieser Einrichtung (Erhöhung der Aufmerksamkeit) konnten in der Schweiz bisher nicht gewonnen werden. Der Einsatz in den hier geplanten Versuchen war ursprünglich nicht vorgesehen. Da eine solche Einrichtung in der Schweiz jedoch im Einsatz ist (Kanton Uri) und die Verantwortlichen des Kantons sich bereit erklärt hatten, die Einrichtung für Versuchszwecke auszuleihen, wurde sie an einer der Untersuchungsstrecken eingesetzt.

Zur Abklärung der in 2.3.2. angesprochenen Frage der Höhe von Leiteinrichtungen wurden auch zwei Versuche (mit Leitschiene / mit Leitbaken im Grossformat) während der Nacht durchgeführt. Die Abbildung 2-10 vermittelt hierzu einen Eindruck (Es handelt sich um die gleiche Stelle wie in den Abbildungen 2-4 bzw. 2-5).

Abb. 2-10: Leitbaken in der Mittelstreifenüberfahrt während der Nacht



2.6. Evaluation der Messeinrichtungen

Wie in 2.4. dargelegt, war bei den Versuchen vorgesehen, das Fahrverhalten im Zufahrtsbereich zur Baustelle auf einer Länge von ca. 1 km zu erfassen. Dabei stand insbesondere die kontinuierliche Erfassung des Geschwindigkeitsverlaufs über die gesamte Strecke im Vordergrund. Zudem war die Fahrstreifenbelegung und die Art und Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel von Interesse. Die Einfahrt in den Baustellenbereich wird durch die Einengung und Überleitung der Fahrstreifen charakterisiert. Hier interessierte neben dem Geschwindigkeitsverlauf auch die vorgegebene Spurtreue. Für diese Anforderungen mussten mehrere Mess- und Erfassungssysteme eingesetzt werden.

Das IVT setzt bereits zwei geeignete Messeinrichtungen für die Fahrzeugdetektion ein (vgl. 2.6.1.), die sich hinsichtlich Genauigkeit und Zuverlässigkeit bewährt haben:

- Der konventionelle Induktivschlaufendetektor (Datamos);
- Die Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens (Messpfosten)

Die Geschwindigkeitsmessungen mit Induktivschlaufen sind sehr genau und können über längere Zeiträume durchgeführt werden, die Installation der Doppelschlaufen ist jedoch aufwendig. Sie wurden deshalb für den Einsatz an einem Messquerschnitt zu Beginn des Zufahrtsbereichs vorgesehen.

⁸ Advanced Research on Road Work Zone Safety Standards in Europe (ARROWS) des Directorate for Transport of the European Commission (DG VII)

Die sogenannten Messpfosten sind flexibel einsetzbar. Ihre Messgenauigkeit bzgl. Geschwindigkeiten ist vergleichbar mit jener der Induktivschlaufen. Dies wurde im Rahmen früherer Arbeiten (z.B. [35, 4]) nachgewiesen. Diese Messeinrichtung eignet sich zudem zur Erfassung des Spurverhaltens. Sie wurde deshalb im Einleitungs- und Überleitungsbereich vor der Baustelle eingesetzt.

Für den Abschnitt zwischen dem Beginn und dem Ende des Zufahrtsbereichs wurde nach einer Evaluation verschiedener Möglichkeiten der Einsatz von sogenannten Induktivplatten (vgl. 2.6.2.) empfohlen. Ausschlaggebend hierfür waren ihre relativ rasche und kostengünstige Installation auf der Fahrbahn. Allerdings musste vor dem Einsatz die Genauigkeit und Zuverlässigkeit dieser Messeinrichtung getestet werden, um die Kompatibilität der Messergebnisse zu gewährleisten.

Die Erfassung der Fahrstreifenwechsellvorgänge erfolgte mit Hilfe von Videoaufzeichnung und anschließender manueller Bildschirmauswertung. Der Verkehrsablauf wurde im Übergangsbereich an einem geeigneten Standort mittels einer Videokamera aufgenommen. Der Bildausschnitt umfasste den letzte Teil des Zufahrtsbereichs auf einer Länge von ca. 300 bis 400 m. Im Vordergrund der Beobachtungen stehen insbesondere die Häufigkeit und der Ablauf der Fahrstreifenwechsel im Zufahrtsbereich zu der Baustelle.

2.6.1. Messeinrichtungen des IVT

- *Induktivschlaufen*

Zur Datenerfassung sind zwei hintereinander angeordnete Schlaufen je Fahrstreifen erforderlich, um die Fahrzeuglängen unterscheiden und die Geschwindigkeiten messen zu können. Mit dem Detektor DATAMOS C88 können die Anzahl Fahrzeuge, die Fahrzeuglängen sowie die Geschwindigkeiten erhoben werden. Die vorhandene Software ermöglicht eine Einzelfahrzeuergfassung. Die Auswertung erfolgt getrennt nach Fahrstreifen mit Zeit- und Datumsangabe. Die Installation der Schlaufen erfolgt vorgängig und bedingt eine Sperrung der entsprechenden Fahrstreifen. Das Gehäuse des Auswertegerätes wird abseits der Fahrbahn aufgestellt.

- *Messpfosten*

Die zur Erhebung des Geschwindigkeitsverhaltens eingesetzte Messeinrichtung besteht aus 12 unabhängigen Messeinheiten, die in gewöhnlichen Strassenleitpfosten eingebaut sind, sowie einem Steuergerät, mit dem die Messpfosten bedient werden. Die erfassten Daten werden je Messeinheit auf Speicherkarten abgelegt, die zur Auswertung im PC eingelesen werden können.

Die als Gehäuse der Messeinrichtung verwendeten Leitpfosten dienen zur Tarnung. Damit kann gewährleistet werden, dass das Verhalten der Fahrzeuglenker nicht durch die Anlage der Messung beeinflusst wird.

Die einzelnen Messpfosten erfassen folgende Größen:

- Durchfahrtszeiten der Fahrzeuge (in ms)
- Fahrtrichtung der Fahrzeuge (Hin- / Gegenverkehr)
- Fahrzeuglängen (in cm)
- Querabstände der durchfahrenden Fahrzeuge zum Messpfosten (in cm)

Die Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten erfolgt bei der Auswertung der gemessenen Durchfahrtszeiten zwischen den einzelnen Messpfosten, die über das Steuergerät synchronisiert werden.

Zur Fahrzeugdetektion dienen zwei Paare von Infrarot (IR)-Sendern und Empfängern, welche ununterbrochen die Fahrbahn überwachen, und ein Ultraschall-Distanzmesser, der auf dem Echolot-Prinzip basiert. Der Ultraschallsensor dient zur Distanzmessung der Querabstände vorbeifahrender Fahrzeuge.

Da jeder Fahrstreifen separat gemessen und ausgewertet wird, stehen somit sechs Messpfosten pro Fahrstreifen zur Verfügung, die eine Verfolgung der Fahrzeuge im Einleitungsbereich zulassen. Die Installation dieser Pfosten erfolgt entlang dem Fahrbahnrand. Die Einsatzdauer dieser Messeinrichtung ist durch die Speicherkapazität der Karten (bis 4'000 Fz) bzw. die Batterieentladung beschränkt, für die jeweilige Versuchsdauer jedoch ausreichend.

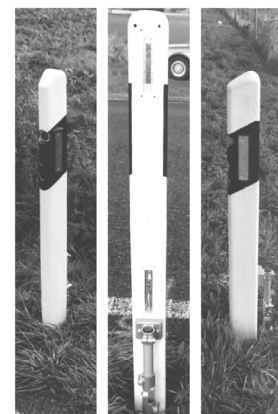


Abb. 2-11:
Verschiedene Ansichten
des Messpfostens

Die am IVT entwickelte Software ermöglicht u.a. die Auswertung von:

- Geschwindigkeitsverteilungen in Abschnitten zwischen jeweils zwei Messpfosten und
- Spurverteilungen der vorbeifahrenden Fahrzeuge in Querschnitten der einzelnen Messpfosten; die Auswertung bezieht sich dabei auf die Achslagen der Fahrzeuge.

2.6.2. Induktivplatten

Das mobile Verkehrsmesssystem NC97 basiert auf dem Induktionsprinzip. Die Veränderung des Magnetfeldes beim Überfahren der Messplatten durch die Fahrzeuge kann gemessen und ausgewertet werden. Dadurch erfasst das System folgende Größen: Geschwindigkeit, Fahrzeuglänge, Zeitabstand und Anzahl Fahrzeuge, sowie Temperatur und Feuchte im Strassenbelag. Die verkehrstechnische Abteilung der Kantonspolizei Zürich ist im Besitz von zehn NC97 Messplatten, so dass auf jedem Fahrstreifen fünf Platten eingesetzt werden können. Sie sind vor der Montage zu programmieren und schalten sich zum im voraus definierten Messbeginn automatisch ein. Die Platten werden in der Fahrbahnmitte installiert, wo sie am Belag zusammen mit einer Kunststoffabdeckung festgeschraubt werden. Für die Montage wie auch für die Demontage ist somit der betreffende Fahrstreifen zu sperren. Diese Messeinrichtung ist im Einsatz relativ unauffällig. Da sie zudem von den Fahrern nicht mit einer Geschwindigkeitsmessung in Verbindung gebracht wird, ermöglicht sie die Erfassung eines weitgehend unbeeinflussten Fahrverhaltens.

Diese Messeinrichtung ist bei der verkehrstechnischen Abteilung der Kantonspolizei Zürich im Einsatz und wurde uns für die vorliegenden Forschungszwecke zur Verfügung gestellt.



Abb. 2-12: NC97-Messplatte ohne Abdeckung (oben) und mit Abdeckung, befestigt auf der Fahrbahn (unten)

2.6.3. Vergleichsmessungen

Vor dem Einsatz der Induktivmessplatten (NC97) musste die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit jenen der anderen Messsysteme gewährleistet werden. Dazu wurden folgende Tests durchgeführt:

In einem ersten Schritt wurde eine Vergleichsmessung zwischen einer Radarsonde, wie sie von der Polizei verwendet wird, und den Messpfosten durchgeführt. Die Messgenauigkeit der Radarsonde beträgt laut Angaben des Herstellers im Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 und 100 km/h ca. ± 3 km/h. Die Resultate einer Versuchsmessung mit ca. 300 Fahrzeuggeschwindigkeiten sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Unterschiede bei den statistischen Geschwindigkeitsgrößen nur klein sind; sie liegen im erwähnten Genauigkeitsbereich der Radarsonde. Damit wurde die bei früheren Tests bereits bestätigte hohe Genauigkeit der Messpfosten bestätigt.

Kenngrösse	Ergebnisse mit Radarsonde [km/h]	Ergebnisse mit Messpfosten [km/h]	Differenz in km/h (in %)	
	(1)	(2)	(1) - (2)	
$V_{15\%}$	52	50	+2	(+3.8)
$V_{50\%}$	63	63	0	(0.0)
$V_{85\%}$	71	72	-1	(-1.4)
V_m	61.96	62.10	-0.14	(-0.2)
Standardabweichung S	10.12	10.80	-0.68	(-6.7)

Tab. 2-3: Ergebnisse der Vergleichsmessung Radarsonde / Messpfosten

Im zweiten Schritt wurden für den Vergleich die Induktivmessplatten und die Messpfosten verwendet. Dazu wurden zwei Tests durchgeführt:

- Direktvergleich der Resultate von Einzelfahrten
- Dauermessung für den Vergleich von statistischen Geschwindigkeitsgrössen aus einer grösseren Stichprobe.

Aufgrund der Resultate der Einzelmessungen, die einen direkten Vergleich der gemessenen Werte der beiden Systeme erlauben, wird eine Korrelationsbeziehung zwischen den beiden Systemen gesucht und als Hypothese einer möglichen Abhängigkeit definiert. Die Hypothese (Korrelationsgleichung) wird mit den wichtigen statistischen Geschwindigkeitsgrössen aus der Dauermessung überprüft.

Einbezogen in den Versuch wurden fünf Induktivmessplatten. Neben der Messgenauigkeit sollte damit auch die Zuverlässigkeit der einzelnen Messplatten untersucht werden. Die Versuchsanordnungen und Ergebnisse sind im ANHANG 2 beschrieben. Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Vergleichsmessungen sind:

- Die Induktivmessplatten erfüllen die Anforderungen für den Messeinsatz in der vorliegenden Untersuchung. Die Messgenauigkeit liegt nach einer Korrelationsumrechnung im Bereich von $\pm 5\%$. Die korrelierten Werte liegen im Bereich der Messgenauigkeit der zum Vergleich einbezogenen Messpfosten.
- Die Korrelationsbeziehung muss für jede Messplatte separat ermittelt werden. Dieser Eichungsvorgang ist auch für die Überprüfung der Zuverlässigkeit unerlässlich: Messplatten, die auch nach der Umrechnung grosse Differenzen aufweisen, müssen ausgeschieden werden.
- Die Vergleichsmessungen bestätigten, dass die Forderung, ein unbeeinflusstes Fahrverhalten zu erfassen, bei dieser Messeinrichtung erfüllt sind.

2.6.4. Installationsbedingungen

Während der Erhebung werden verschiedene Messsysteme zum Einsatz kommen. Die Installation und Inbetriebnahme der einzelnen Systeme ist sehr unterschiedlich und muss aufeinander abgestimmt werden. Die folgende Tabelle zeigt die Anforderungen an die Installation und die Inbetriebnahme der einzelnen Messsysteme.

Messsystem	Installation	Inbetriebnahme
Induktivschlaufen / DATAMOS C88	<ul style="list-style-type: none"> - Installation im voraus möglich - Betreten der Fahrbahn notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> - vom Fahrbahnrand - Einsatzzeit: mehrere Tage
Messpfosten	<ul style="list-style-type: none"> - Installation unmittelbar vor Messbeginn - Überqueren der Fahrbahn notwendig (Montage und Demontage) 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisch über Timer - Einsatzzeit: mehrere Stunden
Induktivmessplatten NC 97	<ul style="list-style-type: none"> - Installation unmittelbar vor Messbeginn - Betreten der Fahrbahn notwendig (Montage und Demontage) 	<ul style="list-style-type: none"> - Automatisch - Einsatzzeit: mehrere Tage
Videoüberwachung	<ul style="list-style-type: none"> - Installation unmittelbar vor Messbeginn - I.d.R. kein Betreten der Fahrbahn nötig 	<ul style="list-style-type: none"> - vom Fahrbahnrand - Einsatzzeit: mehrere Stunden

Tab. 2-4: Anforderungen an Installation und Inbetriebnahme der Messsysteme

2.7. Anforderungen an Unfalldaten

Im Zusammenhang mit den untersuchten Baustellenbereichen waren auch Unfalldaten zu beschaffen. Im Vordergrund stehen Zustandsvergleiche, welche die Abschätzung der Unterschiede im Ausmass und in der Struktur des Unfallgeschehens zwischen HLS-Abschnitten ohne und mit Baustellen ermöglichen. Dies kann aufgrund von so genannten VORHER-/NACHHER- und MIT-/OHNE-Vergleichen vorgenommen werden.

VORHER-/NACHHER-Vergleiche beziehen sich auf eine Strecke, deren Länge der Ausdehnung der Baustelle und ihrem Einflussbereich (Abschnitte B1 bis B5) entspricht. Im Zeitraum VORHER besteht auf dieser Strecke keine bauliche Beeinträchtigung, im Zustand NACHHER ist eine Baustelle eingerichtet. Die beiden Zustände müssen gleich lang sein.

MIT-/OHNE-Vergleiche beziehen sich auf die Baustellenstrecke und eine zum Vergleich einbezogenen Strecke ohne bauliche Beeinträchtigung. Da die beiden Strecken eine ähnliche Streckencharakteristik haben sollten, werden zum Vergleich in der Regel die an den Baustellenbereich anliegenden HLS-Abschnitte beigezogen.

Sie müssen ähnlich lang sein wie der Baustellenbereich und das Unfallgeschehen umfasst für beide Strecken wiederum die gleiche Periode, entsprechend der Baustellendauer.

Der Nachteil dieser Vergleiche besteht darin, dass bei den vorgesehenen Untersuchungsstrecken die Baustellenzustände – bedingt durch den Baufortgang – relativ kurz sind (nur kleine Unfallzahl), sodass in der Regel keine statistisch signifikante Aussagen möglich sind.

Deshalb interessieren auch Veränderungen in der Struktur des Unfallgeschehens. Im Vordergrund steht dabei die Aufteilung nach:

- Unfalltypen (Kollisionsentstehung),
- Unfallfolgen (Unfallschwere) und
- Unfallort (Zuordnung zu den Baustellenabschnitten, insbesondere B1 und B2).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, das Unfallgeschehen der Untersuchungsstrecke mit Baustelle mit den Auswertergebnissen von einer oder mehrerer der früheren Baustellen der gleichen Ausprägung (u.a. Betriebsform, Zeitdauer, Verkehrsmengen) zu vergleichen. Auch diese Vergleichsmöglichkeit wurde in der vorliegenden Untersuchung einbezogen.

Aufgrund dieser Überlegungen wurden für die Datenaufbereitung folgende Unfallmerkmale gefordert:

- Unfallort (HLS-km, Eintragung in Kartenübersicht) und Fahrtrichtung bzw. Fahrbahn
- Unfalltyp (Code des bfs),
- Unfallbeteiligte (Fahrzeugarten) und
- Unfallfolgen (Angabe der Verletzungsfolgen und des Sachschadens).

Erwünscht waren auch Angaben zu Unfallzeit (Abgrenzung Tag/Nacht) und in den Baustellenabschnitten B2 und B3 die Präzisierung des Unfallortes hinsichtlich Fahrstreifen.

3. Felderhebungen

Mit den Felderhebungen bei Autobahnbaustellen sollen die Auswirkungen auf das Verkehrs- und Geschwindigkeitsverhalten bei verschiedenen signalisierten Höchstgeschwindigkeiten und bei verschiedenen Leiteinrichtungen vor und im Einleitungsbereich der Baustelle untersucht werden. Dazu wurden Erhebungen im Bereich von vier Baustellen mit insgesamt 16 Versuchsanordnungen durchgeführt.

3.1. Untersuchungsstrecken

Aus den Umfragen sind von fünf Kantonen Vorschläge für Baustellen an acht Autobahnen mit insgesamt 28 Bauetappen, die in den Jahren 2001 bis 2003 vorgesehen waren, eingegangen. Für die Versuchszwecke wurden Abschnitte gesucht, auf welchen ein möglichst ungehindertes Fahrverhalten erfasst werden kann. Die Höhe der Verkehrsbelastungen während der Messungen sollte also nicht zu Störungen oder zu Staubildung führen. Umgekehrt wurde angestrebt, während des in den Zwischenzeiten vorgesehenen Einbaus von Messeinrichtungen, der zwangsläufig mit Fahrstreifensperrungen verbunden ist, keine übermässigen Verkehrsbehinderungen zu verursachen.

Massgebend für die Auswahl waren:

- Typische, häufig angewendete Betriebsformen
- Verkehrsführung mit Überleitung und ohne Reduktion der Fahrstreifenanzahl
- Verkehrsbelastungen entsprechend einem DTV von ca. 40'000 – 50'000 Fz/Tag
- Bereitschaft der Verantwortlichen zur Kooperation bei der Einrichtung der Versuchsanordnungen
- Relative Nähe zum Domizil der Forschungsstelle.

Aufgrund dieser Kriterien wurden für die Erhebungen im Sommer 2001 drei Baustellen festgelegt.

In einem zweiten Schritt wurde eine Baustelle mit stärkeren Verkehrsbelastungen gesucht, mit dem Ziel, die Entstehung und Ausbreitung von Verkehrsbehinderungen infolge Überlastung zu erfassen und in die späteren Analysen einzubeziehen. Dabei waren diese Erhebungen ursprünglich für Frühsommer 2002 geplant. Aufgrund der Umfragen war zu diesem Zweck der A1-Abschnitt zwischen Rothrist und Härkingen mit einem DTV von ca. 75'000 Fz/Tag vorgesehen. Im Zusammenhang mit der Landesausstellung wurde diese Baustelle jedoch nicht eingerichtet. Zusätzlich Umfragen haben ergeben, dass auf den Nationalstrassen im Jahr 2002 Bauarbeiten nur auf schwach belasteten Abschnitten durchgeführt werden. Aus diesem Grund mussten die Erhebungen auf das Jahr 2003 verlegt werden.

Nachdem die Zusage für die Einrichtung der Baustelle zwischen Rothrist und Härkingen auch für das Jahr 2003 zurückgezogen wurde, musste ein Ersatz festgelegt werden. Die schliesslich gewählte vierte Untersuchungsstrecke auf der A1 im Bereich des Baregg隧nells entspricht insofern nicht dem Untersuchungskonzept, als dort sehr hohe Verkehrsmengen auftreten, die Verkehrsführung in relativ kurzen Zeitabständen wechselte und keine „Standard-Betriebsformen“ möglich waren. Dennoch konnte eine Bauphase mit einer „klassischen“ Fahrstreifenüberleitung einbezogen werden.

In Tabelle 3-1 sind die wichtigsten Merkmale der insgesamt vier festgelegten Untersuchungsstrecken zusammengestellt (weitere Angaben sind im ANHANG 3 enthalten).

Untersuchungsstrecke	Bezeichnung	Betriebsform	Überleitung	DTV [Fz/T] Anteil LW *)	Streckenmerkmale	Verweis auf ANHANG
A1, Kanton St. Gallen, Anschluss Uzwil Nord, Richtung St. Gallen	SG1	4 / 0	2-streifig	44'000 7.5%	- Zufahrt in leichter Linkskurve und Gerade - Zufahrt in Steigung (i = 5%); Zusatzstreifen gesperrt	3.1
A1, Kantonsgrenze Thurgau/ St. Gallen, Richtung St. Gallen	SG2	3 / 1	1-streifig	40'000 7.5%	- Zufahrt in Rechtskurve mit R = 1'750 m - Anschluss im Baustellenbereich	3.2
A14, Kanton Zug, Rotkreuz, Verzweigung Rütihof, Richtung Zug	ZG1	4 / 0	2-streifig	47'000 8.1%	- Zufahrt in leichter Rechtskurve und Gerade	3.3
A1, Kanton Aargau, Baregg, nach Verzweigung A1 / A3, Richtung Zürich	AG1	4 / 2 bzw. 4 / 1	1-streifig	93'000 14%	- Zufahrt in leichter Rechtskurve und Gerade	3.4

*) DTV für beide Fahrrichtungen; Anteil LW bezüglich Durchschnittlicher Werktagsverkehr (DWV)

Tab. 3-1: Übersicht der für die Felderhebungen festgelegten Untersuchungsstrecken

Die festgelegten Untersuchungsstrecken sind in den Abschnitten 3.1.1. bis 3.1.4. kurz beschrieben. Die jeweiligen Darstellungen der Verkehrsführung sind nur schematisch, die Anordnung der Signalisation ist in der Längenabwicklung massstäblich.

3.1.1. Untersuchungsstrecke SG1

Bei dieser Untersuchungsstrecke auf der A1 (ANHANG 3.1) wurde im Baustellenbereich die Betriebsform 4+0 auf einer Länge von 10 km eingerichtet. Dazu mussten beide Fahrstreifen der baustellenseitigen Fahrbahn über eine 2-streifige Mittelstreifenüberfahrt mit einer Öffnungslänge von 100 m übergeleitet werden. Die Fahrstreifenbreiten im Zufahrtbereich betragen in der Messrichtung 4.00 m, in der Überleitung 4.05 m (rechts) bzw. 4.00 m (links) und im Baustellenbereich 2.50 m (rechts) bzw. 3.00 m (links). Die Signalisation im Zufahrtbereich ist in Abbildung 3-1 schematisch dargestellt.

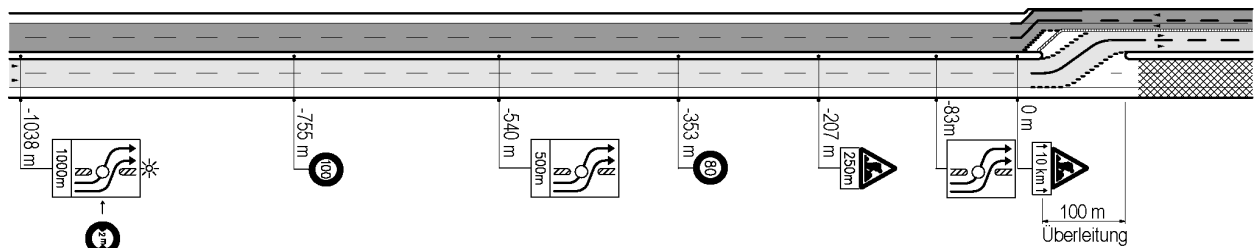


Abb. 3-1: Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke SG1

Der Zufahrtbereich liegt in einer leichten Linkskurve (zu Beginn) bzw. in der Geraden und befindet sich in einer Steigungsstrecke ($i = 5,0\%$). Die Fahrbahn besteht aus drei Fahrstreifen (Zusatzstreifen in der Steigung). Im Bauzustand war der rechte Fahrstreifen abgesperrt. Zusammen mit dem Standstreifen diente er als Baustellenzufahrt.

3.1.2. Untersuchungsstrecke SG2

Bei dieser Untersuchungsstrecke auf der A1 (ANHANG 3.2) wurde im Baustellenbereich die Betriebsform 3+1 auf einer Länge von 4 km eingerichtet. Dazu musste der linke Fahrstreifen der baustellenseitigen Fahrbahn über eine 1-streifige Mittelstreifenüberfahrt mit einer Öffnungslänge von 120 m übergeleitet werden. Auf diesem Fahrstreifen wird keine Breitenbeschränkung signalisiert (Benützung durch LW erlaubt). Der rechte Fahrstreifen, über den die Autobahnausfahrt „Wil“ erreichbar war, wurde unmittelbar am Ende der Mittelstreifenüberfahrt nach links auf den Überholfahrstreifen verschwenkt (vgl. Abbildung 3-2).

Die Fahrstreifenbreiten im Zufahrtbereich betragen in der Messrichtung 4.00 m, in der Überleitung 3.80 m (linker Fahrstreifen) und im Baustellenbereich war dieser Fahrstreifen 3.30 m breit. Die Signalisation im Zufahrtbereich ist in Abbildung 3-2 schematisch dargestellt.

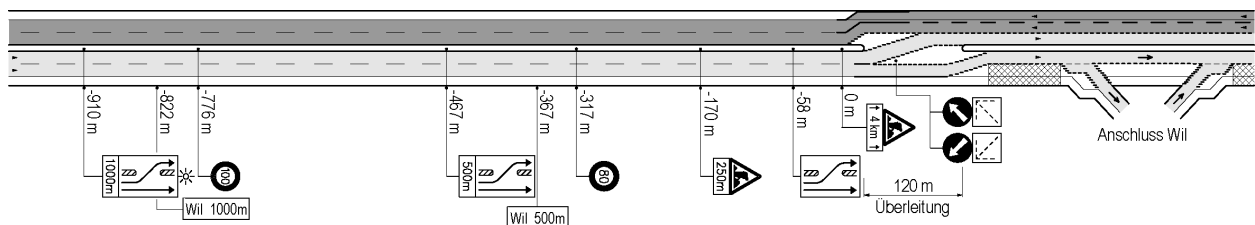


Abb. 3-2: Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke SG2

Der Zufahrtbereich liegt in einer Rechtskurve ($R = 1'750 \text{ m}$), bei einer Längsneigung von weniger als 2%. Der Beginn der Überleitung war mit blinkenden Abweispfeilen in Hochlage (vgl. Abb. 2-5) verdeutlicht. Die Mittelstreifenüberfahrt wurde bei Dunkelheit beleuchtet (2 Hochmasten an den Enden des Mittelstreifens).

3.1.3. Untersuchungsstrecke ZG1

Bei dieser Untersuchungsstrecke auf der A14 (ANHANG 3.3) wurde im Baustellenbereich die Betriebsform 4+0 auf einer Länge von 1,5 km eingerichtet. Dazu mussten beide Fahrstreifen der baustellenseitigen

Fahrbahn über eine 2-streifige Mittelstreifenüberfahrt mit einer Öffnungslänge von 135 m übergeleitet werden. Auf dem linken Fahrstreifen war eine Breitenbeschränkung signalisiert (Benützungsverbot für LW). Die Fahrstreifenbreiten im Zufahrtbereich betragen in der Messrichtung 3,90 m, in der Überleitung 4,50 m (rechts) bzw. 3,35 m (links) und im Baustellenbereich 2,95 m (rechts) bzw. 3,00 m (links). Die Signalisation im Zufahrtbereich ist in Abbildung 3-3 schematisch dargestellt.

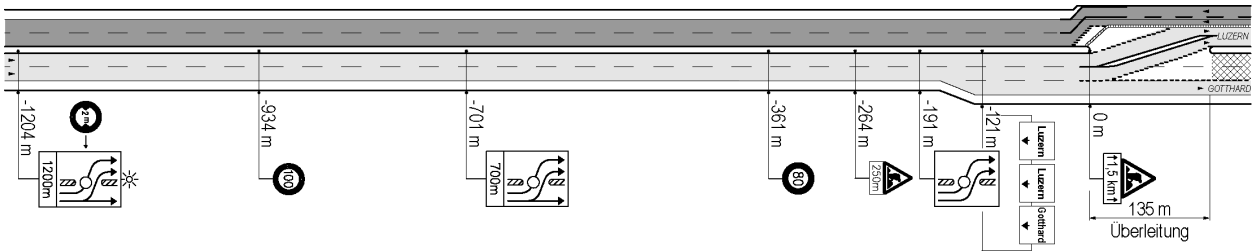


Abb. 3-3: Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke ZG1

Der Zufahrtbereich liegt in einer leichten Rechtskurve (zu Beginn) bzw. in der Geraden. Die Mittelstreifenüberfahrt befindet sich unmittelbar im Bereich der Autobahnverzweigung A4/A14. Dort wird rechts ein dritter Fahrstreifen („Gotthard“) angefügt. Der zugehörige Pannestreifen war im Baustellenzustand mit hohen Baken abgesperrt. Bei der Anordnung mit hohen Baken in der Überleitung waren diese (auch am Tag) mit Lauflichtern beleuchtet.

3.1.4. Untersuchungsstrecke AG1

Bei dieser Untersuchungsstrecke auf der A1 (ANHANG 3.4) wurde im Baustellenbereich die Betriebsform 4+2 bzw. 4+1 (ca. 400 m nach Mittelstreifenüberfahrt) auf einer Länge von 2,7 km eingerichtet. Dazu musste der äusserste linke Fahrstreifen über eine 1-streifige Mittelstreifenüberfahrt mit einer Öffnungslänge von 86 m übergeleitet werden. Die Fahrstreifenbreiten im Zufahrtbereich betragen in der Messrichtung 3,90 m, in der Überleitung 3,65 m (ohne Anzeige der Höchstbreitenbeschränkung) und im Baustellen-Innenbereich 3,25 m. Die Signalisation im Zufahrtbereich ist in Abbildung 3-4 schematisch dargestellt.

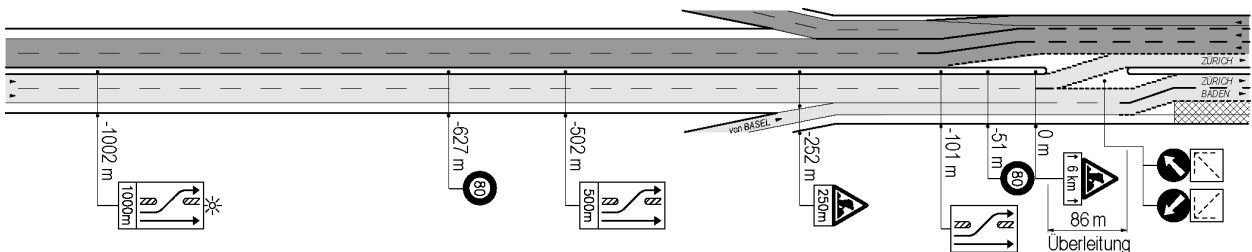


Abb. 3-4: Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke AG1

Der Zufahrtbereich liegt in einer leichten Rechtskurve, die in eine Gerade übergeht. Nach der Überleitung beginnt eine Steigungsstrecke (ca. 3,5% im Baustellen-Innenbereich). Anders als bei den ersten drei Untersuchungsstrecken befindet sich im Zufahrtbereich dieser Untersuchungsstrecke eine Einfahrt (Einfahrt der A3 aus Richtung Basel in die A1). Da es sich um eine Autobahnverzweigung handelt, war die zulässige Höchstgeschwindigkeit bereits vor dem Zufahrtbereich auf 100 km/h begrenzt. Die Untersuchungsstrecke war sehr stark belastet; die Verkehrsmengen, aber auch der Schwerverkehrsanteil lagen etwa zweimal so hoch wie auf den übrigen Untersuchungsstrecken.

Die zwei baustellenseitigen Fahrstreifen (Normalfahrstreifen der A1 und der additiv angefügte Einfahrtstreifen von der A3) wurden vor Baustellenbeginn nach links verschwenkt, wobei der äusserste rechte Fahrstreifen wurde anschliessend abgebaut (Betriebsform 4+1). Der Beginn der Überleitung war mit blinkenden Abweispfeilen in Hochlage verdeutlicht. Zudem waren die hohen Baken in der Überleitung und in der Verschwenkung mit Lauflichtern ausgestattet. Bei der Baustellenankündigung vor der Verzweigung war ein Hinweis auf permanente Radarüberwachung angezeigt.

3.2. Versuchsanordnungen

Die in 2.5. beschriebenen Versuche kamen an den einzelnen Untersuchungsstrecken in bestimmten Kombinationen zur Anwendung. Die Art und Zusammensetzung waren von den örtlichen Möglichkeiten und der

Bereitschaft der Unterhaltsdienste abhängig. In Tabelle 3-2 sind die insgesamt 16 Versuche sowie die zugehörigen Tageszeiten der Datenerfassung zusammengestellt. Die angestrebte Messdauer von zwei Stunden konnte bei einigen Versuchen aus verschiedenen Gründen (z.B. Verzögerungen bei Versuchsumstellung) nicht eingehalten werden. In der Tabelle wird unterschieden zwischen:

- der Anordnung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (V_{zul}) bei der jeweils letzten Anzeige vor der Fahrstreifenüberleitung,
- der Art, Ausprägung und allfälliger Kombination der eingesetzten Leitelemente in und vor der Überleitung und
- den Zusatzelementen (z.B. Geschwindigkeitsüberwachung mit Radar).

Auf der Untersuchungsstrecke SG2 wurde bei zwei verschiedenen Versuchsanordnungen (Baken / Leitschienen) sowohl am Tag als auch nachts gemessen. Alle Versuchsmessungen wurden in den Sommermonaten (Juni bis September) bei günstigen Witterungsverhältnissen durchgeführt.

Bau- stelle	Betriebs- form	Eingesetzte Versuchselemente			Zusatz- messung	Versuchs- bezeichnung	Tageszeit der Messungen
		Signalisation Vzul (km/h)	Leitelemente	Zusatzelemente			
SG1	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke			SG1 1a	09.00 - 10.00
	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar		SG1 1b	08.30 - 10.30
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke			SG1 2a	13.45 - 15.45
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar		SG1 2b	13.30 - 15.30
SG2	3 / 1	80	Baken hoch	In Überleitung: Blinkende Abweispfeile in Hochlage		SG2 1a	08.45 - 10.45
	3 / 1	80	Leitschiene mit Baken niedrig			SG2 1b	08.45 - 10.45
	3 / 1	80	Baken hoch		nachts	SG2 3a	21.45 - 23.45
	3 / 1	80	Leitschiene mit Baken niedrig		nachts	SG2 3b	21.50 - 23.50
	3 / 1	100	Baken hoch			SG2 2a	13.30 - 15.30
	3 / 1	100	Leitschiene mit Baken niedrig			SG2 2b	13.45 - 15.45
ZG1	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter			ZG1 1a	10.50 - 12.50
	4 / o	80	Leitschiene mit Baken niedrig			ZG1 1b	13.00 - 15.00
	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter	mit Portal		ZG1 2a	14.20 - 15.10
	4 / o	80	Leitschiene mit Baken niedrig	mit Portal		ZG1 2b	08.30 - 10.30
AG1	4 / 2 bzw. 4 / 1	80	Baken hoch / Schranke	In Überleitung: Blinkende Abweispfeile in Hochlage		AG1 1	11.00 - 12.40
		100	Baken hoch / Schranke			AG1 2	13.30 - 14.10

Tab. 3-2: Übersicht der Versuchskombinationen an den einzelnen Untersuchungsstrecken

3.3. Messanordnung und -durchführung

3.3.1. Messanordnung

Die Erhebung der Verkehrsdaten erfolgte im Zufahrtsbereich zur Baustelle. Wie in 2.6. dargelegt, wurden die Messeinrichtungen über diesen Bereich verteilt. Die Abbildung 3-5 zeigt die prinzipielle Messanordnung für die Erhebungen des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens. Die Fahrzeugdaten werden pro Fahrstreifen an vier Querschnitten vor und vier bis fünf Querschnitten im Bereich der Mittelstreifenüberfahrt erhoben.

Den ersten Messquerschnitt bildeten die Induktivschlaufen (je Fahrstreifen: Fahrzeugzählung, Fahrzeuggeschwindigkeiten und -längen sowie Durchfahrtszeiten), die in einem Abstand von 900 bis 1'000 m angeordnet wurden. In der Regel befanden sie sich zwischen dem ersten Baustellensignal (1 km) und dem ersten Geschwindigkeitssignal (750 m).

Die nächsten, i.d.R. vier Messquerschnitte in Abständen von ca. 200m bildeten die in der Fahrstreifenmitte angeordneten Induktivmessplatten. Mit diesen wurde der Verkehrsfluss weiterverfolgt. Die Zwischenabstände an den einzelnen Untersuchungsstrecken sind aus den Darstellungen in Kapitel 5 ersichtlich.

Im Übergangsbereich zur Baustelle (Verschwenkung, Überleitung) wurden die Messpfosten eingesetzt. Zwischen jeweils zwei Pfosten werden die theoretischen Geschwindigkeitsquerschnitte definiert. Das erste Messpfosten-Paar – ca. 100 bis 200m nach dem letzten Messplattenquerschnitt – markierte jeweils den Beginn des Einleitungsbogens der Mittelstreifenüberfahrt bzw. der Verschwenkung. Die Messpfosten wurden i.d.R. in Abständen von 20 m, also wesentlich dichter als im Abschnitt stromaufwärts, aufgestellt. Dies war auch im Hinblick auf die Erfassung der Spurverteilung der Fahrzeuge nötig. Die genaue Anordnung der Messpfosten bei den einzelnen Untersuchungsstrecken hängt von den örtlichen Geometrie ab. Sie ist im ANHANG 5 dargestellt.

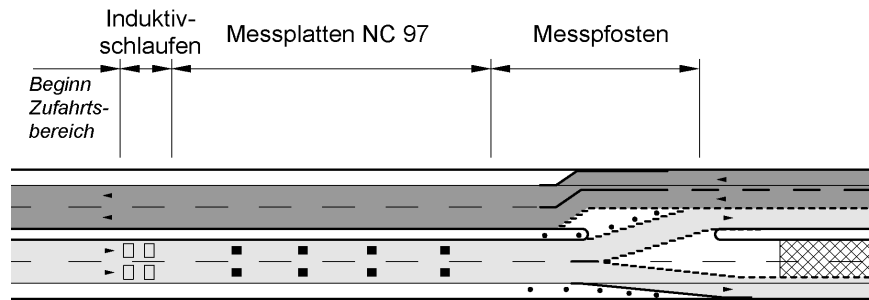


Abb. 3-5: Prinzipskizze der Messanordnung

In der obigen Abbildung nicht eingetragen ist die Videokamera zur Erfassung der Fahrstreifenwechsel. Ihre Position war von der Möglichkeit einer erhöhten Lage abhängig. Der Bildausschnitt umfasste den letzten Teil des Zufahrtsbereichs vor der Überleitung auf einer Länge von ca. 300 bis 400 m. Die Videoaufzeichnung wurde gleichzeitig mit dem Beginn der Messung gestartet. Nach Beendigung des Versuchs wurde das Band jeweils gewechselt.

3.3.2. Messdurchführung

Für die Erhebungsdurchführung mit vier verschiedenen Systemen war ein relativ hoher Vorbereitungs- und Koordinationsaufwand erforderlich. Soweit möglich, wurde die Versuchs- und Messeinrichtung (beides mit Fahrstreifensperrungen verbunden) gleichzeitig vorgenommen, um Behinderungen des Verkehrs zu minimieren. Für die Feldarbeiten der Forschungsstelle waren zwei Equipen mit 2-3 Personen notwendig.

In der Regel wurde an einer Untersuchungsstrecke wie folgt vorgegangen:

Zeitraum	Tätigkeiten	Bemerkungen
Tag(e) X-1	<ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung der Messeinrichtungen (Aufladen der Batterien) - Einprogrammieren der Messplatten - Vor Ort: Einrichten des Versuches 1 	Durch Unterhaltsdienst
Tag X (Messtag)	<ul style="list-style-type: none"> - Rücksprache mit Unterhaltsdienst (Wetterbedingungen) - Installation der Messplatten und Messpfosten und Inbetriebnahme der Induktivschlaufen (2 Equipen) - Start Messung für Versuch 1 (alle Messeinrichtungen automatisch, Videokamera von Hand) - Entnahme der Speicherkarten und Einlesen der Daten in PC, Entnahme der Videokassette und - Einrichten des Versuches 2 (bei grösserem Einrichtungsaufwand am Tag X+2) - Start Messung für Versuch 2 (Messpfosten automatisch, Videokamera von Hand, übrige Messeinrichtungen durchlaufend) - Entnahme Speicherkarten und Videokassette - Demontage der Messpfosten und der Messplatten, Abstellen des Auswertegerätes für Induktivschlaufen - Rückfahrt, Einlesen der Daten in PC (Messpfosten, Messplatten, Induktivschlaufen) - Starten des Ladevorgangs aller Batterien 	<p>1. Sperrung Fahrstreifen 1 bzw. 2</p> <p>Messdauer i.d.R. 2 Std.</p> <p>Durch Unterhaltsdienst</p> <p>Messdauer i.d.R. 2 Std.</p> <p>2. Sperrung Fahrstreifen 1 bzw. 2</p>
Tag X+1	<ul style="list-style-type: none"> - Vorbereitung der Messeinrichtungen (Aufladen der Batterien) - Einprogrammieren der Messplatten - Vor Ort: Einrichten des Versuches 2, falls grössere Umstellungen erforderlich 	Durch Unterhaltsdienst
Tag X+2 (Zweiter Messtag)	<ul style="list-style-type: none"> - Rücksprache mit Unterhaltsdienst (Wetterbedingungen) - Fortgang analog zu Tag X 	Zweiter Messtag (oder weitere) war(en) bei aufwendigeren Versuchseinrichtungen oder bei mehr als zwei Versuchen nötig

3.4. Art und Umfang der Datenauswertungen

In diesem Abschnitt wird auf die bei den Auswertungen vorgenommene Unterscheidung nach Fahrzeugkategorien, die Stichprobengrößen der während der Versuche angefallenen Daten sowie auf die Art der Auswertung eingegangen.

- *Fahrzeuggruppen*

Grundsätzlich wurden alle Messwerte nach den erfassten Fahrzeuglängen für drei Gruppen – Personenwagen⁹ (bis 6,5 m) / Lastwagen (> 6,5 m) / alle Fahrzeuge – ausgewertet. Zudem konnte nach dem Kriterium der Zeitlücke (vgl. 2.4.1.) die Gruppe ungehindert fahrender Fahrzeuge unterschieden werden.

In der Auswertung hat sich gezeigt, dass die Unterscheidung nach PW/LW im Zufahrtsbereich von Baustellen bei kleinen Längsneigungen und bei signalisierter Höchstgeschwindigkeit keinen massgeblichen Einfluss auf die Geschwindigkeiten hat. Dieser Einfluss wird durch die fahrstreifenweise Auswertung (Normalfahrstreifen mit LW / Überholfahrstreifen weitgehend ohne LW) unter Angabe des jeweiligen Schwerverkehrsanteils hinreichend berücksichtigt.

Angesichts der relativ kleinen Verkehrsstärken während der Versuchszeiten wurde bei den Geschwindigkeitsauswertungen auch auf die Unterscheidung nach ungehindert fahrenden Fahrzeugen verzichtet. Demgegenüber wurde bei Auswertungen des Spurverhaltens überprüft, ob infolge des Nachfahreffekts in den Fahrzeugpulk Unterschieden in der Spurverteilung zwischen ungehindert fahrenden und allen Fahrzeugen bestehen.

- *Stichprobengröße*

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden insgesamt 32'630 Fahrzeuge erfasst. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der Stichprobengröße an den einzelnen Untersuchungsstrecken. Die in Tabelle 3-3 angegebene Zahlen beziehen sich auf den ersten Messquerschnitt (beide Fahrstreifen).

Untersuchungsstrecke	Versuch	Anzahl alle Fz	Anzahl PW	Anzahl LW*)
SG 1	SG 1 1a	1'103	933	160
	SG 1 1b	2'320	1'982	317
	SG 1 2a	2'414	2'017	376
	SG 1 2b	2'235	1'890	329
SG 2	SG 2 1a	2'426	2'012	401
	SG 2 1b	2'601	2'147	436
	SG 2 3a	837	810	27
	SG 2 3b	778	759	19
	SG 2 2a	2'479	2'056	408
	SG 2 2b	2'322	1'865	429
ZG 1	ZG 1 1a	2'738	2'335	298
	ZG 1 1b	2'865	2'431	310
	ZG 1 2a	1'133	923	169
	ZG 1 2b	2'580	2'142	332
AG 1	AG 1 1	2'602	2'204	398
	AG 1 2	1'196	999	197

*) Bei SG1, SG2 und ZG1 LW nur auf Normalfahrstreifen angegeben

Tab. 3-3: Stichprobengröße der Messdaten

- *Auswertesoftware*

Zur Erfassung der Geschwindigkeitsprofile der Untersuchungsstrecken wurden verschiedene Messsysteme in Kombination eingesetzt. Jedes dieser Messsysteme (Induktivschlaufen Datamos, Messplatten NC97, Messpfosten, Zählstellen des ASTRA) weist spezifische Stärken und Schwächen bzgl. der Fahrzeugerkennung auf. Bestimmt durch die Art der Sensorik können Messfehler auftreten, beispielsweise nicht erfasste Fahrzeuge, Erfassung von Phantomfahrzeugen oder Erfassung von Fahrzeugen mit nicht plausiblen Geschwindigkeiten. Ein Grossteil dieser Messfehler kann mittels bestehenden Redundanzen in den Rohdaten und mit Hilfe von Plausibilitätstests korrigiert werden.

⁹ In dieser Kategorie sind auch Motorräder enthalten.

Da pro Messsystem und Versuchsanordnung mehrere Tausend Datensätze erzeugt werden, wurde zur Fehlerkorrektur das am IVT entwickelte Softwaretool RTFAST¹⁰ verwendet. Die verifizierten Rohdaten wurden anschliessend ebenfalls mit RTFAST intervalliert, statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt (Ganglinien, Fundamentaldiagramme).

- Induktivplatten

Mit der Programmiersoftware LP 5.11 wurden nach Abschluss der Messungen die Datensätze aus den Induktivplatten ausgelesen und anschliessend mit dem Bearbeitungsprogramm „VISPA“ entsprechend bearbeitet. Die Datensätze beinhalten pro Fahrzeug die Durchfahrtszeit, die Geschwindigkeit sowie die Fahrzeuglänge. Anhand dieser Rohdaten erfolgte die Auswertung der wesentlichen statistischen Grössen für die Teilmengen der entsprechenden Feldversuche.

- Messpfosten

Diese Messeinrichtung erlaubt die Auswertung der Geschwindigkeiten und der Spurverläufe.

Die Geschwindigkeitsmessung basiert auf der Durchfahrtszeit von Einzelfahrzeugen auf einer durch zwei Messeinheiten definierten Strecke (quasi lokale Messung). Im Programmsystem erfolgt die übliche Auswertung der wesentlichen statistischen Grössen für die entsprechenden Teilmengen.

Die nebenstehende Abbildung zeigt den Bildschirminhalt einer Geschwindigkeitsauswertung in einem Messquerschnitt.

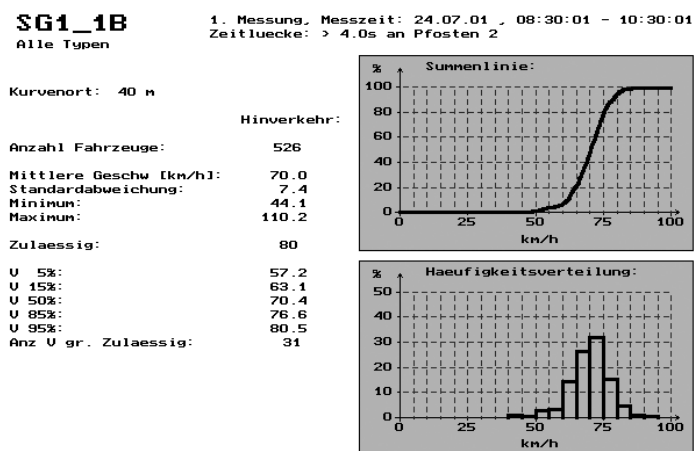


Abb. 3-6:
Beispiel einer Geschwindigkeitsauswertung an einem Messpfosten

Das Auswerteprogramm für die gemessenen Querabstände vorbeifahrender Fahrzeuge ermöglicht auch die Rekonstruktion der Spurverläufe einzelner Fahrzeuge über mehrere Messquerschnitte und ihre Darstellung auf dem Hintergrund der tatsächlichen Situation¹¹. Die Berechnung erfolgt nicht bzgl. der bei der Messung erfassten Fahrzeugränder (detektiert wird die Distanz Messpfosten – zugewandter Fahrzeugrand), sondern bzgl. idealisierter Fahrzeugachse. In der vorliegenden Programmversion wird dabei von einer mittleren Breite von 1.80 m (PW) bzw. 2.50 m (LW) ausgegangen.

In einem Messquerschnitt werden die üblichen statistischen Grössen der Spurverteilung ausgewertet und mit Merkmalen der Fahrstreifen (Ränder und Achse) ergänzt. Nebenstehende Abbildung zeigt ein Beispiel.

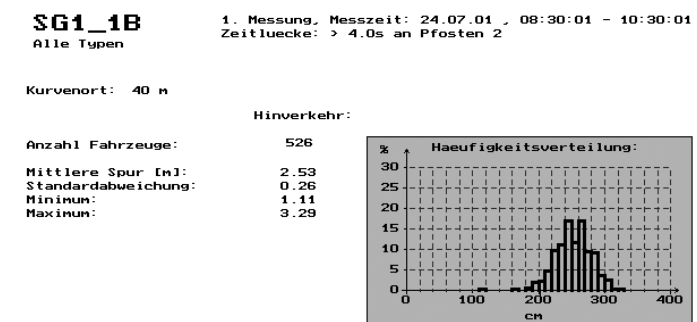


Abb. 3-7:
Auswertebispiel der Spurverteilung an einem Messpfosten

- Videoauswertungen

Die mittels Videokamera je Versuch aufgenommenen Fahrstreifenwechsel wurden manuell ausgewertet. Dabei wurde zwischen der Richtung des Wechsels unterschieden. Protokolliert wurde auch das Aufleuchten der Bremslichter der beteiligten Fahrzeuge.

¹⁰ T. Weber: RTFAST; Road Traffic Flow Analysis and Statistic Tool, interne Version (IVT, 2003)

¹¹ Eine ausführliche Beschreibung der Hard-, Firm- und Software ist in [29] enthalten.

4. Untersuchungen des Unfallgeschehens

In diesem Abschnitt werden die an den vier Untersuchungsstrecken durchgeführten Untersuchungen des Unfallgeschehens erläutert. Die Aufbereitung der angeforderten Daten erfolgte in Anlehnung an die vorgesehenen Vergleiche und unter Berücksichtigung der in 2.7. angegebenen Anforderungen an die Daten. Als minimale Bedingung galten die einwandfreie Zuordnung zu Unfallperiode (ohne/mit Baustellenbetrieb) und die Zuordnung der Unfallorte (innerhalb/ausserhalb des vorgegebenen Baustellenbereichs). Die Ergebnisse der Unfallauswertungen sind in 6.2. beschrieben.

Die Unfalluntersuchung erfolgt für alle Untersuchungsstrecken nach dem gleichen Vorgehen. Neben den eigentlichen Baustellenabschnitten (B) wurden auch der unbeeinflusste Vorbereich (A) und Nachbereich (C) der Baustelle in die Untersuchung miteinbezogen. Das Unfallgeschehen wurde für die Zeitperiode mit Baustelle (Z1) und ohne Baustelle (Z0) ausgewertet und einander gegenübergestellt. Dadurch werden nicht nur die Auswirkungen der Baustelle auf das Unfallgeschehen sondern auch die Unfallentwicklung in den angrenzenden Streckenabschnitten der Baustelle mitberücksichtigt. Im Zustand Z1 wurden die Unfälle auch den einzelnen Baustellenabschnitten zugeordnet. In Abbildung 4-1 ist dies schematisch veranschaulicht.

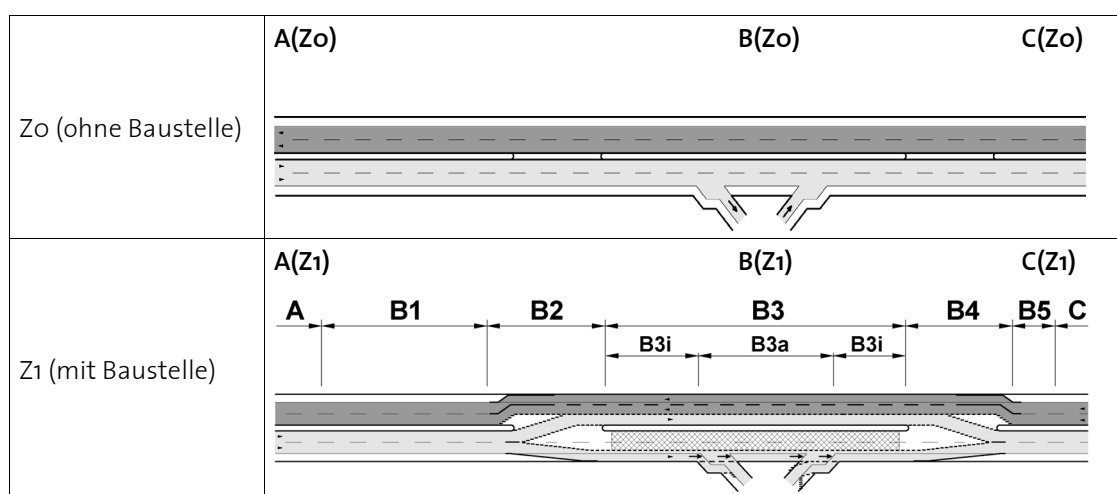


Abb. 4-1: Unfalluntersuchung Vergleichsstrecke bestehend aus Vorbereich (A) und Nachbereich (C) sowie dem Baustellenabschnitt (B)

Zusätzlich zu den Baustellen auf den 4 Untersuchungsstrecken wurden für die Unfallauswertungen noch weitere Autobahnbaustellen aus der Schweiz einbezogen. Sie waren in den Kantonen Aargau, St. Gallen und Zürich, im Zeitraum zwischen den Jahren 1994 und 2004 eingerichtet. Bei diesen Baustellenbereichen richteten sich die Auswertungen nach der Art und Qualität der uns zugestellten Daten. Die Ergebnisse dieser Unfallauswertungen sind in 6.2.1. enthalten.

4.1. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecken SG1 und SG2

Für die Unfallauswertung der Untersuchungsstrecke SG1 und SG2 standen die einzelnen Unfallprotokolle sowie die Daten der elektronischen Unfallauswertung der Jahre 1999, 2000, 2001 und 2003 über den ganzen Abschnitt (beide Richtungen) der Autobahn A1 im Kanton St. Gallen sowie dem angrenzenden Abschnitt im Kanton Thurgau zur Verfügung.

Mit Hilfe der Unfallprotokolle konnte eine gute Datenqualität ausgewiesen werden, die das Typisieren nach Unfallursache und -typ sowie die Unfallverteilung auf die einzelnen Baustellenabschnitte ermöglichte. Da sich während der einzelnen Bauphasen jedoch nur wenige Unfälle ereigneten, wurde auf die Auswertung nach einzelnen Unfalltypen verzichtet.

4.2. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke ZG1

Auf der Untersuchungsstrecke ZG1 wurde während der Bauetappe kein Unfall im Baustellenbereich registriert. Auf der Vergleichsstrecke, die noch den angrenzenden Vor- und Nachbereich der Baustelle beinhaltet, ereigneten sich während der Vorheruntersuchung keine und während dem Betrieb der Baustelle zwei Unfälle. Dabei wurden Daten der Jahre 2001 und 2002 einbezogen.

Die vorhandene Datenbasis für die Unfallauswertung Untersuchungsstrecke ZG1 ist gering und eine Typisierung nach Unfallursache und -typ war nicht möglich.

4.3. Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke AG1

Für die Unfallauswertung der Untersuchungsstrecke AG1 standen für die Fahrtrichtung Zürich die Protokolle der elektronischen Unfallauswertung der Jahre 2000, 2001, 2002 und teilweise 2003 vom Anschluss Lenzburg bis zum West-Portal des Baregg隧nels zur Verfügung.

Die Auswertung beinhaltet die genaue Örtlichkeit, Angaben über verletzte Personen sowie über den Unfalltyp. Die Unfallursachen waren nicht vermerkt.

Diese Datenqualität und die hohe Anzahl der Unfälle ermöglichen das Typisieren der Unfälle sowie das Auswerten der Unfälle in den einzelnen Baustellenabschnitten.

5. Messergebnisse

In diesem Kapitel werden die ausgewerteten Messungen an den einzelnen Untersuchungsstrecken beschrieben. Die Ergebnisse sind in die drei Erhebungsbereiche gegliedert:

- Geschwindigkeitsverhalten,
- Spurverhalten in der Überleitung,
- Fahrstreifenwechsel.

Bei der ersten Gruppe stehen *Geschwindigkeitsverläufe und deren Streuung* im Vordergrund. Dabei stellen sich primär die folgenden beiden Fragen:

- Hat sich bei einer bestimmten Testanordnung eine verbesserte Homogenität der Geschwindigkeiten ergeben?
- Ergeben sich bei einer bestimmten Testanordnung längs der Strecke Geschwindigkeitsverläufe mit einer verbesserten (rechtzeitigeren) Anpassung an die Baustellensituation?

Die erste Frage wird anhand der Geschwindigkeitsverteilungen an den einzelnen Messquerschnitten untersucht. Die zweite Frage wird aufgrund von Geschwindigkeitsdifferenzen und Beschleunigungen zwischen bestimmten Messquerschnitten geprüft.

In den einzelnen Bildern und Tabellen werden jeweils zwei Versuche einander gegenübergestellt, um die Veränderungen zu veranschaulichen. Die Längenabwicklung auf der Abszisse ist massstäblich, der jeweilige Nullpunkt bezieht sich auf den Beginn des Einleitungsbogens der Überleitung. Ausführliche Angaben und Darstellungen befinden sich im ANHANG 4.

Beim *Spurverhalten* stehen die Spurtreue (Standardabweichung um die mittlere Lage der Fahrzeugachsen) und die Abstände zu den Fahrstreifenabgrenzungen im Vordergrund. Aus den Positionen der mittleren Lagen kann auch beurteilt werden, wie weit die Spurverläufe vom idealen Verlauf entlang der Fahrstreifenachse abweichen (z.B.: das „Kurvenschneiden“). Die Darstellung der Messergebnisse erfolgt in idealisierter Form (Bogen auf eine Gerade „gestreckt“). Ausführliche Angaben und Darstellungen befinden sich im ANHANG 5.

Wie in 3.4. erwähnt, wurde beim Spurverhalten in einem ersten Schritt überprüft, ob infolge des Nachfahreffekts in den Fahrzeugpuls Unterschieden in der Spurverteilung zwischen ungehindert fahrenden Fahrzeugen (mit Zeitlücken Δt zum vorausfahrenden Fahrzeug > 4 s) und allen Fahrzeugen (alle Δt) bestehen. Diese Untersuchung ist im ANHANG 7 beschrieben. Die Gegenüberstellung der Standardabweichungen ergab eine Regressionsgerade mit hohem Bestimmtheitsmass. Neben der guten Anpassung an die Werte resultiert auch keine systematisch einseitige Abweichung und die Funktionskurve weicht nur geringfügig von der Erwartungsdiagonalen ab. Aufgrund dieses Ergebnisses wird die Beurteilung des Spurverhaltens auf die Gruppe „alle Fahrzeuge“ abgestellt, da diese Gruppe eine wesentlich grössere Stichprobengrösse aufweist.

Bei den *Fahrstreifenwechseln* im Bereich der Baustellenzufahrt wurde deren Häufigkeit je Versuch ausgewertet. Zusätzlich wurde unterschieden, ob im Zusammenhang mit einem Wechselvorgang bei einem oder mehreren der involvierten Fahrzeuge Bremsvorgänge aufgetreten sind (Aufleuchten der Bremslichter). Ihre Häufung kann als Indiz potenzieller Gefährdung gedeutet werden. Diese Auswertungen waren nur bei jenen Versuchen möglich, bei denen die Videoaufzeichnung die Fahrzeughecks erfasste. Dies war mangels geeigneter Videostandorte nur bei den Untersuchungsstrecken SG1 und SG2 möglich. Bei den beiden übrigen Untersuchungsstrecken (Videoaufnahmen von vorne) konnte nur die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel ermittelt werden. Die Auswertungen befinden sich im ANHANG 6.

Bei den nachfolgend dargestellten Messergebnissen stehen die Veränderungen im Verkehrsablauf zwischen verschiedenen Testanordnungen an den einzelnen Untersuchungsstrecken im Vordergrund. Diesem Umstand wird bei der Darstellung der Ergebnisse durch verschiedene Gegenüberstellungen Rechnung getragen. Bei den verschiedenen Testanordnungen wird auch auf den Referenzzustand hingewiesen. Dabei handelt es sich um eine Testanordnung, die dem ursprünglichen, von der zuständigen Behörde vorgesehenen Baustellenplan entspricht.

5.1. Ergebnisse der Untersuchungsstrecke SG1

An dieser Untersuchungsstrecke mit der Betriebsform 4+0 wurden insgesamt vier Versuche durchgeführt (vgl. Tab. 5-1). Während an den Leiteinrichtungen keine Änderung vorgenommen werden konnte, wurde die Geschwindigkeitssignalisation variiert und die Auswirkungen der Geschwindigkeitsüberwachung untersucht. Dabei bildete der Versuch SG1 1a den Referenzzustand.

Bau- stelle	Betriebs- form	Eingesetzte Versuchselemente			Zusatz- messung	Versuchs- bezeichnung	Tageszeit der Messungen
		Signalisation Vzul (km/h)	Leitelemente	Zusatzelemente			
SG1	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke			SG1 1a	09.00 - 10.00
	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar		SG1 1b	08.30 - 10.30
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke			SG1 2a	13.45 - 15.45
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar		SG1 2b	13.30 - 15.30

Tab. 5-1: Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke SG1

Die entsprechende Messanordnung und die Lage der eingesetzten Versuchselemente ist aus Abbildung 5-1 ersichtlich.

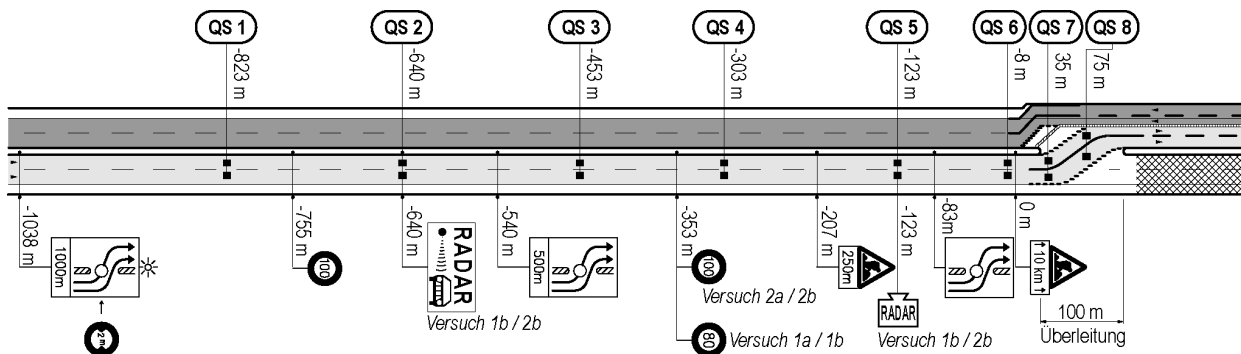


Abb. 5-1: Messanordnung an der Untersuchungsstrecke SG1

5.1.1. Geschwindigkeitsverhalten

Die Messergebnisse basieren auf den Angaben in ANHANG 4. In bestimmten Tabellen ist auch die Anzahl ausgewerteter Fahrzeuge angegeben (Spalten „Alle Fz“). Diese Angabe bezieht sich auf die jeweilige Versuchsdauer. Dabei ist zu beachten, dass die Dauer beim Versuch SG1 1a lediglich eine Stunde betrug, während die anderen drei Versuche jeweils zwei Stunden dauerten (vgl. Tab. 5-1). Die stündlichen Verkehrsstärken waren bei allen Versuchen etwa gleich gross.

5.1.1.1. Geschwindigkeitsverteilung

Die Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Untersuchungsstrecke werden an den einzelnen Querschnitten (QS) aufgrund der Standardabweichungen S , welche die Streuung (Varianz) der Messwerte charakterisieren, untersucht. Dabei werden einerseits die Auswirkungen der signalisierten Höchstgeschwindigkeit (Tempolimite 80/100 km/h) und der Geschwindigkeitsüberwachung (OHNE/MIT Radar) geprüft.

- Einfluss der Tempolimite

Die folgenden Tabellen zeigen eine Gegenüberstellung der Ergebnisse bei Tempolimite 100 und 80 km/h. In Tabelle 5-2 sind die Standardabweichungen (S) für die Versuche ohne Überwachung (ohne Radar), in Tabelle 5-3 jene mit Überwachung zusammengestellt. Im rechten Teil der Tabellen sind jeweils die Mittelwerte von S für bestimmte Streckenabschnitte angegeben. Die Spalte „1/2“ enthält die Mittelwerte für den Beginn der Zufahrt, die Spalte „4/5“ jene für das Ende der Zufahrt und die Spalte „6/7/8“ jene für den Bereich der Überleitung. Der obere Teil der Tabellen zeigt die Ergebnisse für den Normalfahrstreifen (NS), der untere Teil jene für den Überholfahrstreifen (ÜS).

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte		
ohne Radar (SG1 1a und 2a)														
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2	4/5	6/7/8
100	NS	16.4	14.7	12.9	13.8	13.2	10.7	10.4	10.3	26.8	1404	15.5	13.5	10.5
80	NS	17.5	15.6	13.6	12.6	12.3	8.4	8.5	9.2	23.6	678	16.5	12.5	8.7
	ΔS	-1.1	-0.9	-0.7	1.2	0.9	2.3	1.9	1.1			-1.0	1.1	1.8
100	ÜS	11.6	10.9	10.2	9.6	9.2	8.8	9.0	8.7	2.1	1010	11.3	9.4	8.8
80	ÜS	12.9	11.6	10.2	10.8	9.4	7.5	7.8	8.7	2.4	425	12.2	10.1	8.0
	ΔS	-1.3	-0.7	0.0	-1.2	-0.2	1.3	1.2	0.0			-1.0	-0.7	0.8

Tab. 5-2: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimite 100 und 80 km/h ohne Radarüberwachung

Kommentar:

- Unabhängig vom Fahrstreifen (NS/ÜS) und Versuch (100/80) nehmen die Standardabweichungen S in Richtung Baustellenbeginn deutlich ab.
- Sie sind auf dem NS wesentlich grösser als auf dem ÜS, vor allem im Zufahrtbereich (Messquerschnitte QS 1 bis 5). Diese Tatsache ist jedoch darauf zurückzuführen, dass sich die gesamte Zufahrt in einer Steigung von 5% befindet und die schweren (und entsprechend langsamen) Lastwagen den NS benützen (vgl. auch 5.1.1.2.)
- Beim Vergleich der zwei Versuche fallen die *geringen Unterschiede* der Standardabweichungen auf (vgl. Zeilen ΔS). Trotz der deutlich tieferer Tempolimite lässt sich die Annahme, dass bei Tempo 80 km/h homogenere Geschwindigkeitsverteilungen resultieren würden, nicht bestätigen: Die S-Werte im Bereich der Zufahrt sind beim Versuch mit Tempo 80 (Referenzzustand) eher grösser als beim Versuch mit Tempo 100 km/h. Erst in der Überleitung wird die Geschwindigkeitsstreuung bei Tempolimite 80 km/h kleiner als bei Tempolimite 100 km/h.

In Tabelle 5-3 wird der gleiche Vergleich wie in Tabelle 5-2 angestellt, allerdings unter der zusätzlichen Einwirkung der Tempoüberwachung.

Standardabweichung S [km/h] mit Radar (SG1 1b und 2b)										Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2	4/5	6/7/8
100	NS	16.4	12.8	11.0	11.8	10.8	9.6	9.2	10.6	23.9	1378	14.6	11.3	9.8
80	NS	15.9	12.2	10.4	10.6	9.6	8.2	7.5	7.4	21.9	1448	14.1	10.1	7.7
	ΔS	0.5	0.6	0.6	1.2	1.2	1.4	1.7	3.2			0.5	1.2	2.1
100	ÜS	11.7	10.6	9.5	9.2	9.6	7.3	7.6	7.4	1.9	857	11.2	9.4	7.4
80	ÜS	11.7	11.1	10.4	9.1	8.1	6.2	6.4	6.4	2.4	872	11.4	8.6	6.3
	ΔS	0.0	-0.5	-0.9	0.1	1.5	1.1	1.2	1.0			-0.2	0.8	1.1

Tab. 5-3: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimite 100 und 80 km/h mit Radarüberwachung

Kommentar:

- Wie bei der ersten Gegenüberstellung nehmen die Standardabweichungen S in Richtung Baustellenbeginn deutlich ab, unabhängig vom Fahrstreifen (NS/ÜS) und Versuch (100/80). Sie sind wiederum auf dem NS wesentlich grösser als auf dem ÜS (Einfluss der Steigung).
 - Auch beim Vergleich dieser zwei Versuche (100/80) resultieren nur geringe Unterschiede der Standardabweichungen (vgl. Zeilen ΔS). Allerdings sind sie bei Tempo 80 auf dem NS durchgehend (sowohl in der Zufahrt als auch in der Überleitung) kleiner als bei Tempo 100. Auf dem ÜS trifft diese Aussage erst ab Mitte der Zufahrt zu.
 - Auch bei dieser Gegenüberstellung muss festgestellt werden, dass nur gering kleinere S-Werte bei Tempo 80 gegenüber Tempo 100 resultieren (im Mittel ΔS von max. ca. 2 km/h auf dem NS bzw. max. ca. 1 km/h auf dem ÜS). Die deutlich kleinere Tempolimite wirkt sich somit auf die Geschwindigkeitsstreuung nicht adäquat aus.
- *Einfluss der Radarüberwachung*

Der Einfluss der Radarüberwachung wird getrennt für die zwei signalisierten Tempolimiten (80/100) untersucht. Die Tabelle 5-4 zeigt dazu die Ergebnisse bei Tempolimite 80 km/h, die Tabelle 5-5 jene bei Tempolimite 100 km/h. Die Veränderungen der Standardabweichungen sind in den Abbildungen 5-2 bzw. 5-3 veranschaulicht. Von Bedeutung ist dabei, dass sich die (sichtbar aufgestellte) Radarkabine beim Messquerschnitt QS5 befand und ihre Ankündigung auf der Höhe von QS2 erfolgte.

Standardabweichung S [km/h] Tempo 80 (SG1 1a und 1b)										Alle FZ		Mittelwerte		
Radar	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2	4/5	6/7/8
ohne	NS	17.5	15.6	13.6	12.6	12.3	8.4	8.5	9.2	23.6	678	16.5	12.5	8.7
mit	NS	15.9	12.2	10.4	10.6	9.6	8.2	7.5	7.4	21.9	1448	14.1	10.1	7.7
	ΔS	1.6	3.4	3.2	2.0	2.7	0.2	1.0	1.8			2.5	2.4	1.0
ohne	ÜS	12.9	11.6	10.2	10.8	9.4	7.5	7.8	8.7	2.4	425	12.2	10.1	8.0
mit	ÜS	11.7	11.1	10.4	9.1	8.1	6.2	6.4	6.4	2.4	872	11.4	8.6	6.3
	ΔS	1.2	0.5	-0.2	1.7	1.3	1.3	1.4	2.3			0.9	1.5	1.7

Tab. 5-4: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 80 km/h

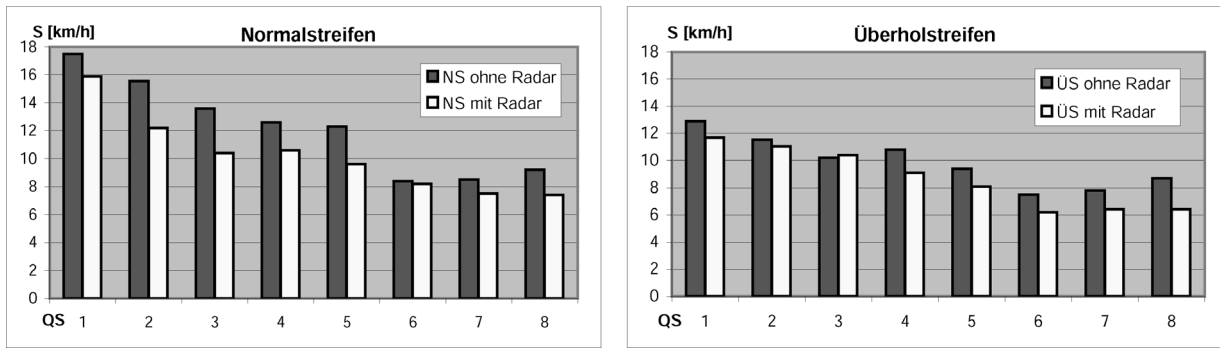


Abb. 5-2: Veränderung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 80 km/h auf dem Normalstreifen (links) und auf dem Überholstreifen (rechts)

Kommentar:

- Der Einfluss der Überwachung auf die Geschwindigkeitsstreuung ist bei Tempolimite 80 km/h ersichtlich und auf dem *Normalfahrstreifen* NS deutlich ausgeprägt: die S-Werte werden um bis zu 3,4 km/h reduziert (vgl. Zeile ΔS für NS in Tabelle 5-4). Anders als bei den ersten zwei Vergleichen liegt diese Reduktion im Bereich der Zufahrt, während sie in der Überleitung kleiner ausfällt.
- Auffallend auf dem NS ist die deutliche Reduktion von S beim QS2 (Radarankündigung) um fast 4 km/h gegenüber QS1 und beim QS3 um nochmals ca. 2 km/h gegenüber QS2. Zwischen QS4 und QS5 (Radarkabine) verringerte sich S nur noch um 1 km/h.
- Auf dem ÜS, wo die Standardabweichungen kleiner als auf dem NS sind, sind die Reduktionen infolge Überwachung auch vorhanden, allerdings weniger ausgeprägt.

Analog sind die Ergebnisse bei signalisierter Tempolimite 100 km/h in Tabelle 5-5 und in Abbildung 5-3 zusammengestellt.

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte			
Tempo 100 (SG1 2a und 2b)											%LW	#FZ	1/2	4/5	6/7/8
Radar	QS	1	2	3	4	5	6	7	8						
ohne	NS	16.4	14.7	12.9	13.8	13.2	10.7	10.4	10.3	26.8	1404	15.5	13.5	10.5	
	mit	NS	16.4	12.8	11.0	11.8	10.8	9.6	9.2	23.9	1378	14.6	11.3	9.8	
	ΔS		0.0	1.9	1.9	2.0	2.4	1.1	1.2	-0.3		0.9	2.2	0.7	
ohne	ÜS	11.6	10.9	10.2	9.6	9.2	8.8	9.0	8.7	2.1	1010	11.3	9.4	8.8	
	mit	ÜS	11.7	10.6	9.5	9.2	9.6	7.3	7.6	1.9	857	11.2	9.4	7.4	
	ΔS		-0.1	0.3	0.7	0.4	-0.4	1.5	1.4	1.3		0.1	0.0	1.4	

Tab. 5-5: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 100 km/h

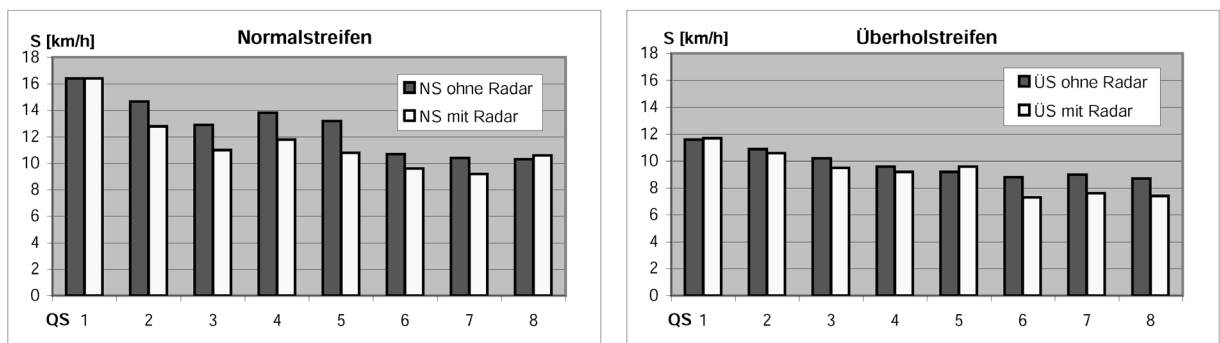


Abb. 5-3: Veränderung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 100 km/h auf dem Normalstreifen (links) und auf dem Überholstreifen (rechts)

Kommentar:

- Bei der höheren Tempolimite von 100 km/h ist der Einfluss der Überwachung auf die Geschwindigkeitsstreuung auf dem Normalfahrstreifen NS ebenfalls vorhanden. Die Reduktion der S-Werte ist jedoch kleiner als bei Tempolimite 80 km/h (vgl. Zeile ΔS für NS). Auch hier liegen diese Reduktionen vorwiegend im Bereich der Zufahrt.
- Wie beim Versuch mit Tempo 80 fällt auf dem NS die starke Abnahme von S beim QS2 (Radarankündigung) gegenüber QS1 und beim QS3 gegenüber QS2 auf.
- Demgegenüber können in der Zufahrt auf dem ÜS keine nennenswerten Veränderungen der Standardabweichungen festgestellt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Veränderung der Tempolimite (80/100) keine oder nur geringfügige Auswirkungen auf die örtliche Geschwindigkeitsverteilung ausübt. Mittels Radarüberwachung lassen sich die Geschwindigkeitsstreuungen jedoch reduzieren, vor allem bei der tieferen Tempolimite, auf dem Normalstreifen und im Zufahrtsbereich zur Baustelle. Bei diesen Aussagen ist jedoch einschränkend die besondere Situation im Bereich der Untersuchungsstrecke zu beachten (Steigungsstrecke).

5.1.1.2. Geschwindigkeitsverlauf

Die Veränderungen im Geschwindigkeitsverlauf im Bereich der Untersuchungsstrecke werden aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen ausgewählten Messquerschnitten und den daraus resultierenden mittleren Beschleunigungen untersucht. Analog zu 5.1.1.1. werden dabei die Auswirkungen der signalisierten Höchstgeschwindigkeit (Tempolimite 80/100 km/h) und der Geschwindigkeitsüberwachung (OHNE/MIT Radar) geprüft.

Bei den Geschwindigkeitsverläufen muss die Besonderheit der relativ grossen Steigung von 5% auf der Untersuchungsstrecke SG1 berücksichtigt werden. Wie aus Abbildung 5-4 ersichtlich, manifestiert sich dies in grossen Geschwindigkeitsunterschieden zwischen den Lastwagen und den übrigen Fahrzeugen. Eine Annäherung der Geschwindigkeitslinien erfolgt erst nach dem Geschwindigkeitssignal 80 km/h (-350 m vor der Überleitung) bzw. im Bereich der Kuppenausrundung. Dies erklärt auch die in 5.1.1.1. erwähnten, deutlich grösseren Standardabweichungen auf dem NS gegenüber jenen auf dem ÜS.

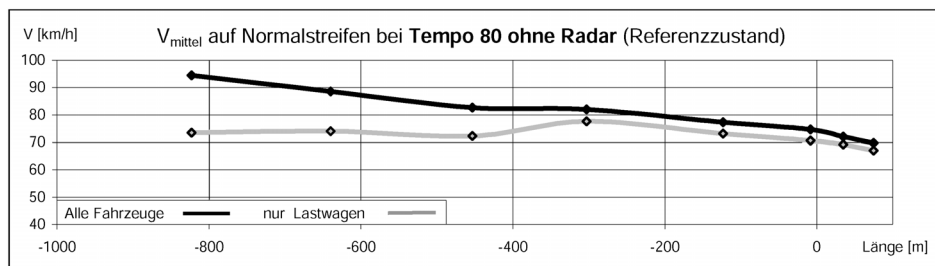


Abb. 5-4: Verlauf der mittleren Geschwindigkeit auf dem Normalstreifen für die Gruppen „alle Fahrzeuge“ und „nur Lastwagen“ auf der Steigungsstrecke SG1

Im Folgenden werden die Einflüsse der Tempolimite und der Radarüberwachung auf Basis der mittleren Geschwindigkeiten (V_m) untersucht. In einem dritten Abschnitt wird auf die Beeinflussung der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) eingegangen.

- *Einfluss der Tempolimite*

Abbildung 5-5 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe aller Fahrzeuge bei signalisierten Tempolimiten von 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten) im Zustand *ohne Radarüberwachung*. Dargestellt sind jeweils die V_m und die $V_{85\%}$ für den NS und den ÜS. Die Punkte markieren die Lage der Messquerschnitte (QS).

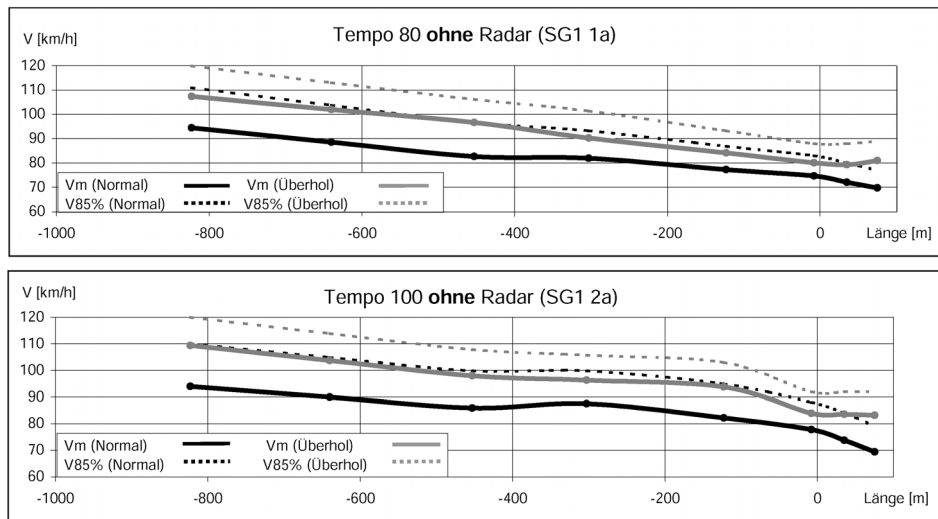


Abb. 5-5: Geschwindigkeitsverläufe auf der Untersuchungsstrecke SG1 bei Tempolimite 80 (oben) bzw. 100 km/h (unten) ohne Radarüberwachung

Die Verläufe zeichnen sich durch eine gemächliche Verlangsamung auf den ersten ca. 400 m aus. Bei Tempolimite 80 km/h setzt sich dieser Verlauf bis in die Überleitung fort, während bei Tempolimite 100 km/h die Verlangsamung innehält und erst kurz vor der Überleitung (auf ÜS) bzw. in der Überleitung (auf NS) wieder einsetzt. Die mittleren Geschwindigkeiten V_m auf dem ÜS liegen in der Zufahrt ca. 15 km/h höher als auf dem NS, vor und in der Überleitung reduziert sich dieser Unterschied auf bis ca. 5 km/h. Die $V_{85\%}$ liegt zu Beginn der Zufahrt ca. 15-20 km/h (NS) bzw. ca. 10 km/h (ÜS) über der V_m , in der zweiten Hälfte der Zufahrt und in der Überleitung sind die Unterschiede kleiner. Auf die Verläufe der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten wird im übernächsten Abschnitt näher eingegangen.

Die Auswirkungen der Tempolimite im Zustand *ohne Radarüberwachung* werden anhand Tabelle 5-6 beurteilt. Sie entspricht im Aufbau den Tabellen 5-2 bis 5-4, im rechten Teil sind in den Spalten die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen ausgewählten Querschnitten ($\Delta V_{N/N}$) und die entsprechenden mittleren Werte (a_m) der Beschleunigungen (-) bzw. Verzögerungen (+) für die Bereiche „Zufahrt“ und „Überleitung“ angegeben.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]										Zufahrt		Überleitung	
ohne Radar (SG1 1a und 2a)													
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/5}$	a_m	$\Delta V_{6/8}$	a_m
100	NS	94.0	90.0	85.9	87.5	82.2	77.8	73.8	69.4	11.8	0.11	8.4	0.57
80	NS	94.5	88.6	82.7	82.0	77.3	74.7	72.1	69.8	17.2	0.16	4.9	0.33
	ΔV	-0.5	1.4	3.2	5.5	4.9	3.1	1.7	-0.4				
100	ÜS	109.4	103.7	98.0	96.3	93.8	83.9	83.6	83.2	15.6	0.17	0.7	0.05
80	ÜS	107.4	102.1	96.7	90.3	84.2	80.1	79.3	81.0	23.2	0.24	-0.9	-0.07
	ΔV	2.0	1.7	1.3	6.0	9.6	3.8	4.3	2.2				

Tab. 5-6: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 und 80 km/h im Zustand ohne Radarüberwachung

Kommentar:

- Die V_m auf dem NS sind zu Beginn der Zufahrt (QS1) und in der Mitte der Überleitung (QS8) – trotz unterschiedlicher Tempolimite – praktisch gleich gross. Diese Ähnlichkeit besteht auch auf dem ÜS, wo die V_m -Werte bei Tempolimite 100 ca. 2 km/h höher liegen als bei Tempolimite 80 km/h. Bedeutende Unterschiede ergeben sich auf beiden Fahrstreifen in den QS4 bis QS6, wo die V_m -Werte bei Tempolimite 80 um ca. 3.0 bis 9.5 km/h tiefer sind als bei Tempolimite 100 km/h.
- Deutliche Unterschiede bestehen auch im Verzögerungsverhalten:
Auf dem NS wird in der Zufahrt bei Tempolimite 100 gemächlicher verzögert als bei Tempolimite 80 (ΔV von 11.8 km/h gegenüber 17.2 km/h), dafür entsteht am Ende der Zufahrt und in der Überleitung ein zweiter, ausgeprägter Verzögerungsbereich. In der Überleitung resultiert bei Tempolimite 100 eine fast doppelt so hohe mittlere Verzögerung als bei Tempolimite 80 (a_m von 0.57 m/s² gegenüber 0.33 m/s²).

Auch *auf dem ÜS* wird in der Zufahrt bei Tempolimite 100 gemächlicher verzögert als bei Tempolimite 80 (ΔV von 15.6 km/h gegenüber 23.2 km/h). Anders als auf dem NS entsteht bei

Tempolimite 100 ein zweiter Verzögerungsbereich nicht in der Überleitung, sondern unmittelbar davor (ΔV zwischen QS5 und QS6 von ca. 10 km/h).

Analog zur Abbildung 5-5 zeigt die Abbildung 5-6 die Geschwindigkeitsverläufe aller Fahrzeuge bei signalisierten Tempolimiten von 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten) im Zustand *mit Radarüberwachung*.

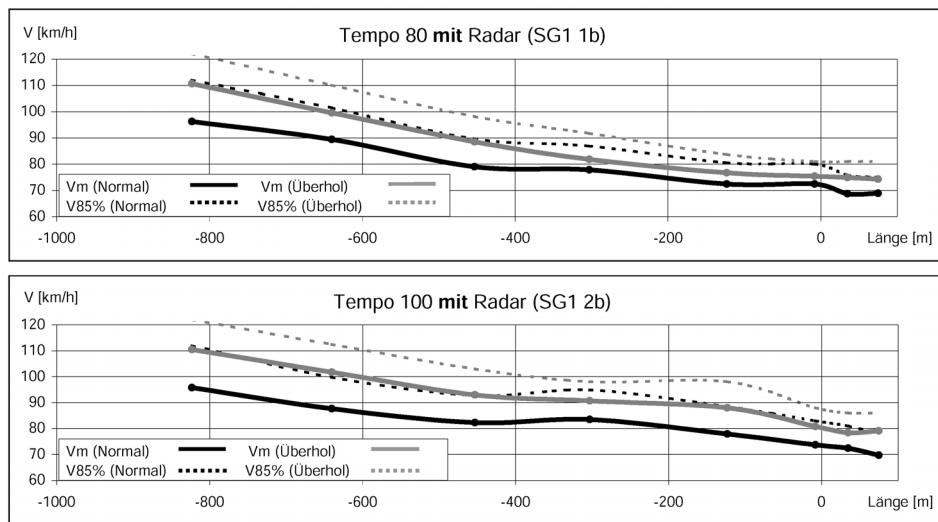


Abb. 5-6: Geschwindigkeitsverläufe auf der Untersuchungsstrecke SG1 bei Tempolimite 80 (oben) und 100 km/h (unten) mit Radarüberwachung

Im Zustand mit Radarüberwachung zeichnen sich die Verläufe durch eine ausgeprägtere Geschwindigkeitsabnahme in der ersten Hälfte der Zufahrt aus als im Zustand ohne Radarüberwachung (vgl. Abb. 5-5). Im weiteren Verlauf der Strecke verschwindet diese Tendenz, bei Tempolimite 100 km/h ergibt sich ein zweiter Verzögerungsbereich gegen Ende der Zufahrt und in der Überleitung. Dies bedeutet, dass die V_m auf beiden Fahrstreifen wesentlich früher unter den Wert der signalisierten Tempolimite absinkt als im Zustand ohne Radarüberwachung. Die Abbildung verdeutlicht auch, dass die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem ÜS und dem NS bei Tempo 80 deutlich kleiner sind als bei Tempo 100.

Analog zu Tabelle 5-6 sind in Tabelle 5-7 die Werte für den Zustand *mit Radarüberwachung* zusammengestellt. Daraus lassen sich Vergleiche zwischen den zwei Tempolimiten anstellen.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²] mit Radar (SG1 1b und 2b)										Zufahrt		Überleitung	
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/5}$	a_m	$\Delta V_{6/8}$	a_m
100	NS	95.8	87.7	82.3	83.5	77.9	73.7	72.4	69.7	17.9	0.17	4.0	0.27
80	NS	96.2	89.4	79.0	77.8	72.4	72.4	68.7	68.9	23.8	0.22	3.5	0.23
	ΔV	-0.4	-1.7	3.3	5.7	5.5	1.3	3.7	0.8				
100	ÜS	110.5	101.8	93.0	90.7	88.0	80.8	78.4	79.1	22.5	0.25	1.7	0.13
80	ÜS	110.6	99.6	88.5	81.8	76.7	75.4	74.9	74.3	33.9	0.35	1.1	0.08
	ΔV	-0.1	2.2	4.5	8.9	11.3	5.4	3.5	4.8				

Tab. 5-7: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 und 80 km/h im Zustand mit Radarüberwachung

Kommentar:

- Wie im Zustand ohne Radarüberwachung sind auch im Zustand mit Radarüberwachung die V_m auf dem NS zu Beginn der Zufahrt (QS1) und in der Mitte der Überleitung (QS8) – trotz unterschiedlicher Tempolimite – praktisch gleich gross. Diese Ähnlichkeit besteht auf dem ÜS nur zu Beginn der Zufahrt.
- Unabhängig von der Tempolimite liegen die V_m -Werte auf dem NS bereits ca. 500 m vor der Überleitung (QS3) im Bereich von 80 km/h. Der Vorteil der Tempolimite 80 besteht darin, dass auch auf dem ÜS die V_m -Werte auf den letzten 300m unter das Niveau von 80 km/h absinken, während dies bei Tempo 100 erst in der Überleitung der Fall ist.
- Dementsprechend ergeben sich Unterschiede im Verzögerungsverhalten:
In der Zufahrt (QS1 bis QS5) wird auf beiden Fahrstreifen bei Tempolimite 80 die Geschwindigkeit stärker angepasst als bei Tempolimite 100 (ΔV von 23.8 km/h gegenüber 17.9 km/h auf NS, ΔV von 33.9 km/h gegenüber 22.5 km/h auf ÜS). Daraus resultierend entsprechend grössere Verzögerungen.

In der Überleitung ist die Situation umgekehrt; dort resultieren etwas grössere Verzögerungen bei Tempolimite 100.

- *Einfluss der Radarüberwachung*

Der Einfluss der Radarüberwachung ist aus den Tabellen 5-8 (bei Tempolimite 80) und 5-9 (bei Tempolimite 100) ersichtlich.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²] Tempo 80 (SG1 1a und 1b)										Zufahrt		Überleitung	
Radar	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/5}$	a_m	$\Delta V_{6/8}$	a_m
ohne	NS	94.5	88.6	82.7	82.0	77.3	74.7	72.1	69.8	17.2	0.16	4.9	0.33
mit	NS	96.2	89.4	79.0	77.8	72.4	72.4	68.7	68.9	23.8	0.22	3.5	0.23
	ΔV	-1.7	-0.8	3.7	4.2	4.9	2.3	3.4	0.9				
ohne	ÜS	107.4	102.1	96.7	90.3	84.2	80.1	79.3	81.0	23.2	0.24	-0.9	-0.07
mit	ÜS	110.6	99.6	88.5	81.8	76.7	75.4	74.9	74.3	33.9	0.35	1.1	0.08
	ΔV	-3.2	2.5	8.2	8.5	7.5	4.7	4.4	6.7				

Tab. 5-8: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimite 80 km/h

Kommentar:

- Bei Tempolimite 80 bewirkt die Radarüberwachung eine deutlichere Geschwindigkeitsanpassung in der Zufahrt. Am Ende der Zufahrt (QS5 und Standort Radarkabine) liegt die V_m um 4.9 (NS) bzw. 7.5 (ÜS) km/h tiefer als ohne Radarüberwachung. Daraus resultieren besser angepasste Geschwindigkeiten in der Überleitung und im nachfolgenden Baustellenbereich. Deutlich kommt dies auf dem ÜS zum Ausdruck, wo im Überleitungsbereich um 4.4 bis 6.7 km/h kleinere Geschwindigkeiten resultieren.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²] Tempo 100 (SG1 2a und 2b)										Zufahrt		Überleitung	
Radar	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/5}$	a_m	$\Delta V_{6/8}$	a_m
ohne	NS	94.0	90.0	85.9	87.5	82.2	77.8	73.8	69.4	11.8	0.11	8.4	0.57
mit	NS	95.8	87.7	82.3	83.5	77.9	73.7	72.4	69.7	17.9	0.17	4.0	0.27
	ΔV	-1.8	2.3	3.6	4.0	4.3	4.1	1.4	-0.3				
ohne	ÜS	109.4	103.7	98.0	96.3	93.8	83.9	83.6	83.2	15.6	0.17	0.7	0.05
mit	ÜS	110.5	101.8	93.0	90.7	88.0	80.8	78.4	79.1	22.5	0.25	1.7	0.13
	ΔV	-1.1	2.0	5.0	5.6	5.8	3.1	5.2	4.1				

Tab. 5-9: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimite 100 km/h

Kommentar:

- Die Aussagen zur Tempolimite 80 treffen grundsätzlich auch für den Zustand mit Tempolimite 100 zu. Entsprechend der höheren Tempolimite sind jedoch die angesprochenen Geschwindigkeitsabnahmen weniger ausgeprägt.
- *Einfluss auf schnell fahrende Fahrzeuge*

Ein wesentliches Ziel der Gestaltung der Zufahrtsbereiche zu Baustellen ist die Verminderung der Geschwindigkeiten schnell fahrender Fahrzeuge. Dadurch sollen die Geschwindigkeitsstreuung und abrupte Verzögerungen reduziert werden. Diese Fahrzeuggruppe wird mit der Kenngrösse $V_{85\%}$ charakterisiert.

In den folgenden Tabellen wurden die Einflüsse der Tempolimite und der Radarüberwachung auf diese Fahrzeuggruppe ausgewertet. Sie zeigen $V_{85\%}$ -Werte in den Messquerschnitten (QS) der Zufahrt bis zum Beginn der Überleitung (QS6). Ergänzt sind auch die Lagen der Geschwindigkeitsanzeigen und der Radarüberwachung (vgl. auch Situationsskizze in Abbildung 5-1). Damit kann auch beurteilt werden, ob allfällige Veränderungen im Zusammenhang mit den Lagen der Anzeigen stehen.

Die Tabelle 5-10 enthält die Lage der permanenten Anzeige „Tempolimite 100 km/h“ (zwischen QS1 und 2) und jene der je nach Versuch wechselnden Tempolimite 100 oder 80 km/h (zwischen QS3 und 4) ergänzt. Analog sind in Tabelle 5-11 die Lagen der Radaranzeige und der Radarkabine angegeben.

Der *Einfluss der Tempolimite* ist aus Tabelle 5-10 ersichtlich. Massgebend ist dabei der Zustand ohne Überlagerung mit Radarüberwachung (in der Tabelle links). Demnach wird auf beiden Fahrstreifen auf die Anzeige Tempolimite 80 erst bei QS4 und vor allem QS5 ($V_{85\%}$ -Werte um 8.0 bzw. 9.7 km/h tiefer als

bei Tempolimite 100) reagiert. Ersichtlich ist allerdings auch, dass die $V_{85\%}$ -Werte bis in die Überleitung die Tempolimite 80 (z.T. deutlich) übersteigen. Der zusätzliche Einfluss der Überwachung (in der Tabelle rechts) bewirkt eine Vorverlegung der Geschwindigkeitsanpassung. Dabei werden am Ende der Zufahrt bei Tempolimite 80 $V_{85\%}$ -Werte erreicht, die annähernd der Tempolimite entsprechen.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] ohne Radar (SG1 1a und 2a)						
Tempo	Lage: QS	Anzeige 100		Anzeige Tempolimite		
		2	3	4	5	6
100	NS	104.9	99.8	99.8	94.9	88.0
80	NS	103.8	96.6	93.3	86.9	83.0
	ΔV	1.1	3.2	6.5	8.0	5.0
100	ÜS	113.9	107.8	105.7	103.0	92.0
80	ÜS	113.1	106.2	101.4	93.3	88.0
	ΔV	0.8	1.6	4.3	9.7	4.0

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] mit Radar (SG1 1b und 2b)						
Tempo	Lage: QS	Anzeige 100		Anzeige Tempolimite		
		2	3	4	5	6
100	NS	99.8	92.8	94.9	88.5	83.0
80	NS	101.4	89.6	86.9	80.5	80.0
	ΔV	-1.6	3.2	8.0	8.0	3.0
100	ÜS	112.5	103.0	98.1	98.1	88.0
80	ÜS	110.1	98.1	91.7	83.7	81.0
	ΔV	2.4	4.9	6.4	14.4	7.0

Tab. 5-10: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 und 100 km/h für die Zustände ohne Radarüberwachung (links) und mit Radarüberwachung (rechts)

Der Einfluss der Radarüberwachung ist aus Tabelle 5-11 ersichtlich.

Bei Tempolimite 80 (in der Tabelle links) wird bereits auf die Anzeige der Überwachung reagiert (ab QS3). Die Geschwindigkeitsreduktionen gegenüber dem Zustand ohne Überwachung verteilen sich sowohl auf dem NS als auch auf dem ÜS gleichmässig auf die QS 3, 4 und 5. Die Tempolimite wird auf dem NS am Zufahrtseende, auf dem ÜS zu Beginn der Überleitung auch durch die schnelle Fahrzeuggruppe eingehalten. Dies ist im Zustand ohne Radarüberwachung an keinem Querschnitt der Fall.

Auch bei Tempolimite 100 (in der Tabelle rechts) sind die Geschwindigkeitsreduktionen gegenüber dem Zustand ohne Überwachung gleichmässig verteilt, auf dem NS wird bereits bei der Radaranzeige (QS2) reagiert; ab hier wird auf dem NS die Tempolimite eingehalten, auf dem ÜS erst vor der Radarkabine (QS4).

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempo 80 (SG1 1a und 1b)						
Radar	Lage: QS	Anzeige Radar			Radarkabine	
		2	3	4	5	6
ohne	NS	103.8	96.6	93.3	86.9	83.0
mit	NS	101.4	89.6	86.9	80.5	80.0
	ΔV	2.4	7.0	6.4	6.4	3.0
ohne	ÜS	113.1	106.2	101.4	93.3	88.0
mit	ÜS	110.1	98.1	91.7	83.7	81.0
	ΔV	3.0	8.1	9.7	9.6	7.0

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempo 100 (SG1 2a und 2b)						
Radar	Lage: QS	Anzeige Radar			Radarkabine	
		2	3	4	5	6
ohne	NS	104.9	99.8	99.8	94.9	88.0
mit	NS	99.8	92.8	94.9	88.5	83.0
	ΔV	5.1	7.0	4.9	6.4	5.0
ohne	ÜS	113.9	107.8	105.7	103.0	92.0
mit	ÜS	112.5	103.0	98.1	98.1	88.0
	ΔV	1.4	4.8	7.6	4.9	4.0

Tab. 5-11: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimite 80 (links) und 100 km/h (rechts)

Erwartungsgemäss nehmen die $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten entlang der Strecke stark ab. Die Differenzen zwischen Beginn der Zufahrt (QS1) und Beginn der Überleitung (QS6) betragen im Zustand ohne Überwachung auf dem NS 22 bis 28 km/h, auf dem ÜS 28 bis 32 km/h. Die grösseren Werte gelten für den Zustand mit Tempolimite 80. Wie bereits bei den V_m -Werten festgestellt, erhöhen sich diese Differenzen im Zustand mit Radarüberwachung deutlich (auf dem NS 29 bis 32 km/h, auf dem ÜS 34 bis 41 km/h). Im Vergleich zu den mittleren Geschwindigkeiten resultieren bei der Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) etwa doppelt so hohe mittlere Verzögerungen.

5.1.2. Spurverhalten in der Überleitung

Das Spurverhalten wird im Bereich des Einleitungsbogens der Überleitung untersucht und zwar zu Beginn (Zu- bzw. Einfahrt), in der Mitte des Kreisbogens (Mitte) und am Ende des Kreisbogens (Ausfahrt). Die entsprechenden Messergebnisse sind im ANHANG 5 zusammengestellt. Die Beurteilung erfolgt anhand der *Spurverteilung* (die Streuung ausgedrückt durch die Standardabweichung von der mittleren Lage der Fahrzeugachsen) und anhand der über alle Fahrzeuge gemittelten Lage der Fahrzeugachse. Die zweite Auswertegrösse bezieht sich auf die *Spurtreue* in Bezug auf die ideale Lage in der jeweiligen Fahrstreifenmitte.

Zur Beurteilung der Spurtreue werden einbezogen

- die Abweichungen der gemittelten Lage der *Fahrzeugachse* von der *Fahrstreifenachse* an den einzelnen Querschnitten sowie der Durchschnittswert über alle Querschnitte. Die entsprechenden Werte der Abweichungen sind im ANHANG 5 jeweils in der Zeile „Mittlere Lage“ angegeben. Dabei bedeuten

positive Werte die Lage links von der Fahrstreifenmitte und negative Werte rechts von der Fahrstreifenmitte (jeweils in Fahrtrichtung betrachtet) und

- die gesamte laterale Verschiebung der gemittelten Lage der Fahrzeugachse in der Überleitung. Dies erfolgt durch die Aufsummierung der Lage-Differenzen zwischen zwei Querschnitten entlang der Überleitung.

In der nebenstehenden Abbildung ist die Ermittlung der erwähnten Beurteilungsgrößen veranschaulicht.

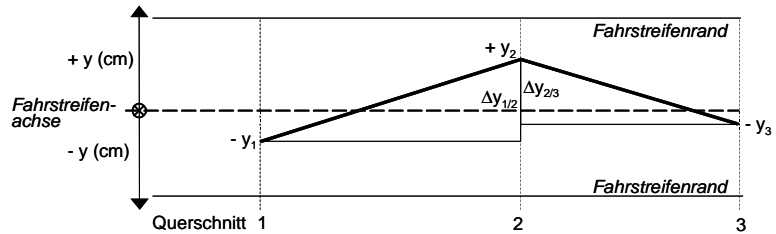


Abb. 5-7:
Definition der Beurteilungsgrößen
Gesamtverschiebung und Abweichungen

„Gesamtverschiebung“: $[(\pm y_i) - (\pm y_{i+1})] + [(\pm y_{i+1}) - (\pm y_{i+2})] + \dots$

Abweichungen y_i und „durchschnittliche Abweichung“: $\sum_{i=1}^n \frac{|y_i|}{n}$

Der in der Abbildung schematisch dargestellte Verschiebungsvorgang im Fahrstreifen entspricht in Wirklichkeit dem Fahrvorgang des so genannten Kurvenschneidens (in einer Linkskurve). Solch eine Fahrweise ist im Bereich von Kurven mit nur kleinen Richtungsänderungen (wie dies bei Mittelstreifenüberfahrten an HLS stets der Fall ist) üblich. Mit der Beurteilungsgrösse „Gesamtverschiebung“ kann also auch das Ausmass des Kurvenschneidens ausgedrückt werden.

Das Befahren von kleineren Krümmungen durch das Kurvenschneiden reduziert die auf das Fahrzeug wirkende Querbeschleunigung. Aus Untersuchungen [35, 4] ist bekannt, dass dies in der Regel zu höheren Fahrgeschwindigkeiten führt bzw. das Beibehalten der Geschwindigkeit aus dem Streckenabschnitt vor der Kurve ermöglicht. Betrachtet man die Diagramme in ANHANG 5, so zeigt sich, dass diese Fahrweise bei allen Versuchen der Untersuchungsstrecken SG1, SG2 und ZG1 in kleinerer oder grösserer Ausprägung auftritt.

Die entsprechende (aus der Sicht Verkehrssicherheit negative) Prüfhypothese kann lauten: Je grösser die gesamte laterale Verschiebung ist, desto grösser ist die kompensatorische Wirkung auf die Querbeschleunigung¹² und desto grössere Fahrgeschwindigkeiten können erwartet werden.

Bei der Spurverteilung wird von der Hypothese ausgegangen, dass grössere Standardabweichungen auf Fahrunsicherheiten, beispielsweise verursacht durch mangelnde optische Führung, hindeuten. Diese Hypothese ist auch für den Durchschnittswert der Abweichungen von der Fahrstreifenachse anwendbar.

Analog zum Geschwindigkeitsverhalten werden auch beim Spurverhalten jeweils Vergleiche angestellt und kommentiert:

- Zwischen zwei Versuchen und
- entlang der Überleitung bzw. zwischen den Betrachtungsquerschnitten.

Wie in ANHANG 7 erwähnt, ist bei den Ergebnissen grundsätzlich zu beachten, dass die Genauigkeit der Distanzmessung im Bereich von ± 0.04 m beträgt. Für die Untersuchungsstrecke SG1 werden die Einflüsse der verschiedenen Tempolimiten verglichen. Anschliessend werden die Auswirkungen der Geschwindigkeitsüberwachung geprüft.

In den folgenden zwei Abbildungen sind die Verschiebungen der gemittelten Lage der Fahrzeugachse gegenüber der Fahrstreifenmitte in den drei Querschnitten des Einleitungsbogens (Zufahrt, Mitte und Ausfahrt) dargestellt. Die Betrachtung erfolgt jeweils separat für den Normalfahrstreifen (vgl. Abb. 5-8) und den Überholfahrstreifen (vgl. Abb. 5-9). Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass auf dem Normalstreifen im Durchschnitt links der Fahrstreifenachse, auf dem Überholstreifen im Bereich oder rechts der Fahrstreifenachse gefahren wird.

¹² In dieser Überlegung werden weitere Einflussfaktoren wie z.B. das Quergefälle bzw. die Verdrehung der Fahrbahn vernachlässigt.

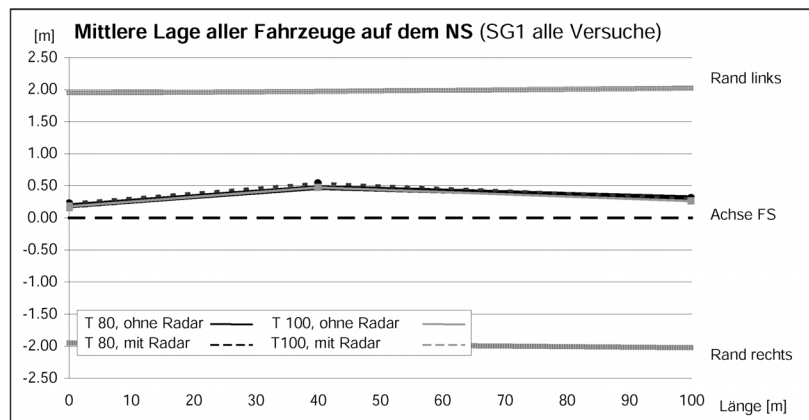


Abb. 5-8: Vergleich der Abweichungen bei Tempolimit 80 und 100 km/h für den Normalfahrstreifen

Unabhängig von der signalisierten zulässigen Geschwindigkeit und deren Überwachung tritt auf dem *Normalfahrstreifen* im Bereich der drei Beobachtungsquerschnitte ein deutliche Abweichung nach links auf. Während sich die Fahrzeugachse zu Beginn des Kreisbogens ca. 0.18 m links neben der Fahrstreifenmitte befindet, wird im mittleren Bereich des Kreisbogens die Kurve bis ca. einen halben Meter geschnitten. Am Ende des Kreisbogens wird im Durchschnitt ca. 0.30 m links von der Fahrstreifenmitte gefahren. Die Gesamtverschiebung nach links und anschließend nach rechts beträgt in etwa 0.50 m. Bezüglich der eingesetzten Tempolimiten von 80 und 100 km/h und der Geschwindigkeitsüberwachung (ohne / mit Radar) können keine Unterschiede in der mittleren Lage der Fahrzeugachse festgestellt werden.

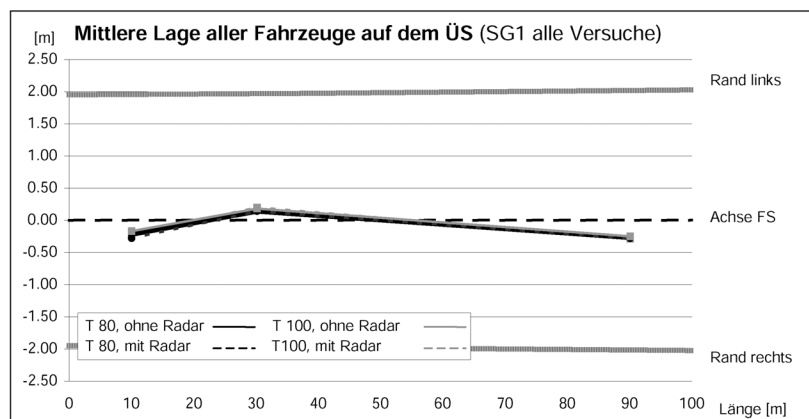


Abb. 5-9: Vergleich der Abweichungen bei Tempolimit 80 und 100 km/h für den Überholfahrstreifen

Auch auf dem *Überholfahrstreifen* wird die Kurve bei allen Versuchen geschnitten, hier allerdings nur um ca. 0.20 m links der Fahrstreifenmitte (vgl. Mitte des Einleitungsbogens bei 30 m). Vorher (bei 0 m) wird jedoch im gleichen Masse nach rechts ausgeholt. Auch in der Ausfahrt des Kreisbogens (bei 90 m) befindet sich die Fahrzeugachse wieder ca. 0.25 m rechts von der Fahrstreifenmitte. Dieses Verhalten ergibt eine Gesamtverschiebung von ca. 0.80 m.

Bei den *Standardabweichungen* (S) fällt bei allen vier Versuchen ihre Konstanz auf (vgl. ANHANG 5.1). Die Unterschiede zwischen den Versuchen liegen auf beiden Fahrstreifen weitgehend unter der Messgenauigkeit von 4 cm. Auch entlang der Überleitung sind die Unterschiede zwischen den S-Werten geringfügig. Einzig auf dem Überholstreifen zeigt sich in der Ausfahrt aus dem Einleitungsbogen bei allen Versuchen eine leichte Erhöhung der Spurstreuung.

Der Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung in Bezug auf die Spurtreue ist überaus gering. Insgesamt zeigt weder die Tempolimiten noch die Geschwindigkeitsüberwachung einen bedeutsamen Einfluss auf die Abweichung der Fahrzeuge bezüglich der Fahrstreifenmitte.

5.1.3. Fahrstreifenwechsel

Bei den Fahrstreifenwechsellvorgängen wurde untersucht, wie sich ihre Häufigkeit sowie die Häufigkeit der potentiellen Gefahrensituationen zwischen den einzelnen Versuchen ändert. Als gefährlich wurden Fahrstreifenwechsel gewertet, bei welchen mindestens eines der beteiligten Fahrzeuge zur Bremsung (Aufleuchten der Bremslichter) veranlasst wurde. Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf den Angaben im ANHANG 6.

In vorliegendem Fall handelt es sich um Wechsellvorgänge infolge Breitenbeschränkung auf dem linken Fahrstreifen im Baustellenbereich. Dementsprechend wird hier etwas häufiger vom Überholstreifen auf den Normalfahrstreifen gewechselt als umgekehrt (vgl. ANHANG 6.1). Als massgebende Bezugsgrösse für die Häufigkeit wird die Gesamtbelastung (Anzahl Fz/Querschnitt) während der Versuchsdauer herangezogen. Erfasst wurden je Versuch zwischen ca. 100 und 150 Fahrstreifenwechsel, davon zwischen ca. 3 und 30 Fahrstreifenwechsel mit Bremsung. Die entsprechenden Anteile der Fahrstreifenwechsel lagen unter ca. 10% der Gesamtbelastung, jene der Fahrstreifenwechsel mit Bremsung unter ca. 2%.

In Tabelle 5-12 werden die Anteile der Fahrstreifenwechsel (FSW) und FSW mit Bremsung bei den verschiedenen Versuchsanordnungen verglichen.

Vorgänge in % der Gesamtbelastung	Vergleich Tempolimite 80 /100 km/h				Vergleich ohne / mit Radar			
	80 / 100 ohne Radar		80 / 100 mit Radar		80 ohne / mit Radar		100 ohne / mit Radar	
	80 km/h (SG1-1a)	100 km/h (SG1-2a)	80 km/h (SG1-1b)	100 km/h (SG1-2b)	ohne Radar (SG1-1a)	mit Radar (SG1-1b)	ohne Radar (SG1-2a)	mit Radar (SG1-2b)
% alle FSW	8.4	8.4	7.9	10.7	8.4	7.9	8.4	10.7
% FSW mit Bremsung	1.8	1.5	2.1	0.3	1.8	2.1	1.5	0.3
% FSW mit Bremsung an allen FSW	21.9	17.7	26.6	2.1	21.9	26.6	17.7	2.1

Tab. 5-12: Anteile an Fahrstreifenwechsel und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung auf der Strecke SG1 im Vergleich der Tempolimite 80/100 km/h und ohne/mit Radar

Kommentar:

- Beim Vergleich der Tempolimite 80/100 ohne Radar (Versuche SG1-1a/SG1-2a) zeigen sich praktisch keine Veränderungen.
- Die Anordnung der Radarüberwachung führte bei Tempolimite 100 km/h zu einer etwas höheren Häufigkeit der FSW als bei Tempolimite 80 km/h, wobei die FSW praktisch ohne Bremsungen ausgeführt wurden (Versuche SG1-1b/SG1-2b).
- Bei Tempolimite 80 km/h ergeben sich im Vergleich ohne/mit Radar (Versuche SG1-1a/SG1-1b) praktisch keine Veränderungen; die Anteile sowohl der FSW als auch der FSW mit Bremsung sind in etwa gleich gross.
- Bei Tempolimite 100 km/h zeigt sich demgegenüber die bereits erwähnte, deutliche Veränderung zwischen dem Versuch ohne und mit Radar (Versuche SG1-2a/SG1-2b).

5.1.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke SG1

Im Gegensatz zu den übrigen Untersuchungsstrecken konnte hier der Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung untersucht werden. Die Auswertung der Messergebnisse zum Geschwindigkeits- und Spurverhalten sowie zu den Fahrstreifenwechseln führte zu folgenden Erkenntnissen:

- **Geschwindigkeitsverhalten**

Die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten nehmen bei allen Versuchen und auf beiden Fahrstreifen in Richtung der Baustelle deutlich ab. Dies dürfte mit der Erwartungshaltung der Fahrzeuglenker – bedingt durch die Baustellenanzeigen – zusammenhängen. Die Veränderung der Tempolimite 80 oder 100 km/h hat auf die örtliche Geschwindigkeitsverteilung keine oder nur geringfügige Auswirkungen (vgl. Tab. 5-2). Die deutlich niedrigere Tempolimite von 80 km/h wirkt sich auf die Streuung der mittleren Geschwindigkeiten nicht adäquat aus. Mit Radarüberwachung lassen sich die Geschwindigkeitsstreuungen jedoch reduzieren, vor allem bei der tieferen Tempolimite, auf dem Normalstreifen und im Zufahrtsbereich zur Baustelle (vgl. Tab. 5-4 und 5-5). Eine deutliche Homogenisierung erfolgt dabei im Bereich der angekündigten Radarüberwachung.

Im *Geschwindigkeitsverlauf* (vgl. Abb. 5-10) bewirken die unterschiedlichen Tempolimiten Veränderungen im Verzögerungsverhalten. Bei Tempolimite 100 km/h wird in der Zufahrt gemächlicher verzögert als bei Tempolimite 80 km/h, dafür entsteht in der Überleitung ein zweiter, ausgeprägter Verzögerungsbereich auf dem Normalfahrstreifen; auf dem Überholstreifen ist dies vor der Überleitung der Fall. Unabhängig der Tempolimite liegen die mittleren Geschwindigkeiten auf dem Normalfahrstreifen bereits ca. 500 m vor der Überleitung im Bereich von 80 km/h; auf dem Überholstreifen ist dies erst in der Überleitung der Fall.

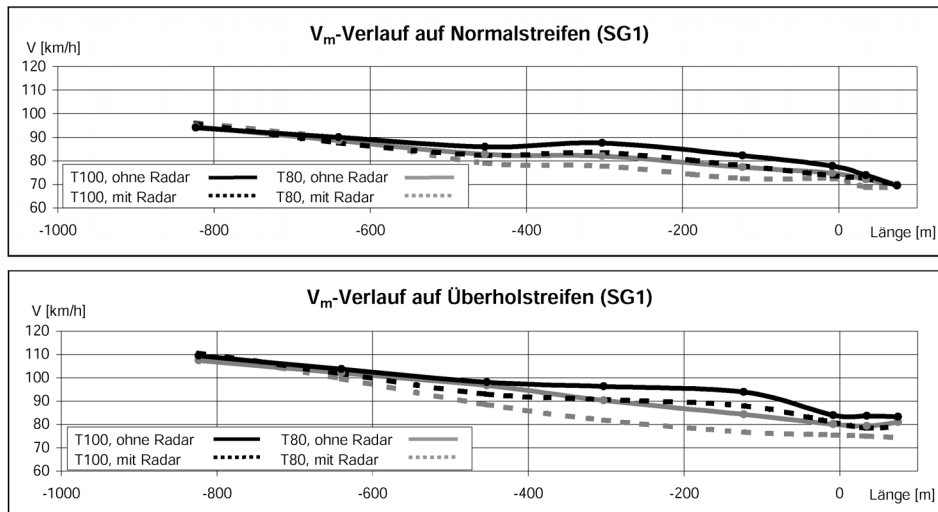


Abb. 5-10: Verläufe der mittleren Geschwindigkeiten auf dem Normalstreifen (oben) und auf dem Überholstreifen (unten)

Die *Radarüberwachung* bewirkt bei Tempolimite 80 km/h eine deutlichere Geschwindigkeitsanpassung in der Zufahrt. Die mittleren Geschwindigkeiten am Ende der Zufahrt liegen um ca. 5 bis 7 km/h tiefer als ohne Radarüberwachung. Daraus resultieren besser angepasste Geschwindigkeiten in der Überleitung und im nachfolgenden Baustellenbereich. Diese Aussagen treffen grundsätzlich auch für den Zustand mit Tempolimite 100 km/h zu. Entsprechend der höheren Tempolimite sind jedoch die Geschwindigkeitsabnahmen weniger ausgeprägt.

Wesentlich ist das Geschwindigkeitsverhalten der schnelleren Fahrzeuggruppe. Die Herabsetzung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h wirkt sich erst am Ende des Zufahrtbereichs aus. Die $V_{85\%}$ -Werte liegen vor der Überleitung bei Tempolimite 80 km/h um ca. 8 bis 10 km/h tiefer als bei Tempolimite 100 km/h.

Bei Radarüberwachung wird bei beiden Tempolimiten bereits auf die Anzeige in der Mitte der Zufahrt reagiert. Bei Tempolimite 80 km/h wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit am Zufahrtssende auch von der schnellen Fahrzeuggruppe eingehalten. Dies ist im Zustand ohne Radarüberwachung an keinem Querschnitt der Fall. Auch bei Tempolimite 100 km/h sind die Geschwindigkeitsreduktionen gegenüber dem Zustand ohne Überwachung gleichmässig verteilt. Auf dem Normalfahrstreifen wird bereits bei der Radaranzeige reagiert; ab hier wird die Tempolimite eingehalten, auf dem Überholstreifen erst vor der Radarkabine.

- *Spurverhalten*

Zwischen den vier Versuchen ergaben sich keine Unterschiede bei der mittleren Lage der Fahrzeuge in Bezug auf die Fahrstreifenachse. Unabhängig von der signalisierten Höchstgeschwindigkeit und der Überwachung durch eine Radarkontrolle liegen in allen Versuchen quasi identische Abweichungen vor. Dies gilt sowohl für die jeweilige Abweichung von der Fahrstreifenachse, als auch für die Standardabweichung der Spurverteilung. In allen Fällen findet ein deutliches Kurvenschneiden statt, das auf dem Überholfahrstreifen ausgeprägter als auf dem Normalstreifen ist.

- *Fahrstreifenwechsel*

Beim Vergleich der Tempolimite 80/100 zeigten sich praktisch keine Veränderungen in der Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel. Die Anordnung der Radarüberwachung führte bei Tempolimite 100 km/h zu einer etwas höheren Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel als bei Tempolimite 80 km/h, wobei sie von den beteiligten Fahrzeugen praktisch ohne Bremsungen ausgeführt wurden.

5.2. Ergebnisse Untersuchungsstrecke SG2

An dieser Untersuchungsstrecke mit der Betriebsform 3+1 (Überleitung des Überholfahrstreifens; Normalfahrstreifen entlang der Baustelle) wurden insgesamt sechs Versuche durchgeführt (vgl. Tab. 5-13). Dabei konnten zwei verschiedene Leiteinrichtungen im Bereich der Überleitung eingesetzt werden. Ihre Anordnung erfolgte ab Beginn des Einleitungsbogens der Mittelstreifenüberfahrt (vgl. Abb. 2-6). Bei beiden Systemen wurden zudem die Auswirkungen der veränderten Geschwindigkeitssignalisation untersucht. Ausserdem wurden bei beiden Arten von Leiteinrichtungen – kombiniert mit Geschwindigkeitssignal 80 km/h – Messungen bei Dunkelheit durchgeführt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Mittelstreifenüberfahrt bei Dunkelheit beleuchtet wurde (vgl. 3.1.2.). Bei allen Versuchen waren in der Überleitung blinkende Abweispfeile in Hochlage (vgl. Abb. 2-5) in Betrieb. Der Versuch SG2 1a bildete den Referenzzustand.

Die eingesetzten Leitelemente umfassen:

- Hohe Leitbaken (Bezeichnung LB) und
- Leitschienen mit aufgesetzten niedrigen Baken (Bezeichnung LS).

Baustelle	Betriebsform	Eingesetzte Versuchselemente			Zusatzmessung	Versuchsbezeichnung	Tageszeit der Messungen
		Signalisation Vztl (km/h)	Leitelemente	Zusatzelemente			
SG2	3 / 1	80	Baken hoch	In Überleitung: Blinkende Abweispfeile in Hochlage		SG2 1a	08.45 - 10.45
	3 / 1	80	Leitschiene mit Baken niedrig			SG2 1b	08.45 - 10.45
	3 / 1	80	Baken hoch		nachts	SG2 3a	21.45 - 23.45
	3 / 1	80	Leitschiene mit Baken niedrig		nachts	SG2 3b	21.50 - 23.50
	3 / 1	100	Baken hoch			SG2 2a	13.30 - 15.30
	3 / 1	100	Leitschiene mit Baken niedrig			SG2 2b	13.45 - 15.45

Tab. 5-13: Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke SG2

Die entsprechende Messanordnung und die Lage der eingesetzten Versuchselemente sind aus Abbildung 5-11 ersichtlich. Darin ist auch die Wegweisung (zweimalige Anzeige der Ausfahrt im Baustellenbereich „Wil“) enthalten.

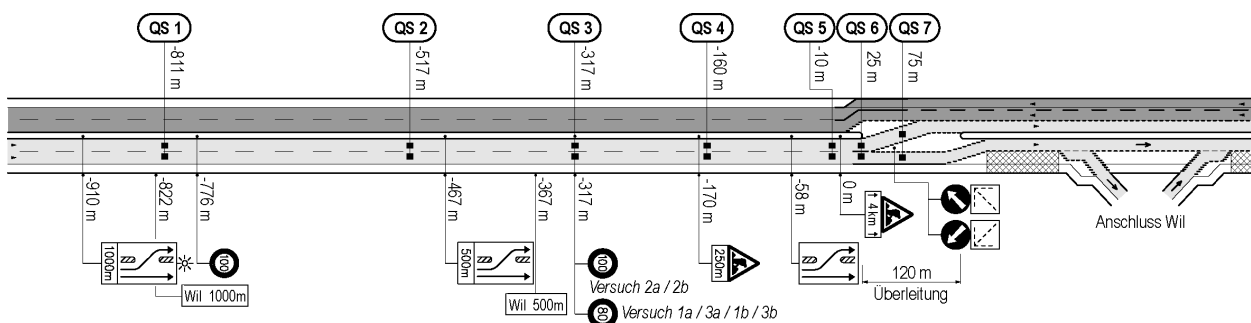


Abb. 5-11: Messanordnung an der Untersuchungsstrecke SG2

5.2.1. Geschwindigkeitsverhalten

Analog zur Untersuchungsstrecke SG1 basieren alle Daten auf den in ANHANG 4 dargestellten Messergebnissen. Die Anzahl ausgewerteter Fahrzeuge (Spalten „Alle FZ“) bezieht sich auf die jeweilige Versuchsdauer. Zu beachten ist bei dieser Erhebung die stark differierende Anzahl der Fahrzeuge zwischen den Erhebungen am Tag und den Erhebungen in der Nacht. In Anbetracht der verschiedenen Fahrstreifen und Tageszeiten variiert die Anzahl der Fahrzeuge um mehr als das 17-fache. Des Weiteren muss beachtet werden, dass aufgrund der Betriebsform 3+1 der Überholfahrstreifen auf die Seite der Gegenfahrbahn verschwenkt und in seiner Breite eingeschränkt wird. Der Bereich der Überleitung war in der Nacht mittels zweier Beleuchtungsmasten ausgeleuchtet. Der Normalfahrstreifen war in Lage (keine Verschwenkung) und Breite (normal breit) im Bereich der Überleitung des Überholfahrstreifens unverändert. Erst knapp 100 Meter später wird der Normalfahrstreifen auf die Fahrbahn des früheren Überholfahrstreifens verschwenkt und eingeeengt (siehe Abb. 5-11). Anders als der Bereich der Überleitung war dieser Bereich nicht zusätzlich beleuchtet. Die Verschwenkung war nicht als solche mittels eines Hinweissignals angezeigt.

5.2.1.1. Geschwindigkeitsverteilung

Wie zuvor bei der Untersuchungsstrecke SG₁ wird die Geschwindigkeitsverteilung anhand der Standardabweichungen (S) untersucht. Hierzu werden die Standardabweichungen an den einzelnen Querschnitten (QS) unter Berücksichtigung verschiedener Einflüsse verglichen. Die an der Untersuchungsstrecke SG₂ berücksichtigten Faktoren sind der Einfluss der Tempolimits, der Einfluss der verschiedenen Leiteinrichtungen bei Tag und in der Nacht, sowie der Einfluss der Tageszeit (Tag/Nacht). Da der Normalfahrstreifen in Lage und Breite durch die Baustelle nicht verändert war, fällt hier ein besonderes Augenmerk auf den Überholfahrstreifen. Hier sind insbesondere die Messquerschnitte QS₅ bis QS₇ (Bereich der Überleitung) und der Messquerschnitt QS₄ (unmittelbar vor der Überleitung) von Interesse. In den folgenden Tabellen (5-14 bis 5-20) sind diese Messquerschnitte jeweils grau hinterlegt.

- *Einfluss der Tempolimits*

Der Einfluss der Tempolimits wird in Tabelle 5-14 unter Verwendung von hohen Baken als Leiteinrichtung und Tabelle 5-15 beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken dargestellt. Im linken Teil der Tabellen sind, analog zur Darstellung der Daten der Versuchsstrecke SG₁, die Standardabweichungen (S) für die jeweiligen Querschnitte angegeben. Die Spalte „1/2“ enthält die Mittelwerte von S für den Beginn der Zufahrt, die Spalte „3/4“ jene für das Ende der Zufahrt und die Spalte „5/6/7“ jene für den Bereich der Überleitung. Der obere Teil der Tabellen zeigt die Werte für den Normalfahrstreifen (NS), der untere Teil jene für den Überholfahrstreifen (ÜS).

Standardabweichung S [km/h]									Alle FZ		Mittelwerte		
hohe Baken (SG2 1a und 2a)													
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
100	NS	13.3	10.1	9.7	11.8	9.4	9.0	9.8	23.6	1729	11.7	10.8	9.4
80	NS	12.7	10.0	9.8	10.0	8.2	7.8	7.9	23.8	1687	11.4	9.9	8.0
	ΔS	0.6	0.1	-0.1	1.8	1.2	1.2	1.9			0.4	0.9	1.4
100	ÜS	10.0	12.3	9.8	10.3	8.2	8.3	8.2	2.0	750	11.2	10.1	8.2
80	ÜS	10.5	11.8	12.3	10.0	8.3	8.0	7.9	1.8	739	11.2	11.2	8.1
	ΔS	-0.5	0.5	-2.5	0.3	-0.1	0.3	0.3			0.0	-1.1	0.2

Tab. 5-14: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimits 100 km/h und 80 km/h und hohen Baken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Wie bei den Gegenüberstellungen in 5.1.1. nehmen die Standardabweichungen S, unabhängig vom Fahrstreifen (NS/ÜS) und Tempolimits (100/80) in Richtung Baustellenbeginn deutlich ab. Diese Abnahme erfolgt jedoch nicht stetig, so dass besonders in den Übergängen zwischen den Messquerschnitten QS₂, QS₃ und QS₄ grössere Differenzen auftreten.
- *Auf dem NS* kann beim Vergleich der Abweichungen ΔS bei Tempolimits 80 km/h eine grundsätzlich geringere Streuung als bei Tempolimits 100 km/h festgestellt werden, vor allem in QS₄ bis QS₇. Dies ist auf dem ÜS nicht der Fall.
- Im Bereich der Signalisierung einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h (auf Höhe von QS₃) ergab sich *auf dem ÜS* eine deutlich grössere Streuung. Diese könnte in Verbindung mit der vom Fahrer abhängigen Reaktion auf das Geschwindigkeitssignal und/oder auf den letzten Wegweiser Ausfahrt „Wil 500m“ stehen.
- Im Bereich der Messquerschnitte QS₄ bis QS₇ auf dem ÜS (grau hinterlegt), welche von besonderem Interesse sind, können keine Unterschiede zwischen den Geschwindigkeitsstreuungen in Abhängigkeit der Tempolimits festgestellt werden.

In Tabelle 5-15 werden wie in Tabelle 5-14 die Streuungen der Geschwindigkeiten verglichen, hier jedoch unter Einwirkung einer Leitschiene mit niedrigen Baken.

Standardabweichung S [km/h] Leitschiene (SG2 1b und 2b)									Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
100	NS	14.0	11.0	10.6	10.7	9.2	8.5	8.8	26.8	1602	12.5	10.7	8.8
80	NS	13.4	10.7	11.0	10.0	10.4	9.5	10.1	25.2	1729	12.1	10.5	10.0
	ΔS	0.6	0.3	-0.4	0.7	-1.2	-1.0	-1.3			0.4	0.1	-1.2
100	ÜS	10.3	13.2	9.6	8.4	8.0	8.0	8.1	3.9	720	11.8	9.0	8.0
80	ÜS	9.9	11.3	10.7	10.6	7.8	8.0	8.1	2.1	872	10.6	10.7	8.0
	ΔS	0.4	1.9	-1.1	-2.2	0.2	0.0	0.0			1.2	-1.7	0.1

Tab. 5-15: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 und 80 km/h und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Auch beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken verringert sich die Geschwindigkeitsstreuung in Richtung Baustelle. Anders als beim Einsatz von hohen Baken nehmen jedoch die Standardabweichungen sowohl auf dem NS als auch auf dem ÜS in Richtung des Baustellenbeginns gleichmässig ab, vor allem bei Tempolimiten 100 km/h.
- Auf der Höhe der Überleitung (QS4 bis QS7) ergeben sich auf dem NS bei Tempolimiten 80 km/h grössere S als bei Tempolimiten 100 km/h. Dies war beim Einsatz von hohen Baken umgekehrt.
- Im massgebenden Bereich der *Überleitung des ÜS* treten auch bei Verwendung von Leitschienen keine durch die Tempolimiten bedingten Differenzen der Standardabweichungen auf. Die Grösse der S entspricht in der Überleitung etwa jener beim Einsatz von hohen Baken.

• *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag*

Der Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag wird separat für die beiden eingesetzten Tempolimiten (100/80) betrachtet. Die Tabelle 5-16 vergleicht die Ergebnisse, welche sich bei Tempolimiten 80 km/h, einerseits unter Einsatz hoher Baken und andererseits bei Verwendung von Leitschienen und niedrigen Baken ergeben. Analog hierzu werden in Tabelle 5-17 die ermittelten Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 km/h gegenübergestellt. Der Aufbau beider Tabellen sieht wieder eine separate Betrachtung des Normalfahrstreifens und des Überholfahrstreifens vor.

Die Leiteinrichtungen wurden bei dieser Untersuchungsstrecke erst ab QS5 (0 m) eingesetzt. Ihre optische Wirkung kann sich demnach nur in den Messquerschnitten QS4 bis QS7 manifestieren. Die stromaufwärts liegenden QS1 bis QS3 befinden sich ausserhalb der Erfassungsdistanz, die einer Fahrzeit von 12s entspricht¹³. Aus diesem Grund werden Veränderungen im Bereich der Messquerschnitte QS4 bis QS7 als vordergründig betrachtet.

Standardabweichung S [km/h] Tempo 80 bei Tag (SG2 1a und 1b)									Alle FZ		Mittelwerte		
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
Baken	NS	12.7	10.0	9.8	10.0	8.2	7.8	7.9	23.8	1687	11.4	9.9	8.0
Leitschiene	NS	13.4	10.7	11.0	10.0	10.4	9.5	10.1	25.2	1729	12.1	10.5	10.0
	ΔS	-0.7	-0.7	-1.2	0.0	-2.2	-1.7	-2.2			-0.7	-0.6	-2.0
Baken	ÜS	10.5	11.8	12.3	10.0	8.3	8.0	7.9	1.8	739	11.2	11.2	8.1
Leitschiene	ÜS	9.9	11.3	10.7	10.6	7.8	8.0	8.1	2.1	872	10.6	10.7	8.0
	ΔS	0.6	0.5	1.6	-0.6	0.5	0.0	-0.2			0.5	0.5	0.1

Tab. 5-16: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 80 km/h und bei Tag

Kommentar:

- Die Standardabweichungen S *auf dem NS* nehmen in Richtung Baustelle weitgehend kontinuierlich ab. Sie sind bei der Anordnung mit Leitschienen grundsätzlich grösser als bei der Anordnung mit Baken, vor allem auf der Höhe der Überleitung, wo die Differenzen ΔS ca. 2 km/h betragen.

¹³ In Anlehnung an die VSS-Norm SN 640 080; beim Geschwindigkeitsniveau zwischen ca. 90 und 110 km/h entspricht dies einer Entfernung zwischen ca. 300 und 370 m.

- Anders als auf dem NS nehmen die Standardabweichungen S auf dem $\ddot{U}S$ in der Zufahrt zu und erst ab QS 4 wieder ab. In der Zufahrt sind sie bei der Anordnung mit Leitschienen grundsätzlich kleiner als bei jener mit hohen Baken, vor allem im Messquerschnitt QS3, dem Ort der Geschwindigkeits-signalisierung.
- In den massgebenden Querschnitten vor und in der Überleitung (QS4 bis QS7) ergeben sich bei Tempolimiten 80 km/h praktisch keine Unterschiede zwischen den zwei Anordnungen (ΔS praktisch Null). Allerdings erfolgt zwischen QS4 und QS5 (Beginn der Überleitung) bei der Anordnung mit Leitschienen eine stärkere Homogenisierung der Geschwindigkeiten: Die S reduziert sich um 2.8 km/h, während sie bei der Anordnung mit hohen Baken nur um 1.7 km/h abnimmt.

Die Tabelle 5-17 zeigt Vergleich der beiden Leiteinrichtungen bei einem Tempolimiten von 100 km/h.

Standardabweichung S [km/h]									Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 100 bei Tag (SG2 2a und 2b)													
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
Baken	NS	13.3	10.1	9.7	11.8	9.4	9.0	9.8	23.6	1729	11.7	10.8	9.4
Leitschiene	NS	14.0	11.0	10.6	10.7	9.2	8.5	8.8	26.8	1602	12.5	10.7	8.8
	ΔS	-0.7	-0.9	-0.9	1.1	0.2	0.5	1.0			-0.8	0.1	0.6
Baken	$\ddot{U}S$	10.0	12.3	9.8	10.3	8.2	8.3	8.2	2.0	750	11.2	10.1	8.2
Leitschiene	$\ddot{U}S$	10.3	13.2	9.6	8.4	8.0	8.0	8.1	3.9	720	11.8	9.0	8.0
	ΔS	-0.3	-0.9	0.2	1.9	0.2	0.3	0.1			-0.6	1.1	0.2

Tab. 5-17: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 100 km/h und bei Tag

Kommentar:

- Bei Tempolimiten 100 km/h können hinsichtlich des Verlaufs der S entlang der Zufahrt ähnliche Aussagen wie bei Tempolimiten 80 km/h gemacht werden.
 - Im Bereich der QS4 bis QS7 sind die S auf beiden Fahrstreifen bei der Anordnung mit Leitschienen grundsätzlich kleiner als bei der Anordnung mit Baken. Bei Tempolimiten 80 km/h war dies auf dem NS umgekehrt.
 - In der Überleitung selbst sind auf dem $\ddot{U}S$ praktisch keine Unterschiede zwischen den zwei Anordnungen feststellbar. Allerdings erfolgt eine Homogenisierung der Geschwindigkeiten bei der Anordnung mit Leitschienen bereits zwischen QS3 und QS4, während dies bei der Anordnung mit hohen Baken erst zwischen QS4 und QS5 der Fall ist.
- *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Nacht*

Eine wichtige Frage betreffend des Einsatzes der Leiteinrichtungen ist ihr Beitrag zur optischen Führung während der Dunkelheit. Deshalb wurden Versuche während der Nacht durchgeführt. In Tabelle 5-18 sind die Standardabweichungen S für die beiden Systeme einander gegenübergestellt. Die Erhebungen konnten nur bei Tempolimiten 80 km/h erfolgen und wurden getrennt für den Normalfahrstreifen (NS) und den Überholfahrstreifen ($\ddot{U}S$) durchgeführt. Zu beachten ist, dass während des Untersuchungszeitraums (jeweils 2 Std.) eine geringere Anzahl Fahrzeuge die Messquerschnitte passierten als am Tag. Auf dem Überholfahrstreifen konnten jeweils knapp über 100 Fahrzeuge erhoben werden. Während der Versuchsdauer wurde die Mittelstreifenüberfahrt mittels zweier Lichtmasten beleuchtet.

Standardabweichung S [km/h]									Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 80 bei Nacht (SG2 3a und 3b)													
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
Baken	NS	13.9	10.3	11.2	10.7	10.5	9.1	8.1	3.4	733	12.1	11.0	9.2
Leitschiene	NS	13.8	11.8	11.5	10.9	9.9	8.4	8.1	2.7	675	12.8	11.2	8.8
	ΔS	0.1	-1.5	-0.3	-0.2	0.6	0.7	0.0			-0.7	-0.3	0.4
Baken	$\ddot{U}S$	12.0	15.6	9.1	11.4	8.3	8.7	8.1	1.9	104	13.8	10.3	8.4
Leitschiene	$\ddot{U}S$	10.1	14.4	14.5	8.2	9.0	9.9	8.8	1.0	103	12.3	11.4	9.2
	ΔS	1.9	1.2	-5.4	3.2	-0.7	-1.2	-0.7			1.6	-1.1	-0.9

Tab. 5-18: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 80 km/h und bei Nacht

Kommentar:

- Generell lässt sich auch bei Nacht ein Rückgang der S-Werte in Richtung des Baustellenbeginns feststellen. Während er auf dem NS kontinuierlich ist, treten auf dem ÜS bei beiden Anordnungen ausgeprägte Unregelmässigkeiten auf: Zwischen den QS₁ und QS₄ nehmen die S zunächst zu und anschliessend wieder ab.
- Bei beiden Anordnungen erfolgt auf dem ÜS eine ausgeprägte Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung. Bei der Anordnung mit Leitschienen tritt sie zwischen QS₃ (S = 14.5 km/h) und QS₄ (S = 8.2 km/h) auf, bei der Anordnung mit hohen Baken bereits zwischen QS₂ (S = 15.6 km/h) und QS₃ (S = 9.1 km/h). Diese sehr starke Veränderung auf einem Streckenabschnitt von ca. 200 bzw. 150 m kann nur durch eine höhere Zahl von Fahrstreifenwechsel erklärt werden. Darauf deutet auch die Tatsache hin, dass sich in diesem Abschnitt der letzte Wegweiser in die Ausfahrt („Wil 500m“) sowie das Geschwindigkeitssignal „80 km/h“ befinden (vgl. Abb. 5-11).
- In dem für die Untersuchung relevanten Bereich der Querschnitte QS₄ bis QS₇ (grau hinterlegt) zeigt sich, dass die S bei hohen Baken im Bereich der Überleitung um ca. 1 km/h geringer ausfällt. Die Homogenisierung erfolgt bei Baken erst zwischen QS₄ und QS₅, während dies bei den Leitschienen bereits zwischen QS₃ und QS₄ der Fall war.

- *Vergleich Tag / Nacht*

Die Ergebnisse aus dem Vergleich der Zustände Tag und Nacht wurden in den folgenden Tabellen zusammengestellt. Tabelle 5-19 zeigt die unterschiedlichen Standardabweichungen in Bezug auf die Tageszeit bei Tempolimit 80 km/h und beim Einsatz von hohen Baken als Leiteinrichtung. In Tabelle 5-20 werden die Ergebnisse unter gleichen Bedingungen, jedoch unter Verwendung von Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken dargestellt. Bei diesem Vergleich ist die stark differierende Anzahl Fahrzeuge zu den verschiedenen Tageszeiten zu berücksichtigen.

Standardabweichung S [km/h]									Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 80 mit Baken (SG2 1a und 3a)													
Tageszeit	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
Tag	NS	12.7	10.0	9.8	10.0	8.2	7.8	7.9	23.8	1687	11.4	9.9	8.0
Nacht	NS	13.9	10.3	11.2	10.7	10.5	9.1	8.1	3.4	733	12.1	11.0	9.2
	ΔS	-1.2	-0.3	-1.4	-0.7	-2.3	-1.3	-0.2			-0.8	-1.1	-1.3
Tag	ÜS	10.5	11.8	12.3	10.0	8.3	8.0	7.9	1.8	739	11.2	11.2	8.1
Nacht	ÜS	12.0	15.6	9.1	11.4	8.3	8.7	8.1	1.9	104	13.8	10.3	8.4
	ΔS	-1.5	-3.8	3.2	-1.4	0.0	-0.7	-0.2			-2.7	0.9	-0.3

Tab. 5-19: Gegenüberstellung der Standardabweichungen für die Zustände Tag und Nacht mit hohen Baken bei Tempolimit 80 km/h

Kommentar:

- Die Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung in Richtung des Baustellenbeginns ist auf dem NS sowohl am Tag als auch in der Nacht gleichmässig, während sie auf dem ÜS Unregelmässigkeiten aufweist, vor allem nachts.
- Auf dem NS sind die Standardabweichungen S nachts grundsätzlich grösser als am Tag. Auf dem ÜS sind die Unterschiede uneinheitlich und im Zufahrtbereich deutlich grösser als auf dem NS.
- Auch bei diesem Vergleich fällt die oben erwähnte Schwankung im Bereich der Messquerschnitte QS₂ bis QS₄ zur Nachtzeit auf dem Überholfahrstreifen auf. Auf dem ÜS tritt im Bereich des Messquerschnitts QS₃ die bereits erwähnte Unstetigkeit auf, welche mit der Geschwindigkeitssignalisierung oder der letzten Wegweisung der Ausfahrt („Wil 500m“) in Zusammenhang stehen kann.
- Im Bereich der massgebenden Querschnitte QS₄ bis QS₇ auf dem ÜS ergaben sich im Bereich der Überleitung praktisch gleich grosse Standardabweichungen. Die Tageszeit scheint bei der Anordnung hoher Baken keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung im Überleitungsbereich zu haben.

In der folgenden Tabelle werden wiederum die Ergebnisse von Tages- und Nachtzeit bei Tempolimit 80 km/h verglichen. Diesmal jedoch mit einer Leiteinrichtung, welche als Leitschiene mit niedrigen Baken ausgeführt ist.

Standardabweichung S [km/h] Tempo 80 mit Leitschiene (SG2 1b und 3b)									Alle FZ		Mittelwerte		
Tageszeit	QS	1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7
Tag	NS	13.4	10.7	11.0	10.0	10.4	9.5	10.1	25.2	1729	12.1	10.5	10.0
Nacht	NS	13.8	11.8	11.5	10.9	9.9	8.4	8.1	2.7	675	12.8	11.2	8.8
	ΔS	-0.4	-1.1	-0.5	-0.9	0.5	1.1	2.0			-0.8	-0.7	1.2
Tag	ÜS	9.9	11.3	10.7	10.6	7.8	8.0	8.1	2.1	872	10.6	10.7	8.0
Nacht	ÜS	10.1	14.4	14.5	8.2	9.0	9.9	8.8	1.0	103	12.3	11.4	9.2
	ΔS	-0.2	-3.1	-3.8	2.4	-1.2	-1.9	-0.7			-1.7	-0.7	-1.3

Tab. 5-20: Gegenüberstellung der Standardabweichungen für die Zustände Tag und Nacht mit Leitschienen und niedrigen Baken bei Tempolimit 80 km/h

Kommentar:

- Wie bei der Anordnung von Baken ist auch bei jener mit Leitschienen die Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung in Richtung des Baustellenbeginns auf dem NS sowohl am Tag als auch in der Nacht gleichmässig. Auf dem ÜS bestehen Unregelmässigkeiten, vor allem nachts.
- Im Bereich der Überleitung des ÜS (QS5 bis QS7) sind die S bei der Anordnung von Leitschienen nachts um ca. 1 – 2 km/h grösser als am Tag.
- Auch in dieser Aufstellung fällt nachts der oben erwähnte starke Rückgang der Streuung zwischen QS3 und QS4 auf dem ÜS auf (die Differenz der beiden Werte beträgt 6.3 km/h). Eine ähnliche Veränderung wurde auch bei der Anordnung mit den hohen Baken festgestellt, wobei sie dort zwischen QS2 und QS3 stattfand.

5.2.1.2. Geschwindigkeitsverlauf

Analog zu Kapitel 5.1.1.2. werden die Veränderungen im Geschwindigkeitsverlauf aufgrund der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen ausgewählten Messquerschnitten und den daraus resultierenden mittleren Beschleunigungen untersucht. Wie zuvor bei der Geschwindigkeitsverteilung werden auch für den Geschwindigkeitsverlauf der Einfluss der Tempolimite, der Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag und bei Nacht sowie die Verläufe bei Tag und bei Nacht verglichen. Die Betrachtung erfolgt jeweils für die Gruppe aller Fahrzeuge.

• Einfluss der Tempolimite

In der Abbildung 5-12 sind die Geschwindigkeitsverläufe aller Fahrzeuge bei signalisierten Tempolimiten von 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten) beim Einsatz von hohen Baken dargestellt. Angegeben sind jeweils die mittlere Geschwindigkeit (V_m) sowie die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) für den NS und den ÜS. Die Punkte markieren die Lage der Messquerschnitte (QS).

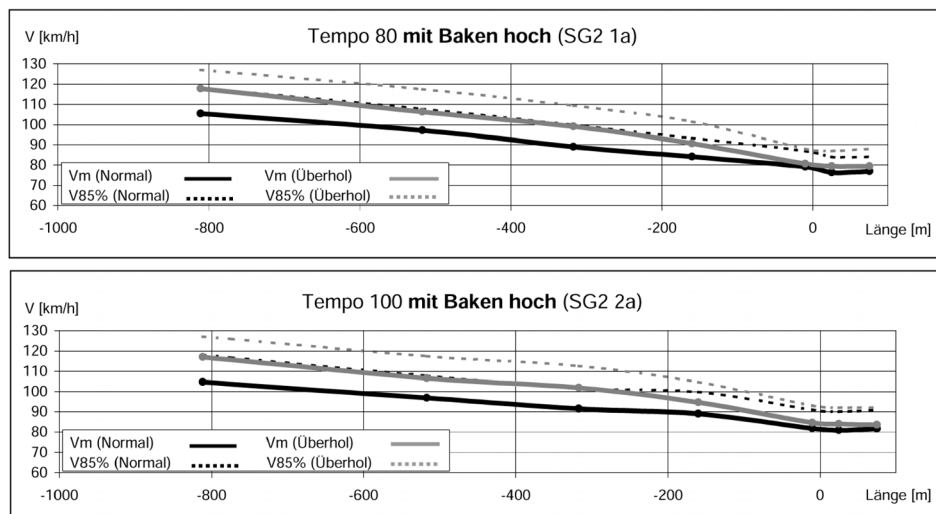


Abb. 5-12: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten) mit hohen Baken

Bei beiden Verläufen erkennt man eine gleichmässige Verzögerung im Bereich der Zufahrt. Bis zum Messquerschnitt QS3 (-317 m) findet eine nahezu identische Verringerung der Geschwindigkeiten statt.

Ausgehend von einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 105 km/h, nimmt die Geschwindigkeit in beiden Fällen auf dem Normalfahrstreifen bis zum Querschnitt QS₃ auf ca. 90 km/h ab. Parallel dazu verringert sich die mittlere Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen von ca. 117 km/h auf ca. 100 km/h. Im Querschnitt QS₃ wird im ersten Fall eine zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h signalisiert. Dies führt im weiteren Verlauf zu einer etwas stärkeren Reduktion der Geschwindigkeit als im Falle der Signalisierung einer Tempolimite von 100 km/h. Auf Höhe der Überleitung kann für die Anordnung mit Tempolimite 80 km/h eine durchschnittliche V_m von ca. 77 km/h für den NS und ca. 80 km/h für den ÜS festgestellt werden. Bei der Signalisierung einer Tempolimite von 100 km/h liegen diese Geschwindigkeiten mit ca. 81 km/h für den NS und ca. 84 km/h für den ÜS jeweils um ca. 4 km/h über den Werten bei Tempolimite 80 km/h.

Die Tabelle 5-21 ermöglicht die Beurteilung der Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Erhebungsquerschnitten. Im oberen Teil sind die mittleren Geschwindigkeiten für den Normalfahrstreifen (NS) dargestellt, im unteren Teil die Geschwindigkeiten für den Überholfahrstreifen (ÜS). Die Geschwindigkeitsunterschiede werden im rechten Bereich der Tabelle, getrennt nach Zufahrt und Überleitung, aufgeführt. $V_{1/4}$ gibt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Querschnitten QS₁ und QS₄ und $V_{5/7}$ die Differenz zwischen den Querschnitten QS₅ und QS₇. Neben den Geschwindigkeitsunterschieden werden die entsprechenden Werte (a_m) der Beschleunigung (-) oder Verzögerung (+) angegeben.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]										Zufahrt		Überleitung	
hohe Baken (SG2 1a und 2a)													
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m	
100	NS	104.6	96.8	91.5	89.1	81.8	80.9	81.7	15.5	0.18	0.1	0.01	
80	NS	105.4	97.2	89.1	84.1	79.1	76.4	77.0	21.3	0.24	2.1	0.15	
	ΔV	-0.8	-0.4	2.4	5.0	2.7	4.5	4.7					
100	ÜS	117.0	106.5	101.8	94.6	84.6	84.0	83.6	22.4	0.28	1.0	0.08	
80	ÜS	117.7	106.3	99.0	90.6	80.6	79.5	79.5	27.1	0.33	1.1	0.08	
	ΔV	-0.7	0.2	2.8	4.0	4.0	4.5	4.1					

Tab. 5-21: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 km/h und 80 km/h mit hohen Baken

Kommentar:

- Die V_m -Werte bei Tempolimite 80 km/h sind ab der Geschwindigkeitsanzeige (QS₃) auf beiden Fahrstreifen um ca. 2.5 bis 5.0 km/h tiefer als bei der Anordnung von Tempolimite 100 km/h. In der Überleitung liegen die V_m -Werte auf dem ÜS auch bei der Anordnung von Tempolimite 80 km/h bei oder unter den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.
- Sowohl für den NS als auch für den ÜS lässt sich im Bereich der Zufahrt ($\Delta V_{1/4}$) bei Tempolimite 80 km/h eine grössere Geschwindigkeitsdifferenz feststellen als bei Tempolimite 100 km/h. Dies zeigt sich auch durch eine stärkere Verzögerung in diesem Bereich. Diese Verzögerung wird hauptsächlich im Bereich zwischen den Querschnitten QS₃ und QS₄ vollzogen.
- Auf dem Normalfahrstreifen (NS) findet auch auf Höhe der Überleitung ($\Delta V_{5/7}$), bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h, eine grössere Reduktion der Geschwindigkeit statt (2.1 km/h). Bei Tempolimite 100 km/h tritt in diesem Bereich eine konstante Geschwindigkeit von durchschnittlich ca. 81 km/h auf.
- Bezüglich der Geschwindigkeitsdifferenz können während der Überleitung für den Überholfahrstreifen (ÜS) keine Unterschiede zwischen den zwei Tempolimiten festgestellt werden. In beiden Fällen erfolgt eine Verzögerung von 0.08 m/s².

Unter identischen Voraussetzungen wurden auch Daten beim Einsatz von Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken erhoben. Auch hier sind die Geschwindigkeiten in der folgenden Abbildung, unterteilt nach den vorliegenden Tempolimiten, dargestellt.

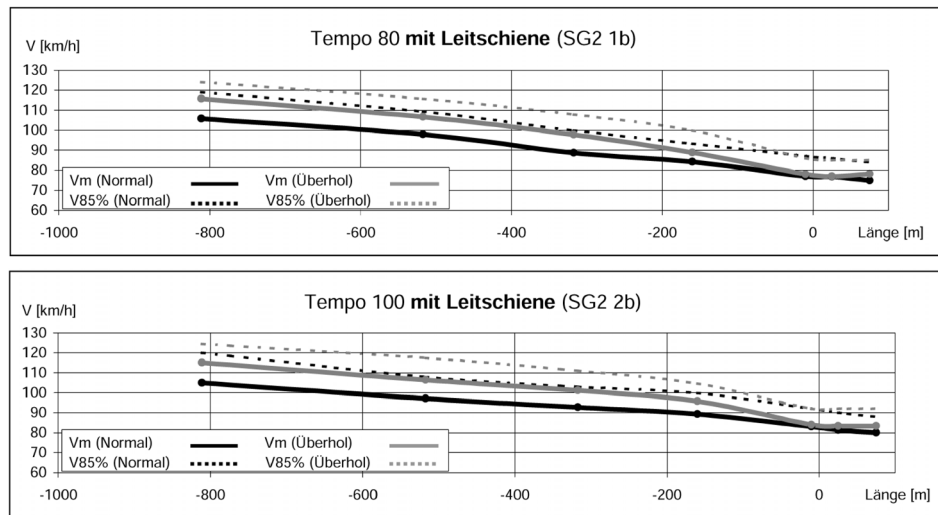


Abb. 5-13: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimiten 80 km/h und 100 km/h mit Leitschiene und niedrigen Baken

Wie beim Einsatz der hohen Baken stellt sich auch mit einer Leitschiene und niedrigen Baken für beide Tempolimiten eine gleichmässige Abnahme der Geschwindigkeiten im Bereich der Zufahrt ein. Diesmal findet jedoch schon vor der Signalisierung der zulässigen Geschwindigkeit (QS_3) eine Reduktion der mittleren Geschwindigkeit auf dem NS und dem ÜS statt. Die mittlere Geschwindigkeit liegt hier auf dem NS bereits ca. 4 km/h (für ÜS ca. 3,5 km/h) unter jener bei Tempolimiten 100 km/h. Bei der Anordnung mit hohen Baken betrug diese Differenz für den NS nur ca. 2,5 km/h (für ÜS ca. 3 km/h).

Im weiteren Verlauf findet allgemein eine weitere und auf dem ÜS ausgeprägtere Abnahme der Geschwindigkeiten statt. Bis zum Bereich der Überleitung reduziert sich die mittlere Geschwindigkeit bei Tempolimiten 80 km/h auf ca. 77 km/h für den NS und 78 km/h für den ÜS und bei Tempolimiten 100 km/h auf 83 km/h für den NS und 84 km/h für den ÜS.

Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten sowie der Geschwindigkeitsdifferenzen und Verzögerungen bzw. Beschleunigungen in den einzelnen Abschnitten kann analog zur Betrachtung der Ergebnisse mit hohen Baken in der Tabelle 5-22 vorgenommen werden.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]									Zufahrt		Überleitung	
Leitschiene (SG2 1b und 2b)												
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m
100	NS	104.9	97.1	92.8	89.3	83.0	81.4	80.0	15.6	0.18	3.0	0.22
80	NS	105.8	97.9	88.7	84.2	76.9	76.8	74.8	21.6	0.24	2.1	0.14
	ΔV	-0.9	-0.8	4.1	5.1	6.1	4.6	5.2				
100	ÜS	115.1	106.3	101.1	95.7	84.0	83.3	83.3	19.4	0.24	0.7	0.05
80	ÜS	115.8	106.7	97.7	88.9	78.0	77.0	78.2	26.9	0.33	-0.2	-0.01
	ΔV	-0.7	-0.4	3.4	6.8	6.0	6.3	5.1				

Tab. 5-22: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h mit Leitschiene und niedrigen Baken

Kommentar:

- Die V_m -Werte bei Tempolimiten 80 km/h sind ab der Geschwindigkeitsanzeige (QS_3) auf beiden Fahrstreifen um ca. 3,5 bis 7,0 km/h tiefer als bei der Anordnung von Tempolimiten 100 km/h. In der Überleitung liegen die V_m -Werte auf dem ÜS auch bei der Anordnung von Tempolimiten 80 km/h unter den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.
- Für beide Fahrstreifen findet im Bereich der Zufahrt ($\Delta V_{1/4}$) bei Tempolimiten 80 km/h eine wesentlich grössere Reduktion der Geschwindigkeiten als bei Tempolimiten 100 km/h statt. Diese erreicht auf dem NS über 21 km/h und auf dem ÜS ca. 27 km/h. Im Vergleich dazu wird die Geschwindigkeit bei Tempolimiten 100 km/h auf dem NS nur um ca. 16 km/h und auf dem ÜS um ca. 19 km/h reduziert.

- Im Bereich der Überleitung ist für den ÜS bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h sogar eine geringfügige Beschleunigung (-0.01 m/s^2) zu verzeichnen. In allen anderen Fällen wird in diesem Bereich verzögert.

- *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag*

Der Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag ist aus Abbildung 5-14 ersichtlich. Abgebildet sind die Geschwindigkeitsverläufe der mittleren Geschwindigkeit und der $V_{85\%}$ für die beiden Fahrstreifen und die zwei verschiedenen Leiteinrichtungen. Der Einflussbereich der Leiteinrichtungen beschränkt sich auf den Bereich der Überleitung (QS5 bis QS7) sowie den Bereich unmittelbar davor (QS4). Da der NS von der Überleitung quasi nicht beeinflusst wird, ist der ÜS hier von besonderem Interesse. Dieser relevante Bereich ist in den folgenden Tabellen jeweils grau hinterlegt.

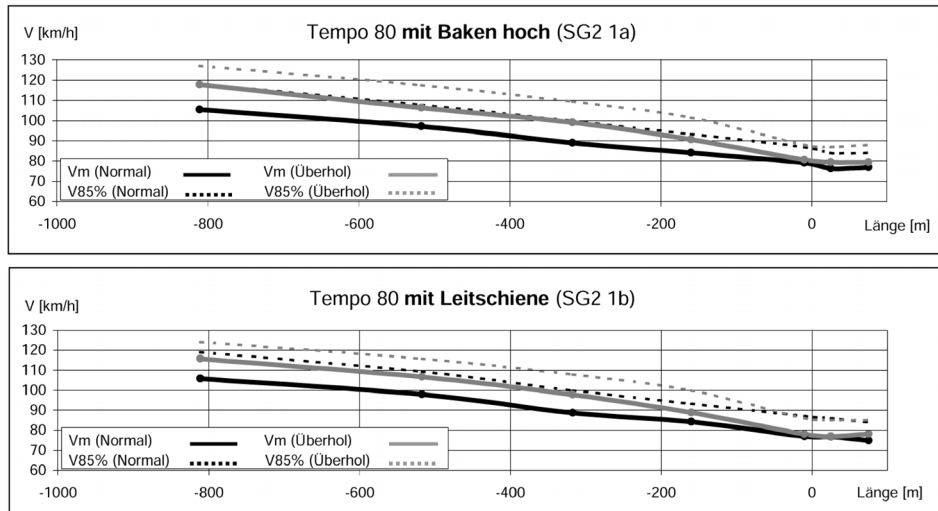


Abb. 5-14: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen mit niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung

Die mittleren Geschwindigkeiten nehmen, unabhängig von der Art der Leiteinrichtung, bei Tempolimit 80 km/h im Verlauf der Zufahrt gleichmässig ab. Sie reduzieren sich auf dem Normalfahrstreifen, unabhängig von der Leiteinrichtung, bis zum Messquerschnitt QS4 auf ca. 84 km/h. Auf dem Überholfahrstreifen verringert sich die Geschwindigkeit im selben Bereich auf ca. 91 km/h mit hohen Baken und auf ca. 89 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken.

Der Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten in der Tabelle 5-23 bestätigt diesen Verlauf.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s^2]									Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80 bei Tag (SG2 1a und 1b)												
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m
Baken	NS	105.4	97.2	89.1	84.1	79.1	76.4	77.0	21.3	0.24	2.1	0.15
Leitschiene	NS	105.8	97.9	88.7	84.2	76.9	76.8	74.8	21.6	0.24	2.1	0.14
	ΔV	-0.4	-0.7	0.4	-0.1	2.2	-0.4	2.2				
Baken	ÜS	117.7	106.3	99.0	90.6	80.6	79.5	79.5	27.1	0.33	1.1	0.08
Leitschiene	ÜS	115.8	106.7	97.7	88.9	78.0	77.0	78.2	26.9	0.33	-0.2	-0.01
	ΔV	1.9	-0.4	1.3	1.7	2.6	2.5	1.3				

Tab. 5-23: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Die V_m -Werte bei der Geschwindigkeitsanzeige 80 km/h (QS3) liegen bei der Anordnung mit Leitschienen leicht tiefer als bei hohen Baken, in der Überleitung (QS5 bis QS7) ist dies noch deutlicher. Bei beiden Anordnungen liegen die V_m -Werte in der Überleitung bei oder unter den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.
- Im Bereich der Querschnitte QS5 bis QS7 findet sowohl beim Einsatz von hohen Baken als auch bei Leitschienen mit niedrigen Baken eine deutlich geringere Verzögerung statt als im Zufahrtsbereich.

- Im massgebenden Bereich der Überleitung zwischen den Querschnitten QS4 bis QS7 auf dem ÜS (grau hinterlegt) liegen die mittleren Geschwindigkeiten bei der Anordnung mit Leitschienen im Durchschnitt ca. 2 km/h unter den Geschwindigkeiten bei hohen Baken. In der eigentlichen Überleitung sind die V_m -Werte praktisch konstant.

Im Folgenden werden Veränderungen aufgrund der Variation der Leiteinrichtungen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h betrachtet. Die entsprechenden Geschwindigkeitsverläufe sind in Abbildung 5-15 dargestellt.

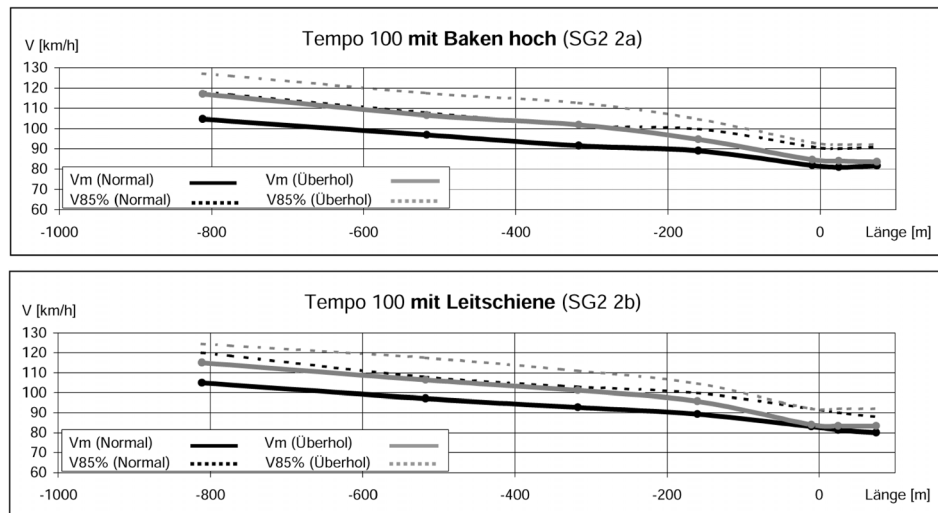


Abb. 5-15: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 100 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen mit niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung

Für Tempolimite 100 km/h ergibt sich ein ähnlicher Geschwindigkeitsverlauf für die beiden Leiteinrichtungen wie bei Tempolimite 80 km/h. Die Verläufe der Geschwindigkeiten nehmen unabhängig von der baulichen Ausführung der Leiteinrichtung im Bereich der Zufahrt (bis QS4, -160 m) kontinuierlich ab. Für den Normalfahrstreifen bedeutet dies eine Verzögerung von ca. 105 km/h auf ca. 89 km/h und für den Überholfahrstreifen eine Verzögerung von mittleren Geschwindigkeiten über 115 km/h auf Geschwindigkeiten von unter 96 km/h.

In Tabelle 5-24 werden die mittleren Geschwindigkeiten bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h verglichen. Sowohl für den Bereich der Zufahrt als auch für den Bereich der Überleitung können Ergebnisse anhand der Geschwindigkeitsdifferenzen und Grössen der Verzögerung abgeleitet werden.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]									Zufahrt		Überleitung	
Tempo 100 bei Tag (SG2 2a und 2b)												
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m
Baken	NS	104.6	96.8	91.5	89.1	81.8	80.9	81.7	15.5	0.18	0.1	0.01
Leitschiene	NS	104.9	97.1	92.8	89.3	83.0	81.4	80.0	15.6	0.18	3.0	0.22
	ΔV	-0.3	-0.3	-1.3	-0.2	-1.2	-0.5	1.7				
Baken	ÜS	117.0	106.5	101.8	94.6	84.6	84.0	83.6	22.4	0.28	1.0	0.08
Leitschiene	ÜS	115.1	106.3	101.1	95.7	84.0	83.3	83.3	19.4	0.24	0.7	0.05
	ΔV	1.9	0.2	0.7	-1.1	0.6	0.7	0.3				

Tab. 5-24: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Die V_m -Werte bei der Geschwindigkeitsanzeige 100 km/h (QS3) liegen bei der Anordnung mit Leitschienen auf dem NS höher, auf dem ÜS leicht tiefer als bei hohen Baken. Bei beiden Anordnungen liegen die V_m -Werte im Bereich der Überleitung deutlich unter den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten.

- Entsprechend den unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten und der Tatsache, dass sich die V_m -Werte im Bereich der Überleitung auf den zwei Fahrstreifen nur wenig unterscheiden, sind die mittleren Verzögerungen zwischen QS₁ und QS₄ auf dem ÜS grösser als jene auf dem NS.
- Auf dem ÜS wird bei der Anordnung mit hohen Baken sowohl in der Zufahrt (QS₁ bis QS₄) als auch in der Überleitung (QS₅ bis QS₇) stärker verzögert als bei Leitschienen. Die deutlichsten Verzögerungen treten bei beiden Anordnungen zwischen QS₄ und QS₅ auf.
- Im massgebenden Bereich der Überleitung (QS₄ bis QS₇) auf dem ÜS (grau hinterlegt) liegen die mittleren Geschwindigkeiten bei der Anordnung mit Leitschienen zunächst höher, danach leicht tiefer als bei hohen Baken. In der eigentlichen Überleitung (QS₅ bis QS₇) sind die V_m -Werte bei beiden Anordnungen praktisch konstant.
- In der Überleitung (QS₅ bis QS₇) ist die V_m bei der Anordnung mit Leitschienen auf dem NS zunächst höher, am Ende deutlich tiefer; auf dem ÜS war sie leicht tiefer als bei hohen Baken.

• Einfluss der Leiteinrichtungen bei Nacht

Während der Nacht wurden Erhebungen sowohl für die Anordnung von hohen Baken als auch für die Anordnung von Leitschienen mit niedrigen Baken durchgeführt.

Auch hier wird den Messquerschnitten QS₄ bis QS₇ auf dem Überholfahrstreifen besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da diese direkt durch die Leiteinrichtung beeinflusst werden. In den folgenden Tabellen ist dieser Bereich grau hinterlegt. Des Weiteren ist bei diesen Versuchen besonders zu berücksichtigen, dass der Normalfahrstreifen erst im Bereich des Querschnitts QS₇ verschwenkt und eingengt wird. Die Verschwenkung erfolgt nach jener des Überholfahrstreifens (siehe Abbildung 5-16). Vor allem bei Nacht kann diese nicht extra beleuchtete Verschwenkung zu Verzögerungen in ihrem Vorfeld führen. Die Verschwenkung des rechten Fahrstreifens war nicht durch ein separates Verkehrssignal angekündigt.



Abb. 5-16: Verschwenkung des Normalfahrstreifens nach der Mittelstreifenüberfahrt

Sämtliche Erhebungen bei Nacht erfolgten bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Der Überleitungsbereich war beleuchtet. In der Abbildung 5-17 sind die Geschwindigkeitsverläufe für beide Leiteinrichtungen dargestellt.

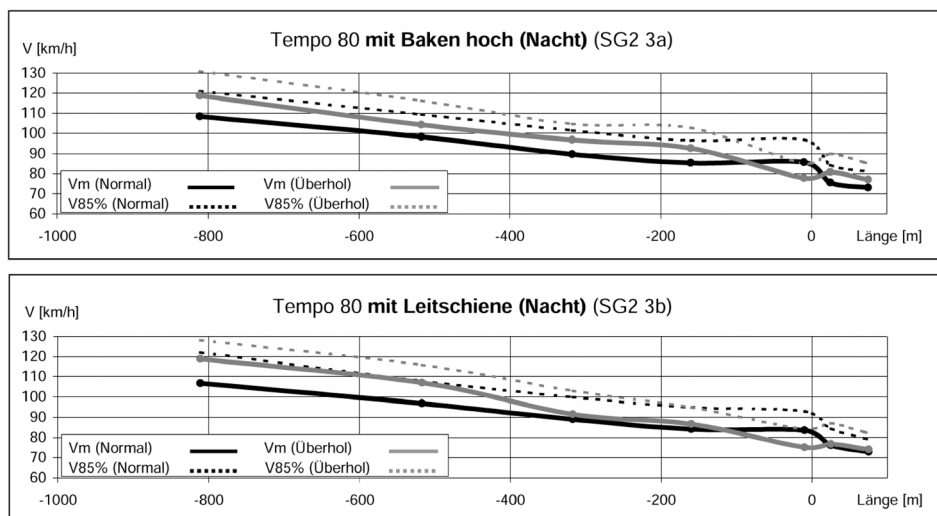


Abb. 5-17: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung bei Nacht

Im *Zufahrtsbereich* (QS₁ bis QS₄) nehmen die mittleren Geschwindigkeiten V_m auf dem NS bei beiden Anordnungen gleichmässig ab; sie liegen bei Leitschienen leicht tiefer als bei hohen Baken. Auf dem ÜS

ist der V_m -Verlauf bei hohen Baken gleichmässig, bei Leitschienen wird zwischen QS2 und QS3 stärker verzögert, sodass auf beiden Fahrstreifen beinahe die gleichen V_m -Werte resultieren. Wie aus der obigen Abbildung ersichtlich, erfolgt die Geschwindigkeitsanpassung an die Überleitung des ÜS bei der Anordnung mit Leitschienen frühzeitiger als bei hohen Baken. Dies ist insofern überraschend, als die hohen Baken mit ihren grösseren retroreflektierenden Flächen bei Dunkelheit auffälliger und aus grösserer Entfernung sichtbar sind als die Leitschienen mit niedrigen Baken.

Vor und in der *Überleitung* (QS4 bis QS7) resultieren bei beiden Anordnungen ungleichmässige, in der Tendenz jedoch ähnliche Geschwindigkeitsverläufe: Auf Höhe der Überleitung kommt es dazu, dass in beiden Fällen die Geschwindigkeit auf dem Normalfahrstreifen im Messquerschnitt QS5 (-10 m) über der auf dem Überholfahrstreifen gefahrenen mittleren Geschwindigkeit liegt. Dies kann auf die Anordnung der Fahrstreifenverschwenkungen zurückgeführt werden. Während der ÜS bereits verschwenkt wird, steht den Fahrzeugen auf dem NS noch die normale Fahrstreifenbreite in unveränderter Lage zur Verfügung. Erst im Querschnitt QS7 wird der NS verschwenkt und in seiner Breite reduziert. Aus diesem Grund tritt zwischen den Messquerschnitten QS5 und QS6 bei beiden Anordnungen eine ausgeprägte Verzögerung (durchschnittlich 1.8 m/s² bei Baken, 1.3m/s² bei Leitschienen) auf. Sowohl die Verzögerung des NS, als auch die Verzögerung des ÜS können anhand der Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung (vgl. Tab. 5-18) im Bereich der entsprechenden Querschnitte erkannt werden.

Die Tabelle 5-25 ermöglicht den Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen und Beschleunigungen der Bereiche Zufahrt und Überleitung.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]									Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80 bei Nacht (SG2 3a und 3b)												
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m
Baken	NS	108.3	98.2	89.6	85.4	85.7	75.6	73.1	22.9	0.26	12.6	0.91
Leitschiene	NS	106.7	96.8	89.0	84.1	83.5	76.1	72.9	22.6	0.26	10.6	0.75
	ΔV	1.6	1.4	0.6	1.3	2.2	-0.5	0.2				
Baken	ÜS	118.8	104.2	96.8	92.7	77.8	80.7	77.1	26.1	0.33	0.7	0.05
Leitschiene	ÜS	118.8	106.9	91.4	86.6	75.1	76.7	74.0	32.2	0.39	1.1	0.07
	ΔV	0.0	-2.7	5.4	6.1	2.7	4.0	3.1				

Tab. 5-25: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken und. mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Nacht

Kommentar:

- Generell können sowohl für den NS als auch für den ÜS bei der Anordnung von hohen Baken geringfügig höhere Geschwindigkeiten während der Nacht festgestellt werden als bei Leitschienen. Auf dem ÜS ergaben sich in den Messquerschnitten QS3 und QS4 bis ca. 6 km/h höhere V_m als bei der Verwendung von Leitschienen.
- Ausgehend von einer mittleren Geschwindigkeit auf dem Normalfahrstreifen von ca. 107 km/h nimmt die Geschwindigkeit bis zum Ende der Zufahrt (QS4) um ca. 23 km/h ab, was einer Verzögerung von 0.26 m/s² für beide Leitsysteme entspricht. Auf dem Überholfahrstreifen ergab sich für diesen Bereich die bereits erwähnte, stärkere Verzögerung beim Einsatz der Leitschienen. Im Vergleich zur Ausstattung mit hohen Baken nimmt die mittlere Geschwindigkeit bei Leitschienen um ca. 6 km/h mehr, auf ca. 87 km/h ab.
- Nach der gleichmässigen Verzögerung im Bereich der Zufahrt findet *auf dem ÜS* bei Nacht eine deutliche Verzögerung vor dem Überleitungsbereich statt. Zwischen QS4 und QS5 wird die Geschwindigkeit bei beiden Anordnungen um ca. 15 bis 16 km/h verringert. Anschliessend wird bei beiden Anordnungen leicht beschleunigt.
- Im massgebenden Bereich von QS4 bis QS7 treten auf dem ÜS durchwegs höhere Geschwindigkeiten beim Einsatz von hohen Baken auf: Im Durchschnitt wird ca. 4 km/h schneller gefahren als bei der baulichen Ausführung mit Leitschienen.
- *Auf dem NS* wird zwischen QS5 und QS6 stark verzögert. Es entstehen Differenzen von ca.10 km/h bei Baken und ca. 7 km/h bei Leitschienen. Infolge der vorausliegenden Verschwenkung wird auch zwischen QS6 und QS7 leicht verzögert.

- *Vergleich Tag / Nacht*

Um den Einfluss der Tageszeit auf den Geschwindigkeitsverlauf zu überprüfen, werden sowohl für die Ausführung mit hohen Baken als auch für die Ausführung mit Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken die Geschwindigkeitsverläufe bei Tempolimit 80 km/h für eine Erhebung am Tag und eine Erhebung in der Nacht verglichen. In Abbildung 5-18 erfolgt dieser Vergleich mit der Anordnung von hohen Baken.

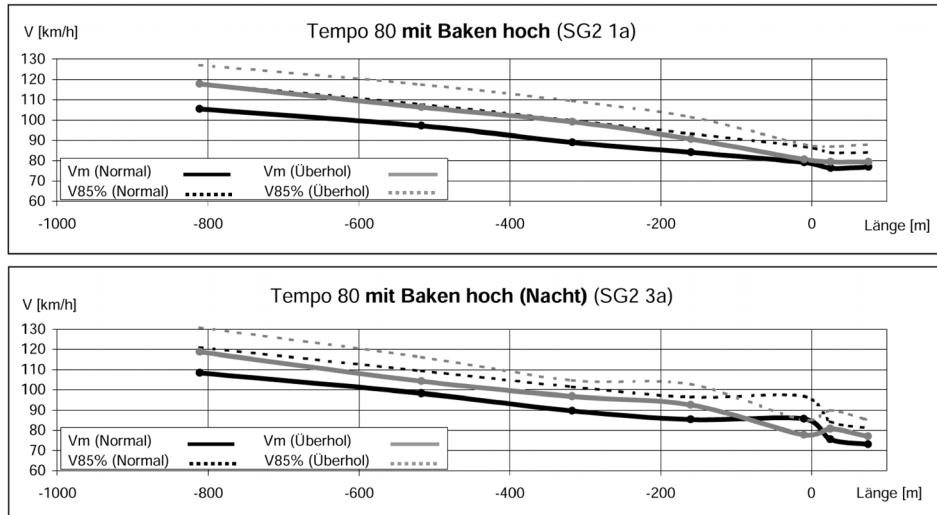


Abb. 5-18: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht

Beim Vergleich der Verläufe der mittleren Geschwindigkeiten *in der Zufahrt* zeigt sich, dass diese bei der Anordnung von hohen Baken während der Nacht geringfügig höher sind als am Tag. Am Ende der Zufahrt liegen die Geschwindigkeiten auf dem NS bei ca. 84 km/h am Tag und bei ca. 85 km/h in der Nacht und auf dem ÜS bei ca. 91 km/h am Tag und ca. 93 km/h in der Nacht. Vor der Überleitung ist *auf dem ÜS* die bereits erwähnte, stärkere Verzögerung, bedingt durch die Verschwenkung des ÜS, festzustellen. *Auf dem NS* wird in diesem Abschnitt bei Nacht sogar leicht beschleunigt, was dazu führt, dass die mittlere Geschwindigkeit des NS im QS6 ca. 8 km/h über jener des ÜS liegt. Die darauf folgende Verschwenkung des NS bewirkt bei Nacht die erwähnte, ausgeprägte Verzögerung zwischen den Messquerschnitten QS5 und QS6. In diesem Bereich ergibt sich eine mittlere Verzögerung von ca. 1.8 m/s². Nach der Überleitung liegen die in der Nacht festgestellten Geschwindigkeiten etwas unter denjenigen bei Tag.

Die Daten zum Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten am Tag und in der Nacht können der Tabelle 5-26 entnommen werden. Der relevante Bereich für den Einfluss der Leiteinrichtung ist grau hinterlegt.

V _{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a _m [m/s ²]									Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80 mit Baken (SG2 1a und 3a)												
Tageszeit	QS	1	2	3	4	5	6	7	ΔV _{1/4}	a _m	ΔV _{5/7}	a _m
Tag	NS	105.4	97.2	89.1	84.1	79.1	76.4	77.0	21.3	0.24	2.1	0.15
Nacht	NS	108.3	98.2	89.6	85.4	85.7	75.6	73.1	22.9	0.26	12.6	0.91
	ΔV	-2.9	-1.0	-0.5	-1.3	-6.6	0.8	3.9				
Tag	ÜS	117.7	106.3	99.0	90.6	80.6	79.5	79.5	27.1	0.33	1.1	0.08
Nacht	ÜS	118.8	104.2	96.8	92.7	77.8	80.7	77.1	26.1	0.33	0.7	0.05
	ΔV	-1.1	2.1	2.2	-2.1	2.8	-1.2	2.4				

Tab. 5-26: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht

Kommentar:

- Die gemessenen Geschwindigkeiten sind in der Nacht auf dem NS im Bereich der Zufahrt kontinuierlich grösser als am Tag, am Beginn der Überleitung sogar um ca. 6 km/h. Für den ÜS lässt sich keine so eindeutige Tendenz erkennen.
- Auf Höhe der Überleitung findet, bedingt durch die anschliessende Verschwenkung auf dem NS, bei Nacht eine stärkere Verzögerung statt (0.91 m/s²).

- Die Geschwindigkeiten auf dem ÜS verringern sich in der Nacht, bedingt durch die Überleitung, schon zwischen den Messquerschnitten QS4 (-160 m) und QS5 (-10 m) um ca. 15 km/h.
- Im Bereich der QS4 bis QS7 des ÜS fällt eine Geschwindigkeitsreduktion von ca. 11 km/h am Tag und ca. 16 km/h in der Nacht auf, wobei es nachts zwischen QS5 und QS6 zu einer zwischenzeitigen Beschleunigung von ca. 3 km/h kommt.
- Wie bereits aus Abbildung 5-18 ersichtlich, sind die Unterschiede der Geschwindigkeitsverläufe am Tag und nachts im Bereich der Querschnitte QS4 und QS7 frappant. Die Ungleichmässigkeit der Verläufe deutet auf örtliche Mängel in der optischen Führung bei Dunkelheit hin.

Analog zu der Betrachtung der Ergebnisse bei der Verwendung hoher Baken, werden nachfolgend die Veränderungen beim Einsatz von Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken geprüft. In der Abbildung 5-19 sind die Ergebnisse der Untersuchungen am Tag denjenigen bei Nacht gegenübergestellt.

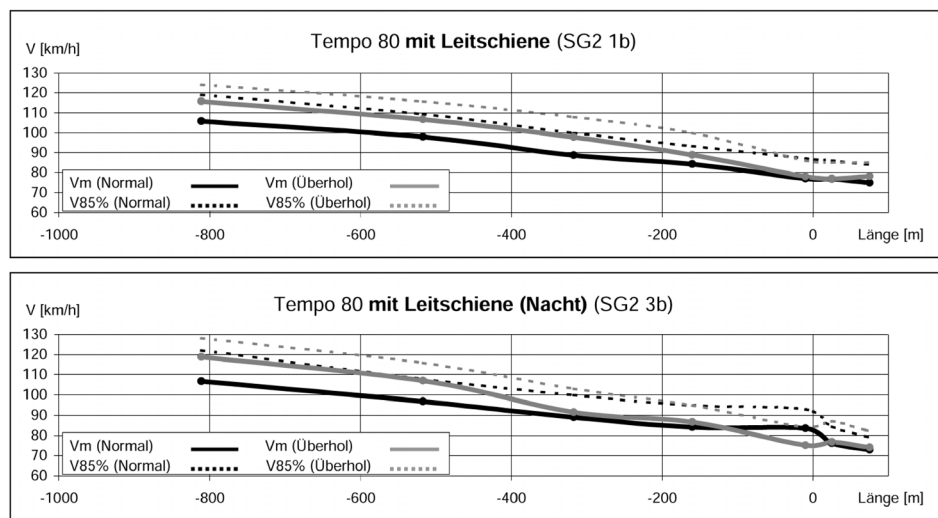


Abb. 5-19: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung am Tag (oben) und bei Nacht (unten)

Die Verläufe verhalten sich ähnlich zu denen, welche bei der Verwendung von hohen Baken festgestellt wurden. Im Bereich der Querschnitte vor und in der Überleitung sind sie jedoch bei Nacht weniger ausgeprägt als bei der Anordnung von hohen Baken. *Auf dem ÜS* findet bei Nacht bereits 400 Meter vor dem Beginn der Überleitung eine erste Anpassung der Geschwindigkeit statt, während diese bei der Anordnung mit hohen Baken erst ca. 200m vor der Überleitung erfolgte.

Die Tabelle 5-27 bietet wiederum den Vergleich der Verzögerungen bzw. Beschleunigungen und Geschwindigkeitsdifferenzen der Bereiche Zufahrt und Überleitung.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]									Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80 mit Leitschiene (SG2 1b und 3b)												
Tageszeit	QS	1	2	3	4	5	6	7	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/7}$	a_m
Tag	NS	105.8	97.9	88.7	84.2	76.9	76.8	74.8	21.6	0.24	2.1	0.14
Nacht	NS	106.7	96.8	89.0	84.1	83.5	76.1	72.9	22.6	0.26	10.6	0.75
	ΔV	-0.9	1.1	-0.3	0.1	-6.6	0.7	1.9				
Tag	ÜS	115.8	106.7	97.7	88.9	78.0	77.0	78.2	26.9	0.33	-0.2	-0.01
Nacht	ÜS	118.8	106.9	91.4	86.6	75.1	76.7	74.0	32.2	0.39	1.1	0.07
	ΔV	-3.0	-0.2	6.3	2.3	2.9	0.3	4.2				

Tab. 5-27: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht

Kommentar:

- Unabhängig von der Tageszeit kann im Bereich der Zufahrt für den NS eine homogenere Verzögerung festgestellt werden als für den ÜS.

- Auf dem ÜS beginnt die stärkere Reduktion der mittleren Geschwindigkeit bei Nacht bereits zwischen Messquerschnitt QS2 und QS3. Beim QS3 befinden sich das Geschwindigkeitssignal sowie der letzte Wegweiser zur Autobahnausfahrt.
- Die Verzögerungen vor und in der Überleitung (QS4 bis QS7) sind auf beiden Fahrstreifen nachts deutlich grösser als am Tag; dies war bei der Anordnung mit hohen Leitbaken (in einem noch deutlicheren Ausmass) auch der Fall.
- Wie bei den hohen Baken muss auch bei der Anordnung von Leitschienen auf die auffälligen Unterschiede der Geschwindigkeitsverläufe am Tag und in der Nacht im Bereich der Querschnitte QS4 und QS7 hingewiesen werden. Sie deuten auf örtliche Mängel in der optischen Führung bei Dunkelheit hin.

- *Einfluss auf schnell fahrende Fahrzeuge*

Die Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge wird durch die Kenngrösse $V_{85\%}$ beschrieben. Ziel der Gestaltung der Zufahrtsbereiche ist weiterhin die Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung und des Geschwindigkeitsverlaufs. Um dieses Ziel zu erreichen, sollte versucht werden, die Geschwindigkeit dieser Fahrzeuggruppe zu reduzieren, um die Geschwindigkeitsstreuung zu vermindern und das abrupte Verzögern zu verhindern.

Die Betrachtung der schnell fahrenden Fahrzeuge erfolgt in den folgenden Tabellen. Es werden jeweils getrennt nach Fahrstreifen (NS /ÜS) die Geschwindigkeiten ($V_{85\%}$) an den einzelnen Messquerschnitten (QS) angegeben. Zusätzlich ist die Lage der Elemente, welche einen Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten ausüben können, dargestellt.

In Tabelle 5-28 wird der *Einfluss der Tempolimite* auf die $V_{85\%}$ bei der Anordnung mit hohen Baken (links) und mit Leitschienen (rechts) überprüft. Wesentlich für den Geschwindigkeitsverlauf ist die Lage der Geschwindigkeitssignale. Für die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 bzw. 80 km/h war diese Signalisierung am Messquerschnitt QS3 angeordnet (317 Meter vor dem Beginn der Überleitung). Die Ergebnisse beziehen sich auf Messungen am Tag.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] hohe Baken (SG2 1a und 2a)								
	Lage:	Anzeige100		Anzeige100/80		Überleitung		
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7
100	NS	118.0	107.8	101.4	99.8	91.0	90.0	91.0
80	NS	118.0	107.8	99.8	93.3	87.0	84.0	84.0
	ΔV	0.0	0.0	1.6	6.5	4.0	6.0	7.0
100	ÜS	127.0	117.5	112.6	104.6	93.0	92.0	92.0
80	ÜS	127.0	117.5	109.4	101.4	88.0	87.0	88.0
	ΔV	0.0	0.0	3.2	3.2	5.0	5.0	4.0

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Leitschiene (SG2 1b und 2b)								
	Lage:	Anzeige100		Anzeige100/80		Überleitung		
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7
100	NS	120.0	107.8	103.0	99.8	92.0	90.1	88.0
80	NS	119.0	109.4	99.8	93.3	87.0	86.0	84.0
	ΔV	1.0	-1.6	3.2	6.5	5.0	4.1	4.0
100	ÜS	124.5	117.5	111.0	104.6	92.0	92.0	92.0
80	ÜS	124.0	115.8	107.8	99.8	86.0	85.0	85.0
	ΔV	0.5	1.7	3.2	4.8	6.0	7.0	7.0

Tab. 5-28: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 und 100 km/h mit hohen Baken (links) und Leitschienen mit niedrigen Baken (rechts) als Leiteinrichtung

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass *bei hohen Baken* auf die Anzeige „80 km/h“ auf dem NS erst beim QS4 reagiert wird ($V_{85\%}$ liegt 6.5 km/h tiefer als bei Tempolimite 100 km/h). Auf dem ÜS wird in QS3 und QS4 etwa gleich reagiert ($V_{85\%}$ jeweils 3.2 km/h tiefer als bei Tempolimite 100 km/h). Diese Feststellungen treffen auch für die Anordnung *mit Leitschienen* zu, allerdings wird dort bei QS3 auf die Anzeige etwas stärker reagiert.

Hinsichtlich der Geschwindigkeitswerte fällt auf, dass

- bei vergleichbaren Bedingungen (z.B. NS und Tempo 100) bei den zwei Anordnungen „hohe Baken“ und „Leitschienen“ über die Querschnitte QS2 bis QS7 praktisch die gleichen $V_{85\%}$ -Werte resultieren
- und dass – anders als bei der Untersuchungsstrecke SG1 mit Radarüberwachung – im Bereich der Überleitung in keinem der Fälle die niedrigere Tempolimite von 80 km/h eingehalten wird. Die $V_{85\%}$ -Werte liegen teilweise erheblich höher.

Der *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag* wird in der Tabelle 5-29 behandelt. Es werden diesmal getrennt nach Fahrstreifen, die $V_{85\%}$ für die Auswirkungen der baulichen Ausführung mit hohen Baken und jene mit Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken betrachtet. Dieser Vergleich erfolgt separat für die zulässigen Geschwindigkeiten von 80 km/h und 100 km/h. Ausschlaggebend sind auch hier wieder die Geschwindigkeiten, welche direkt durch die Art der Leiteinrichtung beeinflusst werden. Dies trifft für den Bereich der Messquerschnitte QS4 bis QS7 auf dem Überholfahrstreifen zu (in den folgenden Tabellen grau hinterlegt).

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempolimite 80 km/h, Tag (SG2 1a und 1b)								
Lage:	Anzeige100		Anzeige80		Überleitung			
Leiteinr.	QS	1	2	3	4	5	6	7
Baken	NS	118.0	107.8	99.8	93.3	87.0	84.0	84.0
Leitsch.	NS	119.0	109.4	99.8	93.3	87.0	86.0	84.0
	ΔV	-1.0	-1.6	0.0	0.0	0.0	-2.0	0.0
Baken	ÜS	127.0	117.5	109.4	101.4	88.0	87.0	88.0
Leitsch.	ÜS	124.0	115.8	107.8	99.8	86.0	85.0	85.0
	ΔV	3.0	1.7	1.6	1.6	2.0	2.0	3.0

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempolimite 100 km/h, Tag (SG2 2a und 2b)								
Lage:	Anzeige100		Anzeige100		Überleitung			
Leiteinr.	QS	1	2	3	4	5	6	7
Baken	NS	118.0	107.8	101.4	99.8	91.0	90.0	91.0
Leitsch.	NS	120.0	107.8	103.0	99.8	92.0	90.1	88.0
	ΔV	-2.0	0.0	-1.6	0.0	-1.0	-0.1	3.0
Baken	ÜS	127.0	117.5	112.6	104.6	93.0	92.0	92.0
Leitsch.	ÜS	124.5	117.5	111.0	104.6	92.0	92.0	92.0
	ΔV	2.5	0.0	1.6	0.0	1.0	0.0	0.0

Tab. 5-29: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten am Tag mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimite 80 (links) und 100 km/h (rechts)

Auf dem NS ergeben sich bei beiden Tempolimiten nur kleine und entlang der Querschnitte uneinheitliche Unterschiede zwischen den zwei Anordnungen. Demgegenüber sind die Unterschiede auf dem ÜS deutlicher, vor allem im Zufahrtsbereich. Hier wird bei beiden Tempolimiten im Zustand mit Leitschienen langsamer gefahren als im Zustand mit hohen Baken. Diese Unterschiede sind bei Tempolimite 80 km/h ausgeprägter und umfassen auch den Überleitungsbereich.

Die Tabelle 5-30 vergleicht schliesslich den Einfluss der Leiteinrichtungen bei Nacht und bei Tempolimite 80 km/h. Analog zu Tabelle 5-29 werden hier die $V_{85\%}$ beim Einsatz der beiden Arten von Leiteinrichtungen geprüft.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempolimite 80 km/h, Nacht (SG2 3a und 3b)								
Lage:	Anzeige100		Anzeige80		Überleitung			
Leiteinr.	QS	1	2	3	4	5	6	7
Baken	NS	121.0	109.4	101.4	96.5	97.0	84.3	81.0
Leitsch.	NS	122.0	107.8	99.8	94.9	93.0	84.3	79.0
	ΔV	-1.0	1.6	1.6	1.6	4.0	0.0	2.0
Baken	ÜS	130.9	116.2	104.6	102.7	85.0	90.0	85.0
Leitsch.	ÜS	128.1	115.8	103.0	94.9	84.0	87.0	82.0
	ΔV	2.8	0.4	1.6	7.8	1.0	3.0	3.0

Tab. 5-30: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten in der Nacht mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimite 80 km/h

Im Gegensatz zu den Geschwindigkeiten am Tag, lassen sich bei Nacht deutliche Unterschiede zwischen den zwei Arten von Leiteinrichtungen feststellen: Allgemein liegt die 85%ige Geschwindigkeit bei der Verwendung von hohen Baken über derjenigen bei Verwendung von Leitschienen. Die Unterschiede sind entlang der Messquerschnitte uneinheitlich und auf dem ÜS grösser als auf dem NS. Besonders fällt der Verlauf auf dem ÜS im Bereich vor der Überleitung auf: Die $V_{85\%}$ liegt im Messquerschnitt QS4 bei der Benutzung hoher Baken fast 8 km/h höher als bei Leitschienen. In der Folge muss die Geschwindigkeit zwischen QS4 und QS5 sehr stark angepasst werden, innerhalb von 150 m bei hohen Leitbaken um fast 18 km/h (bei Leitschienen nur um 11 km/h). Dies war bereits bzgl. der mittleren Geschwindigkeit aufgefallen. Das bedeutet, dass bei hohen Baken die Linienführung der Überleitung bei Nacht offensichtlich falsch eingeschätzt wird.

5.2.2. Spurverhalten in der Überleitung

Für die Untersuchungsstrecke SG2 wird das Spurverhalten im Bereich der einstreifigen Überleitung anhand der Messquerschnitte in der Zufahrt, zu Beginn des einleitenden Kreisbogens (Anf. R.) am Ende des Kreisbogens (Ende R.) und in der Ausfahrt untersucht. Letzterer Querschnitt befindet sich bereits in der Zufahrt zum anschliessenden Gegenbogen. Die erhobenen Werte werden somit direkt durch diesen beeinflusst. Die Daten basieren auf den Angaben in Anhang 5.

Analog zur Untersuchungsstrecke SG1 erfolgt die Betrachtung anhand der Spurverteilung und der, über alle Fahrzeuge gemittelten, Lage der Fahrzeugachse, sowie der Spurtreue (vgl. 5.1.2). Ausgangsgrösse ist die Gruppe aller Fahrzeuge. Wie bereits erwähnt, wird auf eine separate Betrachtung der ungehindert fahrenden Fahrzeuge auf Basis der Erkenntnisse im Anhang 7 verzichtet. Bezüglich der Aussagekraft der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass bei den Erhebungen, welche in der Nacht vorgenommen wurden, eine wesentlich geringere Stichprobengrösse vorliegt.

Nachfolgend werden separat die Einflüsse der Tempolimiten, der Leiteinrichtungen und die Einflüsse der Tageszeit (Tag/Nacht) untersucht.

- *Einfluss der Tempolimiten*

In Tabelle 5-31 sind die Standardabweichungen aller Fahrzeuge in Bezug auf die mittlere Lage der Fahrzeugachse bei Versuchen mit den Tempolimiten 80 und 100 km/h angeführt. Im oberen Teil der Tabelle stehen die Werte welche beim Einsatz von hohen Baken erhoben wurden, im untern Teil jene bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken. Rechts ist die durchschnittliche Abweichung innerhalb der einzelnen Versuche angegeben ($\bar{\Delta}$ Abw.). Die Zeile Δ gibt die Differenz der beiden darüber angeführten Versuche an.

Standardabweichung [m]							
bei Tag, alle Fahrzeuge (SG2 1a/b und 2a/b)							
Tempo	Leiteinrichtung	QS	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	$\bar{\Delta}$ Abw.
		FS-Breite	3.80	3.80	3.85	4.20	
80	Baken	ÜS	0.34	0.26	0.27	0.23	0.28
100	Baken	ÜS	0.33	0.26	0.27	0.26	0.28
		Δ	0.01	0.00	0.00	-0.03	-0.01
80	Leitschiene	ÜS	0.27	0.19	0.21	0.20	0.22
100	Leitschiene	ÜS	0.29	0.20	0.23	0.23	0.24
		Δ	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02

Tab. 5-31: Vergleich der Standardabweichungen in Spurverteilung bei Tempolimiten 80 und 100 km/h sowie bei hohen Baken und Leitschienen

Allgemein kann festgestellt werden, dass die *Standardabweichung* sowohl bei Tempolimiten 80 km/h, als auch bei Tempolimiten 100 km/h im Verlauf der Überleitung abnimmt. Ausgehend von ca. 0.34 m bei Baken und ca. 0.28 m bei Leitschienen nimmt die Abweichung bis zur Ausfahrt auf durchschnittlich ca. 0.25 m bei Baken und ca. 0.22 m bei Leitschienen ab. Ein direkter Einfluss der Tempolimiten ist bei keiner der Leiteinrichtungen ersichtlich.

Betrachtet man den in Abbildung 5-20 dargestellten Verlauf der *mittleren Lage aller Fahrzeugachsen*, bezüglich des Einflusses der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, so fällt auf, dass bei der Verwendung von *Leitschienen* nur geringe Auswirkungen der zulässigen Geschwindigkeit ausgemacht werden können. An allen vier Querschnitten liegt die Fahrzeugachse bei Tempolimiten 100 km/h nur geringfügig (im Durchschnitt ca. 0.10 m) weiter links. Unabhängig von der Tempolimiten tritt in der Zufahrt der Effekt des Ausholens ein. In diesem Querschnitt beträgt die Differenz zur Fahrstreifenachse -0.32 m bei Tempolimiten 80 km/h und -0.24 m bei Tempolimiten 100 km/h. Im weiteren Verlauf nähert sich die Lage der Fahrzeugachsen stark der Fahrstreifenachse an.

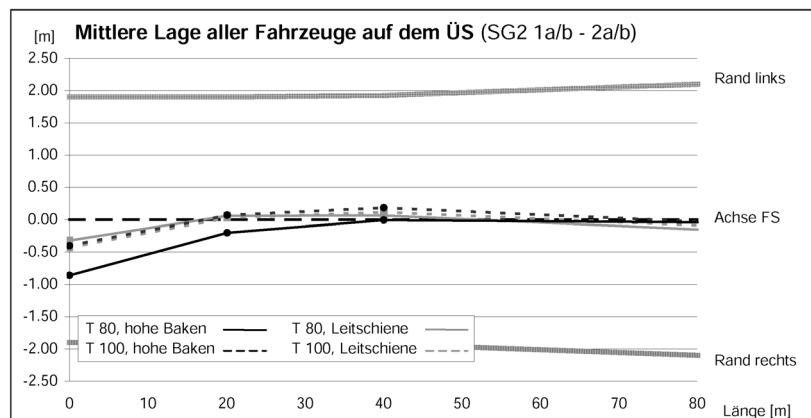


Abb. 5-20: Vergleich der lateralen Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglagen bei Tempolimiten 80 und 100 km/h sowie bei hohen Baken und Leitschienen

Wesentlich grössere Differenzen ergeben sich beim Einsatz von *hohen Baken*. Bei Tempolimiten 100 km/h treten in etwa gleich grosse Abweichungen wie bei der Verwendung von Leitschienen auf. In der Zufahrt wird ausgeholt (-0.40 m) und dann die Kurve geschnitten (0.19 m). Bei Tempolimiten 80 km/h wird jedoch mehr als doppelt so weit ausgeholt (-0.86 m). Erst im Kreisbogen nähert sich die durchschnittliche Lage der Fahrzeugachsen der Fahrstreifenmitte an.

Zusammenfassend kann man somit feststellen, dass die Tempolimiten nur bei der Verwendung von hohen Baken einen Einfluss auf die Spurtreue haben. Hier tritt bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ein wesentlich grösseres Ausholen auf. Bei Leitschienen hingegen ergeben sich bedingt durch die Tempolimiten praktisch keine Unterschiede.

- *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Tag*

Wie bereits erwähnt, nehmen die *Standardabweichungen* im Verlauf der Untersuchungsstrecke deutlich ab (vgl. Tab. 5-31). Die Standardabweichungen an den Querschnitten sind bei der Anordnung mit Leitschiene grundsätzlich leicht kleiner als bei hohen Baken (im Durchschnitt bei Tempolimiten 80 km/h um 0.06 m, bei Tempolimiten 80 km/h um 0.04 m). Der Einfluss der Leiteinrichtung ist jedoch deutlicher als jener der Tempolimiten.

Der Einfluss der Leiteinrichtung auf die *Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglage* kann wie zuvor der Einfluss der Tempolimiten anhand der Abbildung 5-20 betrachtet werden.

Für *Tempolimiten 100 km/h* fallen beim Vergleich der Abweichungen nur geringe Unterschiede auf. Vor allem in der Zufahrt treten bei Leitschienen kleinere Abweichungen auf. Während beim Einsatz von hohen Baken ca. 0.40 m weit ausgeholt wird, fällt dieses Ausholen bei der Verwendung von Leitschienen mit ca. 0.24 m um 0.16 m geringer aus.

Noch deutlicher sind die Unterschiede bei *Tempolimiten 80 km/h*. Wie oben bereits erwähnt, wird hier mit hohen Baken erheblich weiter ausgeholt. Die Differenz der durchschnittlichen Lage der Fahrzeugachse beträgt im ersten Querschnitt mehr als ca. 0.50 m. Auch zu Beginn des Kreisbogens befinden sich die Fahrzeuge bei der Ausführung mit hohen Baken im Durchschnitt noch 0.26 m weiter rechts. Erst zum Ende des Kreisbogens nähert sich die mittlere Lage der Fahrzeugachse jener bei Verwendung von Leitschienen an.

Insgesamt treten bei beiden Tempolimiten die geringeren Abweichungen beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken auf. Die deutlichsten Unterschiede treten bei Tempolimiten 80 km/h im Bereich der Zufahrt auf.

- *Einfluss der Leiteinrichtungen bei Nacht*

Die berechneten Standardabweichungen für die Versuche an der Strecke SG1 bei Nacht sind in der Tabelle 5-32 dargestellt.

Standardabweichung [m]						
Tempo 80 bei Nacht, alle Fahrzeuge (SG2 3a und 3b)						
Leiteinrichtung	QS	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Ø Abw.
	FS-Breite	3.80	3.80	3.85	4.20	
Baken	ÜS	0.38	0.29	0.27	0.29	0.31
Leitschiene	ÜS	0.30	0.18	0.19	0.23	0.23
	Δ	0.08	0.11	0.08	0.06	0.08

Tab. 5-32: Vergleich der Standardabweichungen bei Nacht für Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschienen

Bei Nacht können etwas grössere Unterschiede der *Standardabweichungen* zwischen den zwei Leiteinrichtungen festgestellt werden als am Tag. Die grössten Abweichungen treten im Bereich der Zufahrt (0.38 m bei Baken / 0.30 m bei Leitschienen) und im Kreisbogen auf. Entlang der Überleitung nehmen die Streuungen zwischen Zufahrt und Kreisbogen ab, im Bereich der Ausfahrt, welche gleichzeitig die Zufahrt zum gegenläufigen Kreisbogen ist, kann wieder ein leichter Anstieg der Streuung verzeichnet werden. In allen vier Querschnitten liegt die Streuung bei der Verwendung von Leitschienen leicht (Δ Ø Abw. 0.08 m) unter der Streuung bei hohen Baken.

Der Vergleich der Leiteinrichtungen hinsichtlich der *mittleren Lage aller Fahrzeugachsen* bei Nacht ist aus Abbildung 5-21 ersichtlich. Es zeigt sich ein ähnliches Verhältnis wie am Tag. Bei beiden Leiteinrichtungen wird im Bereich der Zufahrt ausgeholt, bei hohen Baken (-0.72 m) jedoch wesentlich mehr als bei Leitschienen (-0.43 m). Die Differenz zwischen den beiden Versuchen ist bei Nacht etwas weniger gross als beim Vergleich der Leitsysteme am Tag. Im Verlauf des Kreisbogens werden die Abstände zur Fahrstreifen Mitte geringer, wobei bei der Verwendung von Leitschienen die Fahrstreifenmitte sogar überschritten wird. Im Bereich der Ausfahrt tritt wiederum eine geringfügige Abweichung nach rechts auf. Auch in der Nacht zeichnet sich die Leitschiene insgesamt durch einen homogeneren Verlauf aus als hohe Baken.

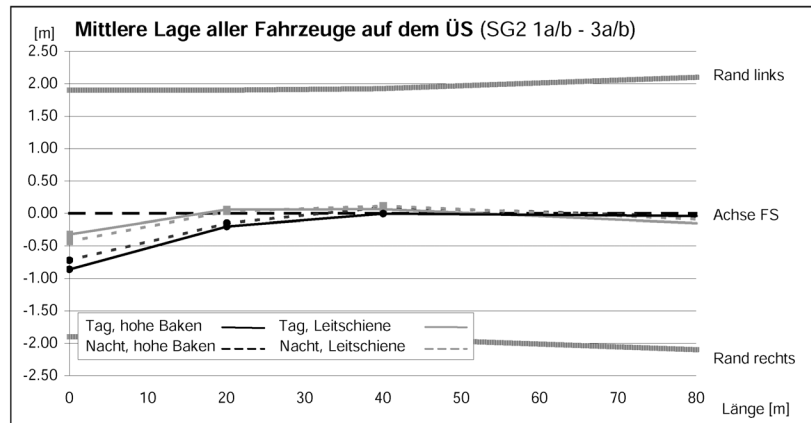


Abb. 5-21: Vergleich der lateralen Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglagen bei Nacht sowie bei hohen Baken und Leitschienen

- *Vergleich Tag / Nacht*

Wie bereits bei der Betrachtung des Einflusses der Leiteinrichtung bei Nacht erwähnt, treten praktisch keine Unterschiede bei den *Standardabweichungen* im Vergleich Tag / Nacht auf. Für beide Leiteinrichtungen ergeben sich unabhängig von der Tageszeit nahezu identische Werte.

Aus Abbildung 5-21 ist ersichtlich, dass bei den Versuchen mit *Leitschienen* in der Zufahrt nachts etwas weiter ausgeholt wird als am Tag. Im Kreisbogen und in der Ausfahrt liegen die Differenzen jedoch bei 0.03 m und somit in dem Bereich der Messgenauigkeit. Ansonsten entspricht der Verlauf in der Nacht weitestgehend den Ergebnissen der Untersuchungen am Tag.

Bei *hohen Baken* finden in der Nacht etwas geringere Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglagen statt, als am Tag. Das Ausholen in der Zufahrt ist jedoch mit 0.72m (am Tag 0.86 m) weiterhin sehr gross. Im weiteren Verlauf nähern sich auch hier die Abweichungen in der Nacht denen vom Tag an.

Der Vergleich zeigt, dass die Tageszeit insgesamt nur einen geringen Einfluss auf das Spurverhalten hat.

5.2.3. Fahrstreifenwechsel

Analog zu 5.1.3. wurde bei den Fahrstreifenwechsellvorgängen untersucht, wie sich ihre Häufigkeit sowie die Häufigkeit der potentiellen Gefahrensituationen zwischen den einzelnen Versuchen ändert. Die nachfolgenden Ergebnisse basieren auf den Angaben im ANHANG 6.

Bei dieser Untersuchungsstrecke handelt es sich um Wechsellvorgänge infolge

- angezeigter Breitenbeschränkung auf dem linken Fahrstreifen, der auf die Gegenfahrbahn übergeleitet wurde und
- Anzeige der Autobahnausfahrt auf dem rechten Fahrstreifen.

Obwohl beide Fahrstreifen durchgehend verliefen, hat die beträchtliche Baustellenlänge (10 km) viele PW-Lenker dazu veranlasst, den linken Fahrstreifen zu benützen, statt auf dem rechten Fahrstreifen gemeinsam mit dem Schwerverkehr zu fahren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der übergeleitete Fahrstreifen trotz der signalisierten Breitenbeschränkung ausreichend breit war (vgl. 3.1.2.). Dementsprechend wird hier wesentlich häufiger vom Normalstreifen auf den Überholstreifen gewechselt als umgekehrt (vgl. ANHANG 6.2).

Erfasst wurden je Versuch¹⁴ zwischen ca. 120 und 150 Fahrstreifenwechsel, davon zwischen ca. 5 und 45 Fahrstreifenwechsel mit Bremsung. Die entsprechenden Anteile der Fahrstreifenwechsel lagen unter ca. 9% der Gesamtbelastung, jene der Fahrstreifenwechsel mit Bremsung unter ca. 3%. In der Tabelle 5-33 werden die Anteile der Fahrstreifenwechsel (FSW) und der FSW mit Bremsung in % der Gesamtbelastung bei den verschiedenen Versuchsanordnungen verglichen.

¹⁴ Während der Versuche nachts erfolgte keine Erhebung der Fahrstreifenwechsellvorgänge.

Vorgänge in % der Gesamtbelastung	Vergleich Tempolimite 80 / 100 km/h				Vergleich Leitbaken / Leitschienen			
	80 / 100 mit LB		80 / 100 mit LS		80 mit LB / mit LS		100 mit LB / mit LS	
	80 km/h (SG2-1a)	100 km/h (SG2-2a)	80 km/h (SG2-1b)	100 km/h (SG2-2b)	mit LB (SG2-1a)	mit LS (SG2-1b)	mit LB (SG2-2a)	mit LS (SG2-2b)
% alle FSW	8.9	8.7	6.5	7.3	8.9	6.5	8.7	7.3
% FSW mit Bremsung	0.4	2.5	1.1	1.4	0.4	1.1	2.5	1.4
% FSW mit Bremsung an allen FSW	4.2	28.9	16.9	19.1	4.2	16.9	28.9	19.1

Tab. 5-33: Anteile an Fahrstreifenwechseln und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung auf der Strecke SG2 im Vergleich der Tempolimite 80/100 km/h und der Anordnung mit Leitbaken (LB) / mit Leitschienen (LS)

Kommentar:

- Beim Vergleich der Tempolimite 80/100 km/h mit (hohen) Leitbaken (LB) bzw. mit Leitschienen (LS) und niedrigen Baken (Versuche SG2-1a / SG2-2a bzw. SG2-1b / SG2-2b) zeigen sich bei der *Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel* (% alle FSW) nur kleine Veränderungen.
- Bei den *FSW mit Bremsung* fällt jedoch auf, dass sie bei der Anordnung mit Leitbaken bei Tempolimite 100 km/h wesentlich häufiger sind (2.5%) als bei Tempolimite 80 km/h (0.4%).
- Bei der Gegenüberstellung der Leiteinrichtungen im Zustand mit Tempolimite 80 km/h wird bei Leitschienen etwas weniger häufig gewechselt, der Anteil von FSW mit Bremsungen an allen FSW ist jedoch deutlich grösser (16.9% gegenüber 4.2%).
- Bei der Gegenüberstellung der Leiteinrichtungen im Zustand mit Tempolimite 100 km/h ist die Situation anders: Im Zustand mit Leitbaken ist sowohl die Häufigkeit der FSW als auch jene der FSW mit Bremsungen grösser als im Zustand mit Leitschienen.

5.2.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke SG2

Die Besonderheit dieser Untersuchungsstrecke (Betriebsform 3+1) liegt in der Vielzahl und Variation der durchgeführten Versuche. Anhand dieser Versuche können Aussagen zum Einfluss der verschiedenen Leiteinrichtungen (hohe Baken / Leitschienen mit niedrigen Baken), der Tempolimite (80 km/h / 100 km/h) und der Beleuchtungsverhältnisse (Tag / Nacht) auf das Geschwindigkeitsverhalten, das Spurverhalten und die Fahrstreifenwechsel gemacht werden. Einen weiteren Einfluss auf die Ergebnisse hat bei dieser Untersuchungsstrecke die Wegweisung der Autobahnausfahrt (ca. 150 m nach Baustellenbeginn), die Verschwengung des Normalfahrstreifens nach dem Ende der Überleitung des Überholfahrstreifens sowie die geringen Verkehrsstärken bei Nacht.

- *Geschwindigkeitsverhalten*

Die Versuche haben ergeben, dass die Variation der Tempolimite (80/100 km/h) in der Zufahrt keinen einheitlichen Einfluss auf die *Geschwindigkeitsverteilung* ausübt. Auf der Höhe der Geschwindigkeitssignale und der Wegweisung konnten jedoch auf dem Überholstreifen höhere Standardabweichungen bei Tempolimite 80 km/h festgestellt werden als bei 100 km/h. Für die Überleitung des Überholstreifens hat die Tempolimite keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung, und zwar bei beiden Arten von Leiteinrichtungen. Betrachtet man den gesamten Streckenabschnitt, liegen die Streuungen bei der Verwendung von Leitschienen etwas unter denjenigen bei hohen Baken. Dies gilt insbesondere für den Bereich vor der Überleitung. Beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken tritt hier eine stärkere Homogenisierung auf. Die gleiche Wirkung ist bei Nacht zu erkennen. Die Abnahme der Streuung findet mit Leitschienen früher statt als bei hohen Baken. Im Bereich der Überleitung treten jedoch bei hohen Baken geringere Standardabweichungen als bei Leitschienen mit niedrigen Baken auf. Vergleicht man den Einfluss der Tageszeit auf die Standardabweichungen beim Einsatz der beiden Leiteinrichtungen, so kann man bei hohen Baken keinen Unterschied zwischen Tages- und Nachtzeit feststellen, während bei der Nutzung einer Leitschiene bei Nacht um 1 bis 2 km/h grössere Streuungen auftreten.

Betrachtet man den *Geschwindigkeitsverlauf* bezüglich des Einflusses der Tempolimite, so fällt auf, dass unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Bereich von Zufahrt und Überleitung gleichmässig und stetig verzögert wird. Auf Höhe der Überleitung liegt die mittlere Geschwindigkeit bei Tempolimite 80 km/h im Bereich der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und etwa 5 bis 8 km/h niedriger als bei Tempolimite 100 km/h. In Abbildung 5-22 ist zusammenfassend der Einfluss beider Leiteinrichtungen am Tag bei Tempolimite 100 km/h und 80 km/h getrennt für Normalfahrstreifen und Überholfahrstreifen dargestellt. Die bauliche Ausführung der Leiteinrichtung als Leitschiene hat auf den Geschwindigkeitsverlauf den Einfluss, dass am Tage in der Überleitung geringfügig langsamer gefahren wird.

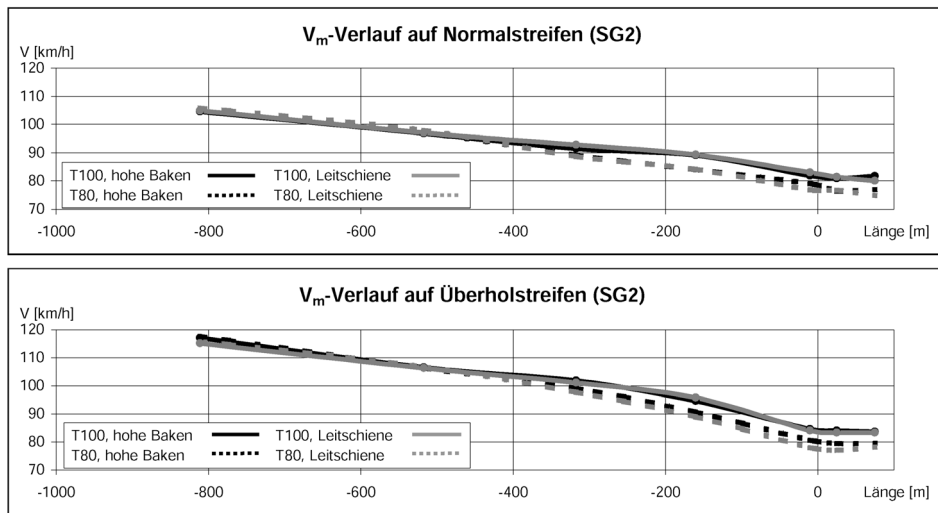


Abb. 5-22: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und dem Überholfahrstreifen (unten) bei Tag

Erwartungsgemäss manifestieren sich die Einflüsse der Leiteinrichtungen vor allem nachts (vgl. Abb. 5-19). So kommt es bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken wesentlich früher zu einer Geschwindigkeitsanpassung auf dem Überholfahrstreifen. Allgemein kann besonders bei Nacht eine stärkere, durch die nachfolgende Verschwenkung bewirkte Verzögerung auf dem Normalfahrstreifen beobachtet werden, die auf Mängel in der optischen Führung hindeutet. Vergleicht man die Geschwindigkeitsverläufe von Tag und Nacht, lassen sich bei Nacht etwas höhere Geschwindigkeiten in der Zufahrt und eine frühere und stärkere Reaktion auf die Verschwenkungen erkennen.

Die Abbildung 5-23 ermöglicht analog zur vorangegangenen Abbildung den Vergleich des Einflusses der Leiteinrichtungen zu den unterschiedlichen Tageszeiten. Das unterschiedliche Verzögerungsverhalten vor Beginn der Überleitung auf dem Normalfahrstreifen wird hier besonders deutlich.

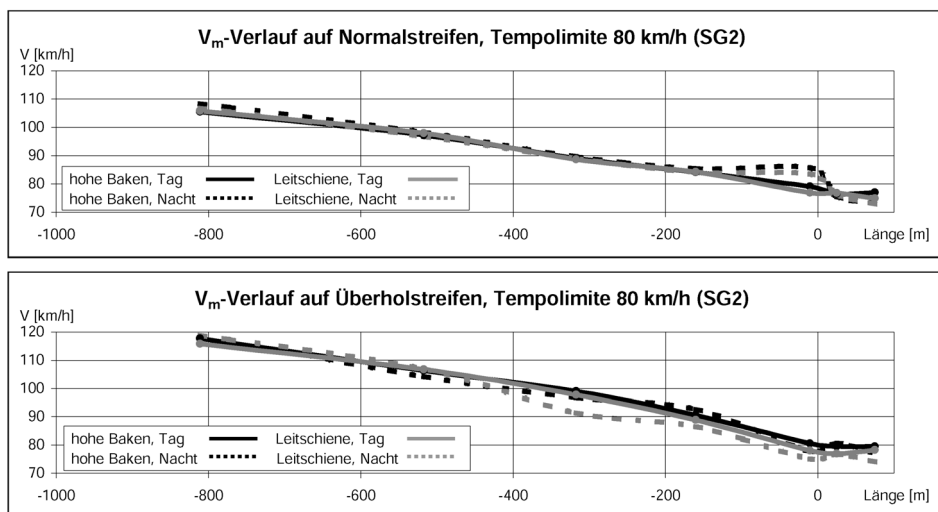


Abb. 5-23: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und dem Überholfahrstreifen (unten) bei Nacht

Für die *schnell fahrenden Fahrzeuge* kann man die Erkenntnis gewinnen, dass sich diese Gruppe nicht an das Tempolimit von 80 km/h hält. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird in diesen Fällen immer deutlich überschritten. Bei der Betrachtung der $V_{85\%}$ -Werte in Bezug auf die eingesetzte Leiteinrichtung stellt sich heraus, dass im Zufahrtbereich bei Verwendung von Leitschienen etwas langsamer gefahren wird als bei hohen Baken. Dies ist auch nachts der Fall, vor allem auf dem Überholstreifen. Dort liegt die $V_{85\%}$ kurz nach der Anzeige „80 km/h“ bei der Benutzung hoher Baken fast 8 km/h höher als bei Leitschienen. In der Folge wird die Geschwindigkeit sehr stark angepasst. Das bedeutet, dass bei hohen Baken die Linienführung der Überleitung bei Nacht offensichtlich falsch eingeschätzt wird.

- *Spurverhalten*

Bei der Spurverteilung tritt generell eine deutliche Abnahme der Standardabweichungen in der Durchfahrt der Überleitung auf. Die Form der Verläufe der gemittelten Fahrzeugachsen ist bei allen

Versuchen ähnlich. Sie zeichnet sich in der Zufahrt zum Kreisbogen durch ein starkes Ausholen nach rechts, das anschliessende starke Verschieben zur Fahrbahnmitte und durch die fast ideale Spurtreue zwischen dem Ende des Kreisbogens und der Ausfahrt aus.

Die *Standardabweichungen* werden durch die signalisierte Tempolimiten nicht beeinflusst. Hingegen hat die Art der verwendeten Leiteinrichtung einen deutlichen Einfluss auf die Spurverteilung. Bei Leitschienen treten sowohl am Tag, als auch besonders in der Nacht niedrigere Abweichungen auf. Allgemein werden in der Nacht jedoch grössere Streuungen als am Tage festgestellt.

Auch die *mittlere Lage der Fahrzeugachsen* wird deutlich durch die Leiteinrichtung beeinflusst. So findet bei der Verwendung von hohen Baken ein wesentlich weiteres Ausholen im Bereich der Zufahrt statt. Dies gilt jedoch nur für Tempolimiten 80 km/h. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h gleicht das Mass des Ausholens bei hohen Baken dem bei der Verwendung von Leitschienen. Die Tageszeit (Tag / Nacht) hat praktisch keinen Einfluss auf die Lage der Fahrzeugachsen.

- *Fahrstreifenwechsel*

Beim Vergleich der Tempolimiten 80/100 km/h mit hohen Leitbaken bzw. mit Leitschienen und niedrigen Baken zeigen sich bei der Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel nur kleine Veränderungen. Bei den Fahrstreifenwechseln fällt jedoch auf, dass sie bei der Anordnung mit Leitbaken bei Tempolimiten 100 km/h wesentlich häufiger sind als bei Tempolimiten 80 km/h. Bei der Gegenüberstellung der Leiteinrichtungen im Zustand mit Tempolimiten 80 km/h wird bei Leitschienen etwas weniger häufig gewechselt, der Anteil von Fahrstreifenwechseln mit Bremsungen ist jedoch deutlich grösser. Im Zustand mit Tempolimiten 100 km/h ist die Situation insofern anders, als bei der Anordnung mit Leitbaken sowohl die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel als auch jene der Fahrstreifenwechsel mit Bremsungen grösser ist als bei der Anordnung mit Leitschienen.

5.3. Ergebnisse Untersuchungsstrecke ZG1

Auf dieser Untersuchungsstrecke mit der Betriebsform 4+0 wurden insgesamt vier Versuche durchgeführt (vgl. Tab. 5-34). Auch hier konnten zwei verschiedene Leiteinrichtungen im Bereich der Überleitung eingesetzt werden (hohe Leitbaken, Bezeichnung LB und Leitschienen mit aufgesetzten niedrigen Baken, Bezeichnung LS). Bei beiden Systemen wurden die Auswirkungen der neuartigen, seitlich angeordneten Portale mit Baustellensignalen (Signal Nr. 1.14) auf gelben retroreflektierenden Tafeln (vgl. Abb. 2-9) im Zufahrtsbereich untersucht. Alle Versuche mussten bei gleicher Tempolimiten von 80 km/h durchgeführt werden. Der Versuch ZG1 1a entspricht dem Referenzzustand.

Baustelle	Betriebsform	Eingesetzte Versuchselemente			Zusatzmessung	Versuchsbezeichnung	Tageszeit der Messungen
		Signalisation Vzul (km/h)	Leitelemente	Zusatzelemente			
ZG1	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter			ZG1 1a	10.50 - 12.50
	4 / o	80	Leitschiene mit Baken niedrig			ZG1 1b	13.00 - 15.00
	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter	mit Portal		ZG1 2a	14.20 - 15.10
	4 / o	80	Leitschiene mit Baken niedrig	mit Portal		ZG1 2b	08.30 - 10.30

Tab. 5-34: Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke ZG1

Die entsprechende Messanordnung und die Lage der eingesetzten Versuchselemente sind aus Abbildung 5-24 ersichtlich.

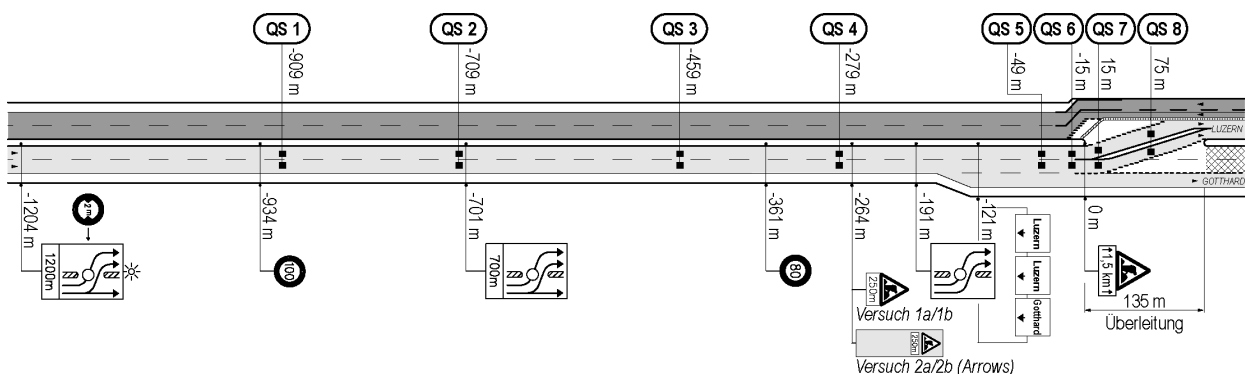


Abb. 5-24: Messanordnung an der Untersuchungsstrecke ZG1

5.3.1. Geschwindigkeitsverhalten

Die zum Vergleich herangezogenen Daten wurden aus den in ANHANG 4 dargestellten Messergebnissen erzeugt. Die Anzahl Fahrzeuge, welche in den Spalten „Alle FZ“ notiert ist, gibt die Zahl der Fahrzeuge an, die den Untersuchungsraum während der Erhebung passiert haben. Die Besonderheiten dieser Strecke liegen einerseits in dem retroreflektierenden, beidseitigen Portal, welches bei zwei Versuchen direkt hinter Querschnitt QS₄ installiert wurde und andererseits in einem zusätzlichen rechten Fahrstreifen (für die Ausfahrt Richtung Gotthard), welcher ca. 120 m vor der Überleitung beginnt. Diese Ausfahrt bewirkte vor allem auf dem Normalfahrstreifen eine Abnahme der Verkehrsstärke. Weiter ist zu bemerken, dass sich der erste Messquerschnitt (QS₁) unmittelbar hinter einer Kuppe befand. Dadurch waren die Geschwindigkeiten des Schwerverkehrs zu Beginn der Untersuchungsstrecke reduziert. Bis zum Querschnitt QS₂ fand aus diesem Grund eine deutliche Beschleunigung auf dem Normalfahrstreifen statt.

5.3.1.1. Geschwindigkeitsverteilung

Die Geschwindigkeitsverteilung wird analog zu den zuvor betrachteten Untersuchungsstrecken untersucht. Die Standardabweichungen (S) der Geschwindigkeiten werden an den Messquerschnitten (QS) unter Berücksichtigung der durch die Versuchsanordnung bedingten Einflüsse verglichen. An dieser Untersuchungsstrecke wird sowohl der Einfluss der Leiteinrichtungen (hohe Baken mit Lauflichtern / Leitschienen mit niedrigen Baken) als auch die Wirkung seitlich angeordneter Portale betrachtet. Während aller Untersuchungen galt eine Tempolimit von 80 km/h.

- *Einfluss der Leiteinrichtungen*

Für den Einfluss der Leiteinrichtungen werden zwei Untersuchungszustände unterschieden. Einerseits wird der Einsatz von hohen Baken mit blinkenden Aufsetzlichtern oder Leitschienen mit niedrigen Baken (vgl. Tab. 5-35) verglichen und andererseits beide Systeme bei zusätzlicher Installation der retroreflektierenden Portale (vgl. Tab. 5-36).

Die Tabelle 5-35 gibt die Standardabweichungen (S) für den Vergleich der Leiteinrichtungen ohne Portal wieder.

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 80, ohne Portal (ZG1 1a und 1b)										%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7/8
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	8					
Baken	NS	12.1	11.6	11.2	10.5	9.6	10.9	11.2	11.8	16.3	1826	11.9	10.9	10.9
Leitschiene	NS	11.5	11.4	11.1	10.5	9.3	10.4	11.1	11.0	17.2	1801	11.5	10.8	10.5
	ΔS	0.6	0.2	0.1	0.0	0.3	0.5	0.1	0.8			0.4	0.0	0.4
Baken	ÜS	13.0	12.7	10.7	12.3	11.7	10.3	10.4	10.6	11.5	912	12.9	11.5	10.8
Leitschiene	ÜS	12.4	12.8	10.9	10.6	10.0	10.3	9.9	10.3	11.7	1064	12.6	10.8	10.1
	ΔS	0.6	-0.1	-0.2	1.7	1.7	0.0	0.5	0.3			0.2	0.8	0.6

Tab. 5-35: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung ohne seitlichem Portal

Kommentar:

- *Auf dem NS* nehmen die S von QS₁ bis zum Beginn der Überleitung (QS₅) unabhängig von der Art der Leiteinrichtung von ca. 12 auf ca. 9.5 km/h gleichmässig ab. Im Bereich der Überleitung kann wieder ein leichter Anstieg der S beobachtet werden. Die S sind bei der Anordnung mit Leitschienen geringfügig kleiner als bei hohen Baken.
- *Auf dem ÜS* ist die Abnahme der Streuung S uneinheitlich. Bei der Verwendung von Leitschienen ist die Abnahme gleichmässig, bei hohen Baken steigt die Streuung im QS₄ und QS₅ jedoch wieder an. Die S sind bei der Anordnung mit Leitschienen wiederum kleiner als bei hohen Baken.
- Anders als bei der ersten Strecke mit Betriebsform 4+0 (SG₁) liegen die Standardabweichungen auf dem NS und dem ÜS in der gleichen Grössenordnung.
- Ein deutlicher Unterschied in Bezug auf die verwendete Leiteinrichtung kann anhand der Standardabweichungen nicht festgestellt werden.

Der Einfluss der Leiteinrichtungen bei Verwendung seitlich angeordneter Portale wird in Tabelle 5-36 verglichen.

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 80, mit Portal (ZG1 2a und 2b)														
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7/8
Baken	NS	11.6	11.8	11.6	10.5	10.0	10.8	10.8	10.1	22.9	739	11.7	11.1	10.4
Leitschiene	NS	11.3	11.5	10.7	9.9	8.6	9.6	10.5	9.9	19.7	1687	11.4	10.3	9.7
	ΔS	0.3	0.3	0.9	0.6	1.4	1.2	0.3	0.2			0.3	0.8	0.8
Baken	ÜS	11.7	11.2	11.2	12.5	12.0	10.5	10.5	10.1	10.4	394	11.5	11.9	10.8
Leitschiene	ÜS	11.6	11.6	10.3	11.3	10.9	9.5	9.5	9.5	11.9	893	11.6	10.8	9.9
	ΔS	0.1	-0.4	0.9	1.2	1.1	1.0	1.0	0.6			-0.2	1.1	0.9

Tab. 5-36: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal

Kommentar:

- Wie beim ersten Vergleich nehmen *auf dem NS* die S von QS1 bis zum Beginn der Überleitung (QS5) unabhängig von der Art der Leiteinrichtung von ca. 11.5 auf ca. 10 km/h (hohe Baken) bzw. 8.6 km/h (Leitschienen) ab. In der Überleitung kann wieder ein leichter Anstieg der S beobachtet werden. Die S sind bei der Anordnung mit Leitschienen kleiner als bei hohen Baken, vor allem zwischen QS3 und QS6.
 - *Auf dem ÜS* ist die Abnahme der Streuung S uneinheitlich. Bei Verwendung von hohen Baken ist praktisch keine Abnahme feststellbar, die S nehmen bis zum QS5 eher zu. Bei der Verwendung von Leitschienen ist hingegen die Abnahme gleichmässiger und die S sind bei den QS3 bis QS8 im Mittel ca. 1 km/h kleiner als bei der Anordnung mit hohen Baken.
 - In Kombination mit dem seitlichen Portal kann anhand der Standardabweichungen ein deutlicherer Unterschied zwischen den verwendeten Leiteinrichtungen festgestellt werden.
- *Einfluss des seitlichen Portals*

Um den allfälligen Einfluss des auffälligen, seitlich angeordneten Portals zu beurteilen, werden in den folgenden Tabellen 5-37 und 5-38 die beiden verwendeten Leiteinrichtung jeweils ohne und mit Portal betrachtet. Da sich das Portal unmittelbar hinter dem Messquerschnitt QS4 befand, interessieren die Veränderungen im Bereich dieses Querschnittes.

Die Standardabweichungen beim Einsatz *hoher Baken* ohne und mit Portal sind in Tabelle 5-37 zusammengestellt.

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo 80, hohe Baken (ZG1 1a und 2a)														
Portal	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7/8
ohne	NS	12.1	11.6	11.2	10.5	9.6	10.9	11.2	11.8	16.3	1826	11.9	10.9	10.9
mit	NS	11.6	11.8	11.6	10.5	10.0	10.8	10.8	10.1	22.9	739	11.7	11.1	10.4
	ΔS	0.5	-0.2	-0.4	0.0	-0.4	0.1	0.4	1.7			0.2	-0.2	0.4
ohne	ÜS	13.0	12.7	10.7	12.3	11.7	10.3	10.4	10.6	11.5	912	12.9	11.5	10.8
mit	ÜS	11.7	11.2	11.2	12.5	12.0	10.5	10.5	10.1	10.4	394	11.5	11.9	10.8
	ΔS	1.3	1.5	-0.5	-0.2	-0.3	-0.2	-0.1	0.5			1.4	-0.4	0.0

Tab. 5-37: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken ohne und mit seitlichem Portal

Kommentar:

- *Auf dem NS* lässt sich kein Einfluss des Portals feststellen. Die Standardabweichungen der beiden Versuche sind beinahe identisch. Der einzige auffällige Unterschied beim QS8 dürfte kaum auf die Anordnung des Portals zurückzuführen sein.
- *Auf dem ÜS* tritt in beiden Fällen eine unstetige Tendenz auf. Auffallend ist eine deutliche Erhöhung von S zwischen QS3 und QS4. In diesem Abschnitt befindet sich das Geschwindigkeitssignal „80 km/h“. Diese Unstetigkeit konnte jedoch sowohl ohne als auch mit Portalanordnung beobachtet werden.

Für die Verwendung von *Leitschienen mit niedrigen Baken* wurde selbiger Vergleich in Tabelle 5-38 angestellt.

Standardabweichung S [km/h]										Alle FZ		Mittelwerte			
Tempo 80, Leitschiene (ZG1 1b und 2b)											%LW	#FZ	1/2	3/4	5/6/7/8
Portal	QS	1	2	3	4	5	6	7	8						
ohne	NS	11.5	11.4	11.1	10.5	9.3	10.4	11.1	11.0	17.2	1801	11.5	10.8	10.5	
mit	NS	11.3	11.5	10.7	9.9	8.6	9.6	10.5	9.9	19.7	1687	11.4	10.3	9.7	
	ΔS	0.2	-0.1	0.4	0.6	0.7	0.8	0.6	1.1			0.0	0.5	0.8	
ohne	ÜS	12.4	12.8	10.9	10.6	10.0	10.3	9.9	10.3	11.7	1064	12.6	10.8	10.1	
mit	ÜS	11.6	11.6	10.3	11.3	10.9	9.5	9.5	9.5	11.9	893	11.6	10.8	9.9	
	ΔS	0.8	1.2	0.6	-0.7	-0.9	0.8	0.4	0.8			1.0	-0.1	0.3	

Tab. 5-38: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Leitschienen mit niedrigen Baken bei Tempolimit 80 km/h mit und ohne seitlichem Portal

Kommentar:

- Anders als bei den hohen Baken zeigen sich *auf dem NS* bei der Anordnung mit Leitschienen gewisse Auswirkungen des Portals: Die S liegen im Zustand mit Portal ab dem QS₃, an dem die Sichtbarkeit des Portals vorausgesetzt werden kann, um ca. 0.5 bis 1.0 km/h tiefer als ohne Portal.
- Auch *auf dem ÜS* sind die S zu Beginn der Zufahrt und in der Überleitung bei der Anordnung mit Portal um ca. 0.5 bis 1.0 km/h kleiner als ohne Portal, allerdings ist die Situation im Bereich der Portalanordnung genau umgekehrt: Bei QS₄ und QS₅ liegen die S ca. 0.8 km/h höher.

5.3.1.2. Geschwindigkeitsverlauf

Anhand der acht Messquerschnitte werden die Verläufe der mittleren und 85%igen Geschwindigkeiten über die Untersuchungsstrecke dargestellt. An dieser Stelle sei auf die Lage der Untersuchungsstrecke hingewiesen: Messquerschnitt QS₁ befindet sich unmittelbar hinter einer Kuppe. Dies hat zur Folge, dass bereits im Vorfeld eine Verlangsamung des Schwerverkehrs stattfindet. Zwischen den Messquerschnitten QS₁ und QS₂ wird dies kompensiert, indem auf dem leicht abschüssigen Zufahrtsbeginn wieder beschleunigt wird. Hierdurch kommt es bei allen Betrachtungen zu einem gegenläufigen Verlauf der Geschwindigkeiten zwischen den Querschnitten QS₁ und QS₂ (siehe Abbildungen 5-25 bis 5-28). Während auf dem NS die mittlere Geschwindigkeit zunimmt, tritt auf dem vorwiegend nur durch PW befahrenen ÜS, bedingt durch die Signalisierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h, eine Verlangsamung auf.

- *Einfluss der Leiteinrichtungen*

Die Abbildung 5-25 zeigt den Einfluss der Leiteinrichtung für die Untersuchungsstrecke ZG1. Entscheidend ist bei dieser Betrachtung der Bereich der Querschnitte QS₅ (-49 m) bis QS₈ (75 m). In diesem Bereich werden die beiden, über die zweistreifige Mittelstreifenüberfahrt geleiteten Fahrstreifen durch die Leiteinrichtung beeinflusst.

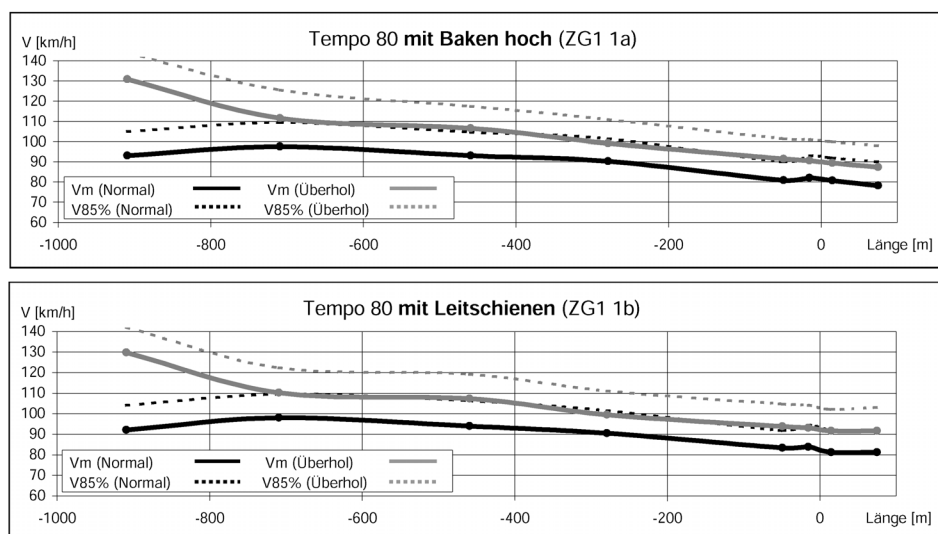


Abb. 5-25: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung

Beim Verlauf der mittleren Geschwindigkeiten tritt zwischen den Querschnitten QS1 und QS2 unabhängig von der Ausführung der Leiteinrichtung das bereits oben beschriebene Verhalten auf. Während auf dem Überholfahrstreifen eine Verlangsamung von ca. 130 km/h auf ca. 110 km/h stattfindet, wird auf dem Normalfahrstreifen von ca. 93 km/h auf ca. 98 km/h beschleunigt. Aus der Abbildung ist klar ersichtlich, dass im massgebenden Bereich zwischen QS4 und QS8 die Form der Verläufe bei beiden Leiteinrichtungen weitgehend identisch ist. Ein Einfluss der unterschiedlichen Leiteinrichtungen auf die mittlere Geschwindigkeit ist hier nicht auszumachen.

Die Tabelle 5-39 gibt den Vergleich der beiden Leitsysteme mit den Geschwindigkeitsdifferenzen und Verzögerungswerten in den Bereichen Zufahrt und Überleitung wieder.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]										Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80, ohne Portal (ZG1 1a und 1b)													
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/8}$	a_m
Baken	NS	93.1	97.6	93.2	90.4	80.9	82.1	80.8	78.3	2.7	0.03	2.6	0.13
Leitschiene	NS	92.0	97.9	93.9	90.4	83.4	83.8	81.1	81.2	1.6	0.02	2.2	0.11
	ΔV	1.1	-0.3	-0.7	0.0	-2.5	-1.7	-0.3	-2.9				
Baken	ÜS	130.9	111.5	106.5	99.2	91.6	90.7	89.5	87.4	31.7	0.45	4.2	0.23
Leitschiene	ÜS	129.7	110.2	107.3	99.4	93.8	93.0	91.6	91.6	30.3	0.43	2.2	0.13
	ΔV	1.2	1.3	-0.8	-0.2	-2.2	-2.3	-2.1	-4.2				

Tab. 5-39: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Im massgebenden Bereich der Überleitung (QS5 bis QS8) liegen die mittleren Geschwindigkeiten V_m bei der Anordnung mit Leitschienen höher als bei jener mit hohen Baken mit Lauflichtern. Dies ist vor allem auf dem ÜS der Fall, wo die Differenzen zwischen 2 und 4 km/h betragen.
- Bei beiden Anordnungen liegen die V_m -Werte in der Überleitung auf dem NS knapp, auf dem ÜS sehr deutlich über der zulässigen Tempolimit 80 km/h. Bei QS4, ca. 80 m nach dem Geschwindigkeitssignal ist die V_m auf dem NS um ca. 10 km/h, auf dem ÜS sogar um 20 km/h höher als die zulässigen 80 km/h.

Analog zur obigen Betrachtung wird im Folgenden der Einfluss der Leiteinrichtung bei einer zusätzlichen Installation eines beidseitig, seitlich angeordneten Portals untersucht. Abbildung 5-26 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe bei beiden Systemen.

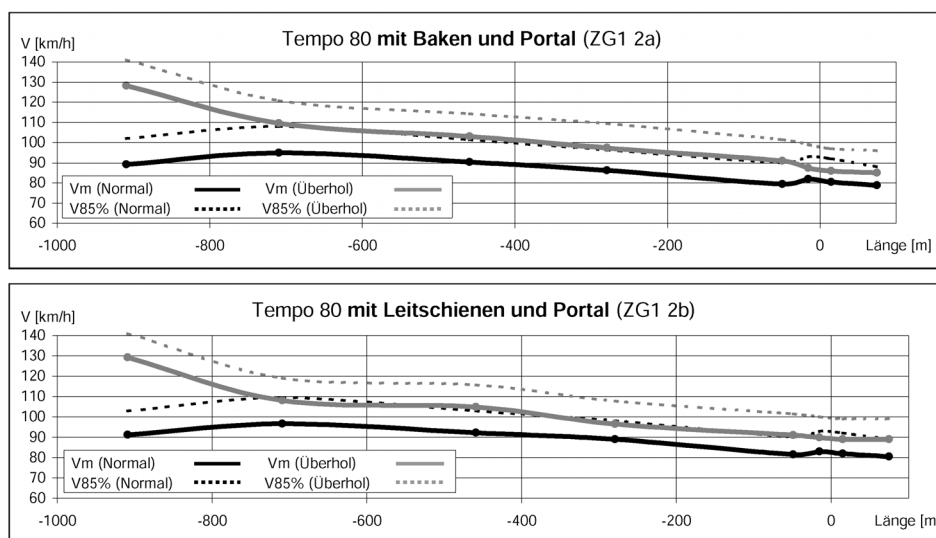


Abb. 5-26: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal

Im Geschwindigkeitsverlauf zwischen den Querschnitten QS1 und QS4 zeigen sich auch bei zusätzlicher Anordnung von Portalen keine Unterschiede zwischen den beiden Leiteinrichtungen. Zu Beginn der Überleitung kommt es auch bei dieser Anordnung zu einer kurzen Beschleunigung auf dem NS. Dies ist

teilweise bedingt durch das Abfließen des Verkehrs in die Ausfahrt Richtung Gotthard. Auf dem ÜS zeigt sich im gleichen Bereich eine Verzögerung bei der Anordnung mit hohen Baken. Dies wird durch die Tabelle 5-40, in welcher die Werte der Verzögerung und die Geschwindigkeitsdifferenzen angegeben sind, bestätigt.

V_m [km/h], ΔV [km/h] und a_m [m/s ²]											Zufahrt		Überleitung	
Tempo 80, mit Portal (ZG1 2a und 2b)														
Leiteinrichtung	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	$\Delta V_{1/4}$	a_m	$\Delta V_{5/8}$	a_m	
Baken	NS	89.2	95.0	90.4	86.2	79.4	81.9	80.5	78.8	3.0	0.03	0.6	0.03	
Leitschiene	NS	91.2	96.6	92.2	89.0	81.4	83.0	81.9	80.4	2.2	0.02	1.0	0.05	
	ΔV	-2.0	-1.6	-1.8	-2.8	-2.0	-1.1	-1.4	-1.6					
Baken	ÜS	128.2	109.5	103.0	97.4	90.9	87.4	86.0	85.1	30.8	0.43	5.8	0.32	
Leitschiene	ÜS	129.2	108.1	104.9	96.4	91.0	89.9	88.9	88.9	32.8	0.45	2.1	0.12	
	ΔV	-1.0	1.4	-1.9	1.0	-0.1	-2.5	-2.9	-3.8					

Tab. 5-40: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschiene und niedrigen Baken als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal

Kommentar:

- Wie im Zustand ohne Portal sind die mittleren Geschwindigkeiten V_m bei der Anordnung mit Leitschiene grösser als bei jener mit hohen Baken mit Lauflichtern. Auf dem NS ist dies bei allen Querschnitten der Fall (ΔV ca. 1.5 – 2.5 km/h), auf dem ÜS in der Überleitung (ΔV ca. 2.5 – 4.0 km/h).
- Die mittleren Verzögerungen in der Zufahrt liegen bei beiden Leiteinrichtungen in der gleichen Grössenordnung, sind aber auf dem ÜS wesentlich grösser als auf dem NS. In der Überleitung zeigt sich die angesprochene stärkere Verzögerung bei der Anordnung mit hohen Baken (0.32 gegenüber 0.12 m/s² bei Leitschiene).
- Wie im Zustand ohne Portal liegen die V_m -Werte im Zustand mit Portal bei beiden Anordnungen in der Überleitung auf dem NS knapp, auf dem ÜS deutlich über der zulässigen Tempolimiten 80 km/h. Bei QS4, ca. 80 m nach dem Geschwindigkeitssignal ist die V_m auf NS um ca. 6 – 9 auf ÜS sogar um 16 – 17 km/h höher als die zulässigen 80 km/h. Dies ist deutlich weniger als im Zustand ohne Portal.

• Einfluss des seitlichen Portals

Fünf Meter nach dem Messquerschnitt QS4 wurde der Beginn der Baustelle wahlweise durch ein Verkehrszeichen mit dem Zusatz „250 m“ oder durch ein seitlich angebrachtes retroreflektierendes Portal (siehe Abbildung 2-9) angekündigt. Die Wirkung dieses Portals auf den Geschwindigkeitsverlauf wird in Abbildung 5-27 dargestellt.

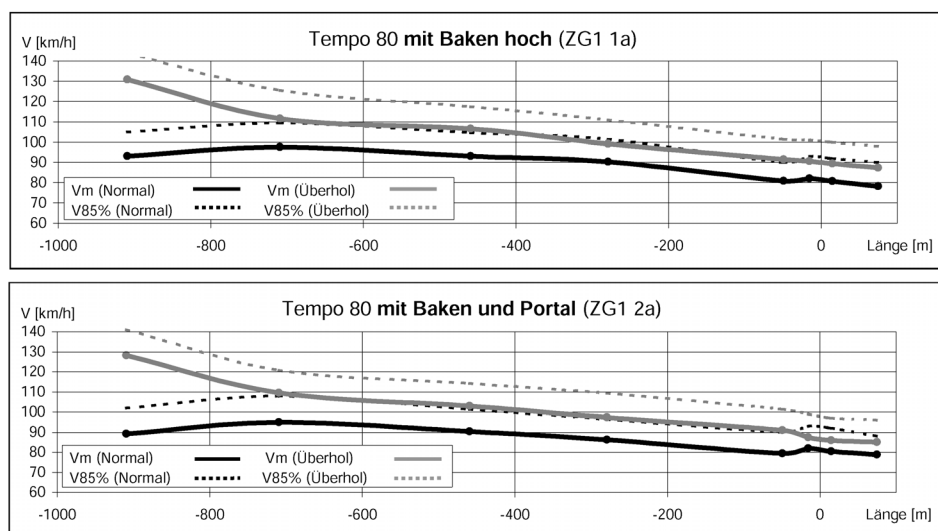


Abb. 5-27: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimiten 80 km/h mit hohen Baken mit und ohne seitliches Portal

Wie schon bei den zuvor behandelten Geschwindigkeitsverläufen, findet im ersten Abschnitt der Zufahrt eine durch die Signalisierung der Tempolimiten 100 km/h bedingte deutliche Reduktion der Geschwindigkeit auf dem ÜS statt. Währenddessen wird auf dem NS beschleunigt. Dies gilt sowohl für die Untersuchung mit als auch ohne Portal. Im weiteren Verlauf der Zufahrt kann in beiden Fällen auf beiden

Fahrstreifen eine stetige Verzögerung festgestellt werden. Die Verlaufsform zwischen QS4 und QS8 ist auf dem NS praktisch identisch, auf dem ÜS wird im Zustand mit Portal in der Überleitung leicht verzögert. Die mittlere Geschwindigkeit ist im Zustand mit Portal auf beiden Fahrstreifen durchgehend etwas niedriger. Dies ist auch in Tabelle 5-41 veranschaulicht.

V _m [km/h], ΔV [km/h] und a _m [m/s ²] Tempo 80, hohe Baken (ZG1 1a und 2a)										Zufahrt		Überleitung	
Portal	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	ΔV _{1/4}	a _m	ΔV _{5/8}	a _m
ohne	NS	93.1	97.6	93.2	90.4	80.9	82.1	80.8	78.3	2.7	0.03	2.6	0.13
	mit	NS	89.2	95.0	90.4	86.2	79.4	81.9	80.5	3.0	0.03	0.6	0.03
	ΔV	3.9	2.6	2.8	4.2	1.5	0.2	0.3	-0.5				
ÜS	ohne	130.9	111.5	106.5	99.2	91.6	90.7	89.5	87.4	31.7	0.45	4.2	0.23
	mit	ÜS	128.2	109.5	103.0	97.4	90.9	87.4	86.0	30.8	0.43	5.8	0.32
	ΔV	2.7	2.0	3.5	1.8	0.7	3.3	3.5	2.3				

Tab. 5-41: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken mit und ohne seitlichem Portal

Kommentar:

- Die V_m-Werte liegen bei der Anordnung mit Portal tiefer als ohne Portal. Deutliche Unterschiede zeigen sich in der Zufahrt (QS1 bis QS4), mit Reduktionen von ca. 2.5 – 4.0 km/h (NS) bzw. ca. 2.0 – 3.5 km/h (ÜS). Dabei ist zu berücksichtigen, dass infolge gestreckter Streckenführung das Portal bereits vom ersten Messquerschnitt aus (ca. 650 m vor dem Portal) einsehbar ist. Die grösste Veränderung ergab sich auf dem NS unmittelbar vor dem Portal (QS4), auf dem ÜS am QS3.
- Die grössten Geschwindigkeitsabnahmen entlang der Strecke infolge der Portalanordnung wären zwischen QS3 und QS4 und zwischen QS4 und QS5. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass dies auf dem ÜS nicht zutrifft; die Abnahmen zwischen den erwähnten QS sind im Zustand ohne Portalanordnung grösser. Auf dem NS trifft dies nur zwischen QS3 und QS4 in geringem Masse zu. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeitsanpassung in diesem Bereich primär auf die Geschwindigkeits-signalisation „80 km/h“ zurück zu führen ist.
- In der Überleitung (QS6 bis QS8) zeigen sich auf dem NS keine Unterschiede, während auf dem ÜS bei der Portalanordnung deutlich langsamer gefahren wird. Dennoch liegen die mittleren Geschwindigkeiten immer noch deutlich über der Tempolimit von 80 km/h.

In einem weiteren Vergleich soll mit Hilfe der Abbildung 5-28 der Einfluss des Portals bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken untersucht werden.

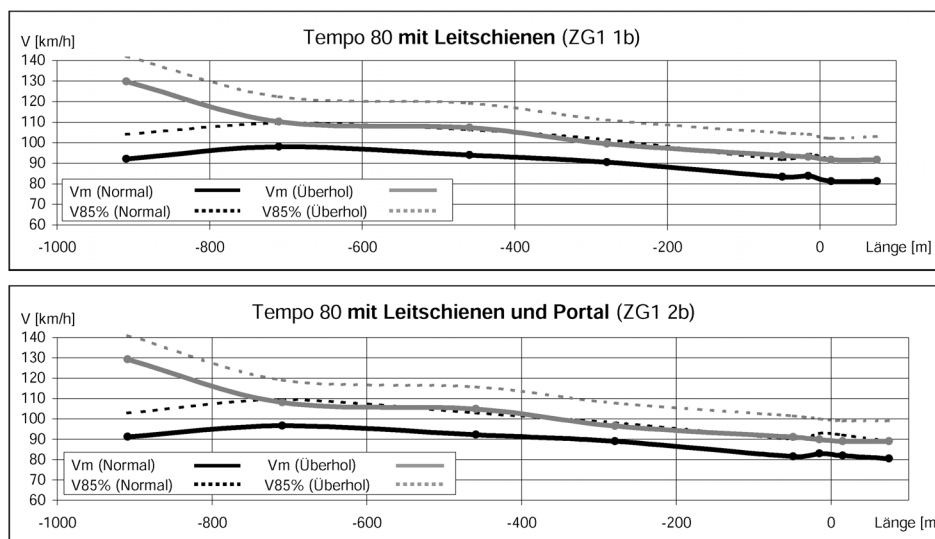


Abb. 5-28: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken mit und ohne seitlichem Portal

Für die Untersuchung mit Leitschienen ergibt sich das gleiche Bild des Geschwindigkeitsverlaufs wie bei den hohen Leitbaken (vgl. Abb. 5-27). Die Verläufe sind in den Zuständen ohne und mit Portal sehr ähnlich und die mittleren Geschwindigkeiten auf der Zufahrt liegen auf beiden Fahrstreifen im Zustand

mit Portal tiefer als im Zustand ohne Portal. Im Bereich der Überleitung sind keine nennenswerte Unterschiede ersichtlich.

In Tabelle 5-42 werden die mittleren Geschwindigkeiten sowie die entsprechenden Geschwindigkeitsdifferenzen und Verzögerungswerte aus dem Versuch mit Leitschienen angegeben.

V _m [km/h], ΔV [km/h] und a _m [m/s ²] Tempo 80, Leitschiene (ZG1 1b und 2b)										Zufahrt		Überleitung	
Portal	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	ΔV _{1/4}	a _m	ΔV _{5/8}	a _m
ohne	NS	92.0	97.9	93.9	90.4	83.4	83.8	81.1	81.2	1.6	0.02	2.2	0.11
mit	NS	91.2	96.6	92.2	89.0	81.4	83.0	81.9	80.4	2.2	0.02	1.0	0.05
	ΔV	0.8	1.3	1.7	1.4	2.0	0.8	-0.8	0.8				
ohne	ÜS	129.7	110.2	107.3	99.4	93.8	93.0	91.6	91.6	30.3	0.43	2.2	0.13
mit	ÜS	129.2	108.1	104.9	96.4	91.0	89.9	88.9	88.9	32.8	0.45	2.1	0.12
	ΔV	0.5	2.1	2.4	3.0	2.8	3.1	2.7	2.7				

Tab. 5-42: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken mit und ohne seitlichem Portal

Kommentar:

- Auch beim Versuch mit Leitschienen liegen die V_m-Werte bei der Anordnung mit Portal tiefer als ohne Portal. Deutliche Unterschiede zeigen sich in der Zufahrt (QS₁ bis QS₄), mit Reduktionen von ca. 1.0 – 1.5 km/h (NS) bzw. ca. 0.5 – 3.0 km/h (ÜS). Die Unterschiede sind somit kleiner als beim Versuch mit hohen Baken. Die grösste Veränderung ergab sich auf dem ÜS unmittelbar vor dem Portal (QS₄).
- Auch hier kann die Erwartung, wonach die grössten Geschwindigkeitsabnahmen entlang der Strecke infolge der Portalanordnung zwischen QS₃ und QS₄ und zwischen QS₄ und QS₅ auftreten, nicht bestätigt werden. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeitsanpassung in diesem Bereich primär auf die Geschwindigkeitssignalisation „80 km/h“ zurück zu führen ist.
- Wie beim Versuch mit hohen Baken zeigen sich in der Überleitung (QS₆ – QS₈) auf dem NS keine Unterschiede, während auf dem ÜS bei Portalanordnung deutlich langsamer gefahren wird. Dennoch liegen die mittleren Geschwindigkeiten immer noch deutlich über der Tempolimit von 80 km/h.

• *Einfluss auf schnell fahrende Fahrzeuge*

Neben dem Verlauf der mittleren Geschwindigkeit sind auch bei der Untersuchungsstrecke ZG₁ die schnell fahrenden Fahrzeuge zu untersuchen. In den Tabellen 5-43 und 5-44 werden die Geschwindigkeiten dieser Fahrzeuggruppe bei verschiedenen Versuchen anhand der V_{85%} verglichen. Elemente, welche Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeit nehmen könnten, sind in der obersten Zeile angeführt. Dies sind die Signalisierung von Tempolimit 80 km/h nach dem Messquerschnitt QS₃, das beidseitig angeordnete Portal beim QS₄ sowie die Überleitung der Fahrstreifen (QS₆ bis QS₈).

In Tabelle 5-43 werden die V_{85%} bezüglich der eingesetzten Leiteinrichtung sowie der Verwendung eines Portals verglichen.

Veränderungen der V _{85%} [km/h] Tempo 80, ohne Portal (ZG1 1a und 1b)								Veränderungen der V _{85%} [km/h] Tempo 80, mit Portal (ZG1 2a und 2b)								
Lage:	Anzeige 80			Überleitung				Lage:	Anzeige 80			Portal	Überleitung			
Leiteinricht.	QS	2	3	4	5	6	7	8	QS	2	3	4	5	6	7	8
Baken	NS	109.4	104.6	101.4	90.1	93.0	92.0	90.0	NS	107.8	101.4	96.5	90.1	93.0	92.0	88.0
Leitschiene	NS	109.4	106.2	101.4	91.7	94.5	92.0	92.0	NS	109.4	103.0	98.1	90.1	93.0	92.0	89.0
	ΔV	0.0	-1.6	0.0	-1.6	-1.5	0.0	-2.0		-1.6	-1.6	-1.6	0.0	0.0	0.0	-1.0
Baken	ÜS	125.5	117.5	111.0	101.4	101.0	100.0	98.0	ÜS	120.7	114.2	109.4	101.4	99.0	97.0	96.0
Leitschiene	ÜS	122.3	119.1	111.0	104.6	104.0	102.1	103.0	ÜS	119.1	115.8	107.8	101.4	100.0	99.0	99.0
	ΔV	3.2	-1.6	0.0	-3.2	-3.0	-2.1	-5.0		1.6	-1.6	1.6	0.0	-1.0	-2.0	-3.0

Tab. 5-43: Gegenüberstellung der V_{85%}-Geschwindigkeiten mit hohen Baken und Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung ohne Portal (links) und mit Portal (rechts)

Allgemein kann in allen Fällen eine deutliche und stetige Verlangsamung im Verlauf der Untersuchungsstrecke festgestellt werden, wobei die V_{85%}-Geschwindigkeiten bei Versuchen mit hohen Baken tiefer liegen als bei den Versuchen mit Leitschienen.

Bei der Untersuchung *ohne Portal* sind die Unterschiede auf dem NS kleiner als auf dem ÜS, wo sie im Bereich der Überleitung ausgeprägt sind. *Entlang des NS* sind die $V_{85\%}$ -Unterschiede von Querschnitt zu Querschnitt bei beiden Anordnungen ähnlich; auf die Signalanzeige „80 km/h“ wird nicht abrupt reagiert. Die grösste Geschwindigkeitsabnahme erfolgt zwischen QS4 und QS5, also unmittelbar vor der Überleitung (ca. 11km/h bei hohen Baken und ca. 10km/h bei Leitschienen). In der Überleitung liegen die $V_{85\%}$ -Werte mehr als 10 km/h über der Tempolimite. *Entlang des ÜS* wird bei der Anordnung mit hohen Baken stärker bzw. frühzeitiger auf das Geschwindigkeitssignal reagiert als bei Leitschienen: Zwischen QS2 und QS3 reduziert sich $V_{85\%}$ um 8.0 km/h, bei Leitschienen nur um ca. 3 km/h. Bei beiden Anordnungen erfolgt eine starke Anpassung der Geschwindigkeit auf die Überleitung. Diese ist bei hohen Baken mit ca. 9.5 km/h stärker ausgeprägt als bei Leitschienen (ca. 6.5 km/h). Auch auf dem ÜS fallen in der Überleitung die enormen Überschreitungen der Tempolimite von über 20 km/h auf.

Bei der Untersuchung *mit Portal* fällt grundsätzlich auf, dass die Unterschiede zwischen den $V_{85\%}$ -Werten bei der Anordnung hoher Baken oder Leitschienen kleiner sind, vor allem im Bereich der Überleitung. Zudem ist die Höhe der Geschwindigkeiten auf beiden Fahrstreifen etwas tiefer als im Zustand ohne Portal, vor allem bei der Anordnung mit Leitschienen. *Entlang des NS* zeigt sich, dass auf die Gestaltung der Überleitung am deutlichsten reagiert wird; die Geschwindigkeitsabnahmen auf die Anzeige „80 km/h“ und auf das Portal sind bei den entsprechenden Querschnitten in beiden Anordnungen kleiner als zu Beginn der Überleitung. Die Erkenntnisse zum NS gelten auch *entlang des ÜS*, mit der Ausnahme, dass bei der Anordnung mit Leitschienen auf der Höhe des Portals die grösste Geschwindigkeitsabnahme auftritt, was bei der Anordnung mit hohen Baken nicht der Fall ist.

In Tabelle 5-44 werden wieder die $V_{85\%}$ verglichen. Diesmal stehen jedoch die Auswirkungen des Portals im Mittelpunkt der Betrachtung.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempo 80, hohe Baken (ZG1 1a und 2a)									Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h] Tempo 80, Leitschiene (ZG1 1b und 2b)																			
Portal	Lage:	Anzeige 80			Portal			Überleitung			Portal	Lage:	Anzeige 80			Portal			Überleitung									
	QS	2	3	4	5	6	7	8		QS	2	3	4	5	6	7	8		QS	2	3	4	5	6	7	8		
ohne	NS	109.4	104.6	101.4	90.1	93.0	92.0	90.0		ohne	NS	109.4	106.2	101.4	91.7	94.5	92.0	92.0		ohne	NS	109.4	103.0	98.1	90.1	93.0	89.0	
mit	NS	107.8	101.4	96.5	90.1	93.0	92.0	88.0		mit	NS	109.4	103.0	98.1	90.1	93.0	92.0	89.0		mit	NS	109.4	103.0	98.1	90.1	93.0	89.0	
ΔV		1.6	3.2	4.9	0.0	0.0	0.0	2.0		ΔV		0.0	3.2	3.3	1.6	1.5	0.0	3.0		ΔV		0.0	3.2	3.3	1.6	1.5	0.0	3.0
ohne	ÜS	125.5	117.5	111.0	101.4	101.0	100.0	98.0		ohne	ÜS	122.3	119.1	111.0	104.6	104.0	102.1	103.0		ohne	ÜS	122.3	119.1	111.0	104.6	104.0	102.1	103.0
mit	ÜS	120.7	114.2	109.4	101.4	99.0	97.0	96.0		mit	ÜS	119.1	115.8	107.8	101.4	100.0	99.0	99.0		mit	ÜS	119.1	115.8	107.8	101.4	100.0	99.0	99.0
ΔV		4.8	3.3	1.6	0.0	2.0	3.0	2.0		ΔV		3.2	3.3	3.2	3.2	4.0	3.1	4.0		ΔV		3.2	3.3	3.2	3.2	4.0	3.1	4.0

Tab. 5-44: Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten mit Portal und ohne Portal bei hohen Baken (links) und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung (rechts)

Bei diesen zwei Vergleichen steht das Portal im Vordergrund, alle übrigen Vergleiche wurden oben bereits besprochen. Die vordergründige Frage ist, ob auf die Anordnung des Portals beim entsprechenden Messquerschnitt reagiert wird. Dazu sind die Differenzen zwischen den $V_{85\%}$ -Werten an QS3 und QS4 im Vergleich ohne/mit Portal zu betrachten. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass zwischen den $V_{85\%}$ -Differenzen im Zustand ohne und mit Portal praktisch keine Unterschiede resultieren. Das bedeutet, dass bei unveränderten Geschwindigkeitsanzeigen und Leiteinrichtungen das Aufstellen des Portals praktisch keine Wirkung auf die Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge hat.

5.3.2. Spurverhalten in der Überleitung

Der Vergleich bezüglich des Spurverhaltens in der Überleitung der Strecke ZG1 erfolgt wiederum anhand der Ergebnisse für die Gruppe aller Fahrzeuge. Es werden jeweils drei Messquerschnitte im Bereich des Kreisbogens (Zufahrt, Mitte, Ausfahrt) für den Normalfahrstreifen und den Überholfahrstreifen betrachtet. Diese waren mittels einer zwischen 0.8 und 1.0 m breiten Sperrfläche getrennt. Zusammen mit den relativ breiten Fahrstreifen war hier die gesamte Fahrraumbreite grösser als in der vergleichbaren bei der Untersuchungsstrecke SG1.

In der gesamten Durchfahrt der Überleitung treten konstant hohe *Standardabweichungen S* der mittleren Achslage auf, vor allem auf dem Normalfahrstreifen (im Mittel ca. 50 cm auf NS, ca. 30-35 cm auf ÜS). Sie sind somit doppelt so gross, wie an den anderen Untersuchungsstrecken. Am grössten sind die S in der Mitte des Kreisbogens (auf NS bis ca. 65 cm). Im Vergleich der zwei Leiteinrichtungen resultieren bei Leitschiene leicht niedrigere S. In Kombination mit dem Portal ergeben sich bei beiden Leiteinrichtungen im Mittel um ca. 7 – 8 cm höhere S als ohne Portal.

Die Verschiebungen der *mittleren Lage der Fahrzeugachsen* in Bezug auf die Fahrstreifenmitte sind in den Abbildungen 5-29 (für Normalfahrstreifen) und 5-30 (für Überholfahrstreifen) dargestellt.

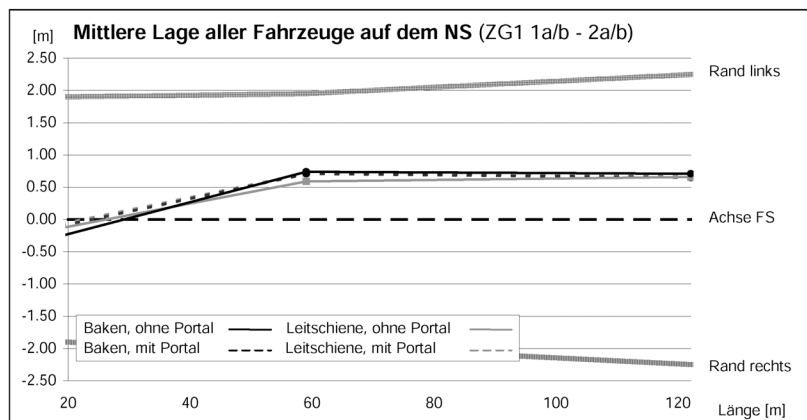


Abb. 5-29: Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei hohen Baken und Leitschienen mit und ohne Portal auf dem Normalstreifen (NS)

Auf dem *Normalfahrstreifen* ist das Ausholen zu Beginn des Kreisbogens und das darauf folgende Schneiden der Linkskurve sind deutlich zu erkennen. Die Gesamtverschiebung der gemittelten Fahrzeugachsen im Bereich der Überleitung beträgt bei Baken ca. 1.00 m und bei der Verwendung von Leitschienen noch ca. 0.80 m. Auffallend ist die allgemein auftretende grosse Abweichung nach links, zur Trennfläche zwischen den beiden Fahrstreifen. Die Abweichung zwischen der Mitte des Kreisbogens und dessen Ausfahrt ist für beide Leiteinrichtungen nahezu konstant. Dieses Verhalten kann durch die linksseitig markierte Sperrfläche erklärt werden, welche mit ihrer Breite zwischen 0.8 und 1.0 m den Fahrer dazu verleitet weiter links zu fahren. In Einzelfällen wird diese Fläche beim Schneiden der Kurve sogar überfahren. Die beiden verschiedenen Leiteinrichtung beeinflussen den Spurverlauf nur geringfügig. Beim Einsatz von Leitschienen fallen sowohl das Ausholen, als auch das Kurvenschneiden etwas geringer aus.

Ein ähnlicher Einfluss der Sperrfläche kann auch für die Abweichungen auf dem Überholfahrstreifen (ÜS) in Abbildung 5-30 beobachtet werden.

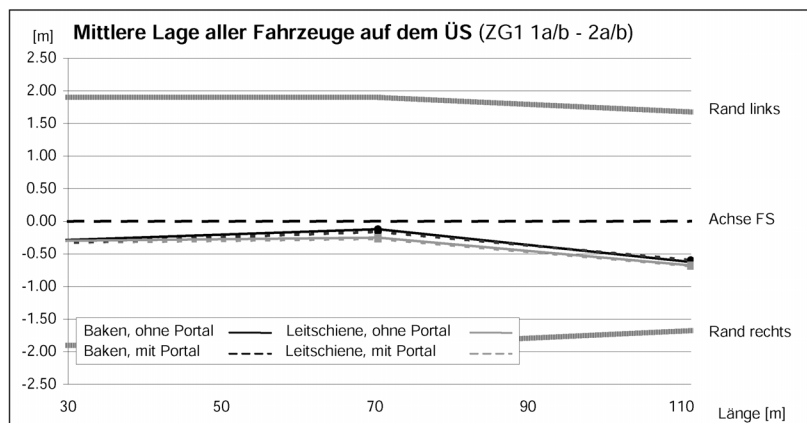


Abb. 5-30: Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei hohen Baken und Leitschienen mit und ohne Portal auf dem Überholstreifen (ÜS)

Hier ist die gemittelte Lage der Fahrzeugachsen deutlich nach rechts von der Fahrstreifenachse verschoben. Wenn auch nicht in so ausgeprägter Form wie auf dem Normalfahrstreifen, ist auch hier ein vorheriges Ausholen und ein anschliessendes Kurvenschneiden ersichtlich. Auch hier können nur kleine Differenzen zwischen den Auswirkungen der Leiteinrichtungen festgestellt werden. Die Gesamtverschiebung der gemittelten Fahrzeugachsen ist jedoch bei Verwendung von Leitschienen (0.48 m) um bis zu 30% kleiner als bei hohen Baken (ca. 0.60 bis 0.70 m).

Für beide Fahrstreifen kann kein Einfluss des beidseitig montierten *Portals* auf das Spurverhalten in der Überleitung festgestellt werden. Diese Aussage gilt sowohl für die Streuung der Standardabweichungen, als auch für die Verschiebung der gemittelten Fahrzeugachsen bezüglich der Fahrstreifenmitte.

Die, an anderen Untersuchungsstrecken beobachtete, positive Auswirkung der Leitschiene auf das Spurverhalten scheint hier, aufgrund des breiten Fahrraumes nicht zum Tragen zu kommen.

5.3.3. Fahrstreifenwechsel

Bei dieser Strecke wurde nur die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsellvorgänge untersucht (vgl. ANHANG 6.3). Dabei handelt es sich um Wechsellvorgänge infolge

- Breitenbeschränkung auf dem linken Fahrstreifen, der gemeinsam mit dem rechten Fahrstreifen auf die Gegenfahrbahn übergeleitet wurde oder
- Anzeige verschiedener Fahrtziele (vgl. Abb. 5-24).

Da das Fahrtziel „Gotthard“ nur vom rechten Fahrstreifen erreichbar war (Ausscheren auf den zusätzlichen, dritten Fahrstreifen kurz vor der Überleitung), wird hier häufiger vom Überholfahrstreifen auf den Normalfahrstreifen gewechselt als umgekehrt.

Erfasst wurden je Versuch zwischen ca. 15 und 35 Fahrstreifenwechsel. Die entsprechenden Anteile der Fahrstreifenwechsel lagen unter ca. 3% der Gesamtbelastung, also deutlich weniger als bei den Untersuchungsstrecken SG1 und SG2 (vgl. 5.1.3. und 5.2.3.).

In Abbildung 5-31 sind die Anteile der Fahrstreifenwechsel (FSW) in % der Gesamtbelastung bei den verschiedenen Versuchsanordnungen zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass zwischen den Anordnungen mit hohen Leitbaken und mit Leitschienen praktisch keine Unterschiede bestehen. Die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel ist bei den Versuchen mit zusätzlicher Portalanordnung (vgl. Abb. 2-9) etwas kleiner. Wie weit dies mit der erhöhten Aufmerksamkeit der Fahrzeuglenker infolge der auffälligen Portale zusammenhängt, bleibt vorerst offen.

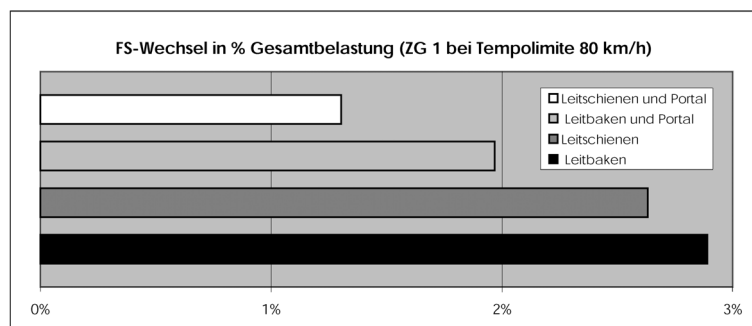


Abb. 5-31: Anteile der Fahrstreifenwechsel auf der Strecke ZG1

5.3.4. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke ZG1

Die Betrachtung der Ergebnisse der Untersuchungsstrecke ZG1 liefert Erkenntnisse bezüglich des Einflusses verschiedener Leiteinrichtungen und der Wirkung beidseitig angeordneter, retroreflektierender Portale. Sie betreffen die Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten, das Spurverhalten und die Fahrstreifenwechsel. Alle Versuche wurden bei Tempolimit 80 km/h durchgeführt.

- *Geschwindigkeitsverhalten*

Über die Einflüsse der Leiteinrichtung und des Portals hinaus sind bei dieser Strecke auch die Abnahme der Verkehrsstärke auf dem rechten Fahrstreifen infolge des zusätzlichen Fahrstreifens zur Ausfahrt Richtung Gotthard und die vertikale Linienführung zu berücksichtigen. Die Untersuchungsstrecke beginnt direkt hinter einer Kuppe. Dies hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit des Schwerverkehrs auf dem Normalfahrstreifen niedrig ist und im ersten Abschnitt der Strecke eine Beschleunigung stattfindet.

Die *Geschwindigkeitsverteilung* wird durch die bauliche Ausführung der Leiteinrichtung beeinflusst. Allgemein nehmen die Standardabweichungen im Verlauf der Untersuchungsstrecke bis zum Beginn der Überleitung ab. Bei der Unterscheidung der beiden Leiteinrichtungen fallen beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Bakten etwas geringere Streuungen auf als bei hohen Bakten, vor allem in Kombination mit einem seitlichen Portal. Der direkte Vergleich ohne/mit Portal zeigt, dass dieses bei hohen Leitbaken keinen Einfluss auf die Streuung der Geschwindigkeit hat, beim Einsatz von Leitschienen reduzieren sich die Standardabweichungen jedoch.

Für den *Geschwindigkeitsverlauf* lassen sich folgende Einflüsse beobachten. Bei der Verwendung von hohen Bakten treten auf beiden Fahrstreifen im Bereich der Überleitung durchgehend geringere mittlere Geschwindigkeiten auf. Sie liegen im Durchschnitt um mehr als 2 km/h unter den Geschwindigkeiten bei

Leitschienen mit niedrigen Baken. Im Zufahrtsbereich ist dies nicht der Fall. Die obige Feststellung trifft auch auf die Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) zu. In Kombination mit einem Portal ergaben sich diesbezüglich praktisch keine Veränderungen.

Der direkte Vergleich ohne/mit Portal zeigt bei der Anordnung von hohen Baken eine deutliche Reduktion der mittleren Geschwindigkeiten. Diese sind auf Normalfahrstreifen nur in der Zufahrt, auf dem Überholfahrstreifen auch in der Überleitung mit über 3 km/h ausgeprägt. Die gleiche Tendenz zeigt sich auch beim Einsatz von Leitschienen, die Reduktionen sind jedoch etwas weniger ausgeprägt. Die obige Feststellung trifft auch auf die schnell fahrende Fahrzeuge ($V_{85\%}$) zu, mit dem Unterschied, dass bei der Anordnung mit Leitschienen die Geschwindigkeitsreduktionen auf beiden Fahrstreifen über den gesamten Messabschnitt durchgehend vorhanden sind.

Bei allen Versuchen lagen die mittleren Geschwindigkeiten in der Überleitung deutlich über der signalisierten Tempolimiten von 80 km/h.

Die Einflüsse des Portals auf die mittlern Geschwindigkeiten sowie die der annähernd identische Geschwindigkeitsverlauf bei der Anwendung der beiden Leiteinrichtungen sind in der folgenden Abbildung 5-32 ersichtlich.

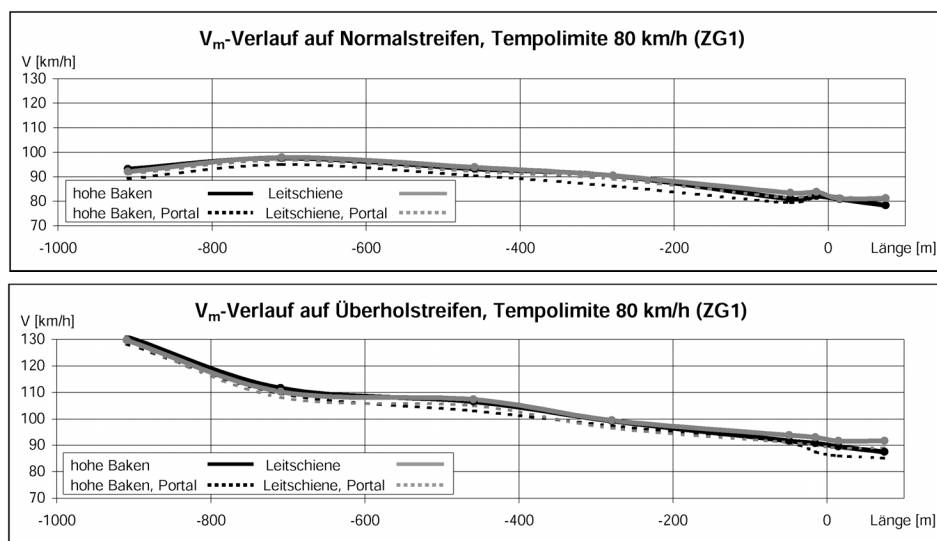


Abb. 5-32: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und auf dem Überholfahrstreifen (unten)

Bei den *schnell fahrenden Fahrzeugen* wurde die Geschwindigkeitsanpassungen im Zusammenhang mit den Standorten der Signale und Portale überprüft. Entlang des Überholfahrstreifens hat sich gezeigt, dass bei der Anordnung mit hohen Baken stärker bzw. frühzeitiger auf das Geschwindigkeitssignal reagiert wird als bei Leitschienen. Dafür ist die Geschwindigkeitsanpassung an die Geometrie der Überleitung bei den Leitschienen weniger stark als bei hohen Baken. Auf die Anzeige der Tempolimiten 80 km/h und auf das Portal wird nicht mit abrupten Geschwindigkeitsänderungen reagiert. Den örtlich deutlichsten Einfluss hat bei allen Versuchen die Gestaltung der Überleitung. Zwischen den $V_{85\%}$ -Differenzen im Zustand ohne und jenem mit Portal resultieren praktisch keine Unterschiede. Das bedeutet, dass bei unveränderten Geschwindigkeitsanzeigen und Leiteinrichtungen, das Aufstellen des auffälligen Portals praktisch keine Wirkung auf die Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge hat.

- **Spurverhalten**

Der Vergleich der Versuchsergebnisse hat gezeigt, dass durch die grosse Fahraumbreite deutlich höhere Spurstreuung um die mittlere Fahrzeuglage auftreten. Besonders grosse Abweichungen fallen auf dem deutlich breiteren Normalfahrstreifen auf. Diese stehen nicht in Abhängigkeit der Art der Leiteinrichtung. Die grosse Fahraumbreite macht sich auch bei der Abweichung der gemittelten Achslage bemerkbar. Es tritt eine deutliche Verschiebung der Lage nach links auf dem Normalfahrstreifen und nach rechts auf dem Überholfahrstreifen auf. Auch die markierte Sperrfläche zwischen den Fahrstreifen wird gelegentlich als Ausweichfläche zum Kurvenschneiden genutzt.

Das Ausholen vor dem Kreisbogen und das Kurvenschneiden sind auf beiden Fahrstreifen sowohl für hohen Baken, als auch bei Leitschienen ersichtlich und tritt auf dem Normalfahrstreifen ausgeprägt auf. Bei der Leitschiene fallen die Abweichungen geringfügig kleiner aus als bei der Verwendung hoher Baken. Das ca. 250 m vor der Überleitung installierte beidseitige Portal hat weder Einfluss auf die Standardabweichungen noch auf die gemittelte Lage der Fahrzeugachsen.

- *Fahrstreifenwechsel*

Untersucht wurde nur die Häufigkeit der Fahrstreifenwechselforgänge infolge Breitenbeschränkung auf dem linken Fahrstreifen und infolge Anzeige verschiedener Fahrtziele. Da das Fahrtziel „Gotthard“ nur vom rechten Fahrstreifen erreichbar war, wird hier häufiger vom Überholfahrstreifen auf den Normalfahrstreifen gewechselt als umgekehrt. Die Anteile der Fahrstreifenwechsel lagen unter ca. 3% der Gesamtbelastung, also deutlich weniger als bei den Untersuchungsstrecken SG1 und SG2. Zwischen den Anordnungen mit hohen Leitbaken und mit Leitschienen bestehen praktisch keine Unterschiede. Bei den Versuchen mit zusätzlicher Portalanordnung ist die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel etwas kleiner.

5.4. Ergebnisse Untersuchungsstrecke AG1

An dieser stark befahrenen Untersuchungsstrecke konnten nur zwei Versuche durchgeführt werden (vgl. Tab. 5-45). Dabei wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit zwischen 80 (Referenzzustand) und 100 km/h variiert. Bei der Umstellung der hier vorhandenen Wechselsignale ergaben sich technische Probleme. Dadurch konnte die angestrebte Versuchsdauer von zwei Stunden nicht eingehalten werden. Die Betriebsformen im Baustellenbereich vor dem Baregg Tunnel haben mehrmals gewechselt. Während der Messungen war die Betriebsform 3+1 eingerichtet.

Die Leiteinrichtung in der Überfahrt bestand auf der in Fahrtrichtung rechten Seite aus Bakern im Hochformat (mit Lauflichtern), auf der linken Seite war eine Baustellenleitschranke aus Metall (Varioguard), mit aufgesetztem Kastenprofil in Hochlage verwendet worden. Dieses Element (vgl. Abb. 5-33) diente zur durchgehenden baulichen Trennung der Fahrrichtungen auf der Fahrbahn Bern.



Abb. 5-33: Ansicht der Leiteinrichtungen bei AG1

Baustelle	Betriebsform	Eingesetzte Versuchselemente			Zusatzmessung	Versuchsbezeichnung	Tageszeit der Messungen
		Signalisation Vzul (km/h)	Leitelemente	Zusatzelemente			
AG1	4 / 2 bzw.	80	Baken hoch / Schranke	In Überleitung: Blinkende		AG1 1	11.00 - 12.40
	4 / 1	100	Baken hoch / Schranke	Abweispfeile in Hochlage			

Tab. 5-45: Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke AG1

Die entsprechende Messanordnung und die Lage der eingesetzten Versuchselemente sind aus Abbildung 5-34 ersichtlich. Anders als bei den übrigen Untersuchungsstrecken erfolgte auf dem letzten Abschnitt des Normalstreifens der A1 keine Geschwindigkeitsmessung, da die weiter stromabwärts entstehenden Verkehrsbehinderungen zur Staubildung führten, die sich oft bis in den Bereich der Überleitung fortplanzte.

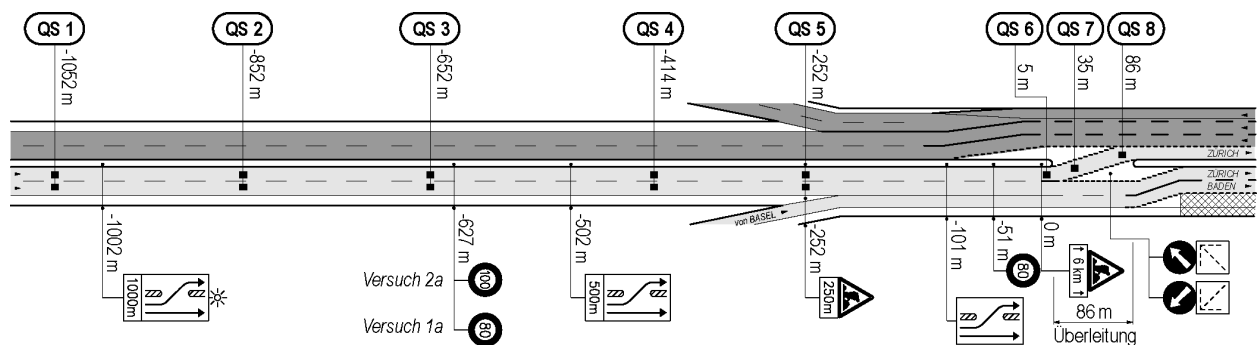


Abb. 5-34: Messanordnung an der Untersuchungsstrecke AG1

5.4.1. Geschwindigkeitsverhalten

Die Messergebnisse basieren auf den Angaben im ANHANG 4. In der Tabelle zur Standardabweichung ist auch die Anzahl ausgewerteter Fahrzeuge angegeben (Spalte „Alle Fz“). Diese Angabe bezieht sich auf die jeweilige Versuchsdauer. Dabei ist zu beachten, dass die Dauer beim Versuch AG1 2a lediglich 40 Minuten betrug, während der Versuch AG1 1a 1:40h dauerte (vgl. Tab. 3-2).

Die stündlichen Verkehrsstärken waren bei beiden Versuchen etwa gleich gross (ca. 1'700 bzw. 1'900 Fz/h auf der A1-Fahrbahn). Zu Beginn der Überleitung findet eine Fahrstreifenaddition statt. Aus der Fahrtrichtung gesehen rechts, wird zu den bestehenden Fahrstreifen ein weiterer hinzugefügt. Es handelt sich hierbei um eine Einfahrt von der A3 aus Richtung Basel in die A1. Insbesondere auf das Geschwindigkeitsverhalten des Normalfahrstreifens dürfte diese Einfahrt Auswirkungen haben. Während der Überholfahrstreifen auf die Fahrbahn der Gegenrichtung übergeleitet wird, werden der Normalfahrstreifen und der addierte Fahrstreifen erst weiter stromabwärts verschwenkt (vgl. Abb. 5-34). Auch die Tatsache, dass bereits weit vor der Baustelle permanent eine generelle Tempolimit von 100 km/h gilt (Autobahnverzweigung), ist für die Beurteilung der Geschwindigkeit ebenso von Bedeutung wie die Ankündigung permanenter Radarüberwachung¹⁵ und der erhöhte Schwerverkehrsanteil. Im Bereich der Überleitung liegen nur Messdaten für den Überholfahrstreifen vor. Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass anders als bei den übrigen Untersuchungsstrecken bei beiden Versuchen (80 / 100 km/h) die Überleitung mit 80 km/h signalisiert war (siehe Abbildung 5-28).

5.4.1.1. Geschwindigkeitsverteilung

Als Kenngrösse für die Geschwindigkeitsstreuung wird wieder die Standardabweichung (S) betrachtet. Die Betrachtung findet für jeden einzelnen Querschnitt getrennt nach den beiden Fahrstreifen und für die Mittelwerte der Bereiche Beginn der Zufahrt (1/2/3), Ende der Zufahrt (4/5) und Überleitung (6/7/8) statt.

- *Einfluss der Tempolimit*

Die Tabelle 5-46 zeigt die Standardabweichungen bei den Tempolimiten 80 km/h und 100 km/h auf den beiden Fahrstreifen. Für den NS wurden an den Querschnitten QS6 bis QS8 keine Werte erhoben.

Standardabweichung S [km/h] (AG1 1a und 2a)										Alle FZ		Mittelwerte		
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ	1/2/3	4/5	6/7/8
100	NS	11.1	9.6	11.4	8.5	14.2				29.3	568	10.7	11.4	
80	NS	12.3	9.5	10.5	8.2	10.0				25.9	1371	10.8	9.1	
	ΔS	-1.2	0.1	0.9	0.3	4.2						-0.1	2.3	
100	ÜS	17.3	11.8	10.2	8.7	14.4	15.1	15.2	15.4	4.8	627	13.1	11.6	15.2
80	ÜS	16.4	12.0	11.5	9.3	9.7	10.7	10.6	11.5	3.5	1231	13.3	9.5	10.9
	ΔS	0.9	-0.2	-1.3	-0.6	4.7	4.4	4.6	3.9			-0.2	2.1	4.3

Tab.5-46: Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h und hohen Baken / Metallleitschranken als Leiteinrichtung

Kommentar:

- Generell sind die Standardabweichungen entlang der Zufahrt bei beiden Tempolimiten sehr ungleichmässig. Vor allem *auf dem NS* werden sie von Querschnitt zu Querschnitt abwechselnd grösser oder kleiner, wobei die Veränderungen teilweise beträchtlich sind. Dies dürfte mit den störenden Einflüssen des von rechts zügig einfahrenden A3-Verkehrs und den relativ beträchtlichen Verkehrsstärken zusammenhängen. Auf diesem Fahrstreifen war auch mit 25 bis 30% der Schwerverkehrsanteil sehr ausgeprägt.
- *Auf dem NS* liegen die S bei Tempolimiten 80 km/h leicht, am Ende der Zufahrt (QS5 bzw. Höhe Einfahrt A3) beträchtlich tiefer als bei Tempolimiten 100 km/h (ΔS von über 4 km/h).
- *Auf dem ÜS* ist die Situation insofern anders, als in der Zufahrt (QS1 bis QS4) in Richtung Baustelle die S bei beiden Tempolimiten kontinuierlich abnehmen, bei Tempolimiten 100 km/h nehmen sie dann beim QS5 massiv, von ca. 9 auf ca. 14 km/h zu und bleiben auf dieser Höhe auch in der Überleitung. Eine derartige Erhöhung der Geschwindigkeitsstreuungen in der Überleitung wurde bei den übrigen drei Untersuchungsstrecken nicht festgestellt. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich auch bei Tempolimiten 80 km/h, allerdings auf einem wesentlich niedrigeren Niveau. Dement-

¹⁵ Im Zufahrtsbereich befand sich jedoch keine Radaranlage.

sprechend liegen die S-Werte in den QS5 bis QS8 bei Tempolimite 80 km/h um 4 bis 5 km/h tiefer als bei Tempolimite 100 km/h. Im Vergleich dazu sind die Unterschiede zwischen den beiden Tempolimiten im Zufahrtbereich nur marginal.

5.4.1.2. Geschwindigkeitsverlauf

Der Geschwindigkeitsverlauf wird wiederum anhand der mittleren Geschwindigkeiten betrachtet. Hierzu werden die bei den zwei Versuchen erhobenen Geschwindigkeiten separat für den NS und den ÜS verglichen. Zusätzlich sind in den tabellarischen Zusammenstellungen die Geschwindigkeitsdifferenzen sowie die Werte der Verzögerung innerhalb der Abschnitte Zufahrt und Überleitung angegeben. Auch hier können für den NS auf Höhe der Überleitung keine Angaben gemacht werden. Es werden jeweils die Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit jenen bei Tempolimite 100 km/h verglichen.

- Einfluss der Tempolimite

Abbildung 5-35 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe der Gruppe alle Fahrzeuge, wobei in der oberen Darstellung eine Tempolimite von 80 km/h und in der unteren Darstellung von 100 km/h signalisiert wurde.

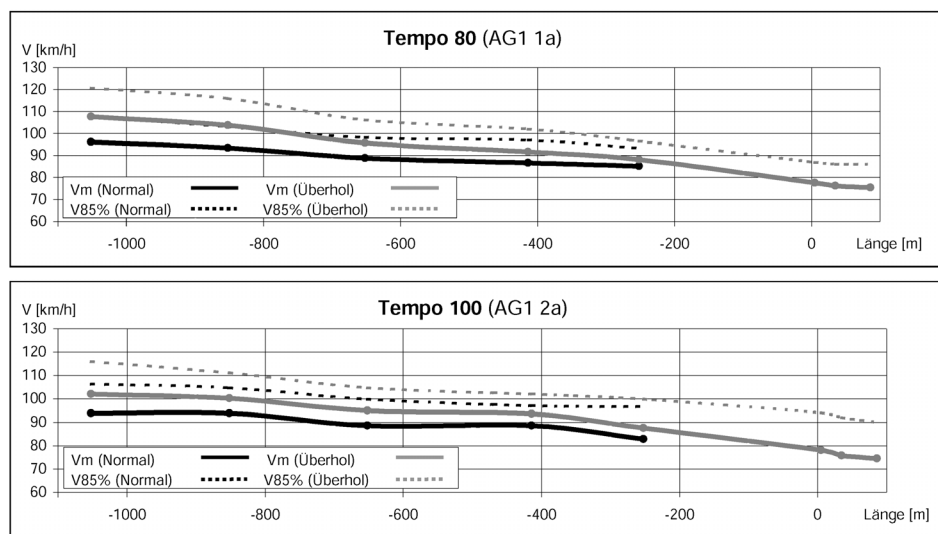


Abb. 5-35: Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke AG1 bei Tempolimite 80 km/h und 100 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke

Die Geschwindigkeitsabnahme in Richtung Baustelle erfolgt nicht gleichmässig. Bei beiden Versuchen ist eine erste Absenkung des Niveaus auf der Höhe des dritten Querschnittes feststellbar. Aus der Abbildung 5-34 ist ersichtlich, dass hier die Geschwindigkeitsanzeige (100/80 km/h) angeordnet ist. Eine zweite Verzögerung erfolgt dann auf dem ÜS nach dem QS5, hier als Anpassung auf die Geometrie der Überleitung. Im Vergleich der zwei Tempolimiten ist das höhere Geschwindigkeitsniveau beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h zu Beginn der Zufahrt auffallend, vor allem auf dem ÜS (vgl. auch Tab. 5-47). In diesem Abschnitt galt bei beiden Versuchen die gleiche Tempolimite von 100 km/h (Tempo 80-Anzeige folgt erst nach QS3). Ob diese Diskrepanz angesichts der unterschiedlich grossen Stichproben nur zufällig war, muss statistisch überprüft werden. Eine andere versuchsbedingte Ursache ist nicht ersichtlich. Die in 5.4.4. erwähnte Störung des Verkehrsablaufs während des zweiten Versuchs hat sich zu Beginn der Zufahrt nicht ausgewirkt. In der Überleitung selbst liegen die mittleren Geschwindigkeiten bei beiden Versuchen unterhalb der Tempolimite von 80 km/h.

V _m [km/h], ΔV [km/h] und a _m [m/s ²] (AG1 1a und 2a)										Zufahrt		Überleitung	
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8	ΔV _{1/5}	a _m	ΔV _{6/8}	a _m
100	NS	93.8	93.8	88.5	88.6	82.8				11.0	0.09		
80	NS	96.1	93.5	88.8	86.7	85.2				10.9	0.10		
	ΔV	-2.3	0.3	-0.3	1.9	-2.4							
100	ÜS	102.0	100.2	95.0	93.5	87.5	78.0	75.8	74.5	14.5	0.13	3.5	0.25
80	ÜS	107.7	103.7	95.7	91.7	88.1	77.6	76.3	75.5	19.6	0.19	2.1	0.15
	ΔV	-5.7	-3.5	-0.7	1.8	-0.6	0.4	-0.5	-1.0				

Tab. 5-47: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 km/h und 80 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke

Kommentar:

- Bei beiden Versuchen wird auf die Anzeige der Tempolimite auf beiden Fahrstreifen deutlich reagiert (Geschwindigkeitsabnahme zwischen QS2 und QS3), bei Anzeige „80 km/h“ allerdings nicht in adäquatem Mass: Die mittleren Geschwindigkeiten in QS3 sind bei beiden Versuchen praktisch identisch und beim Versuch mit 80 km/h liegen sie mit ca. 89 km/h weit über der Tempolimite.
- In der Überleitung sind die mittleren Geschwindigkeiten bei beiden Versuchen fast gleich hoch und liegen auch bei Anzeige „100 km/h“ knapp unter 80 km/h. Bei dieser Anzeige sind nur die mittleren Verzögerungen etwas grösser als beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h.

- *Einfluss auf schnell fahrende Fahrzeuge*

Auch bei diesem Vergleich soll die $V_{85\%}$ dazu dienen, die Geschwindigkeitsverläufe der schnell fahrenden Fahrzeuge zu beurteilen. Es gilt, diese Geschwindigkeiten nach Möglichkeit gering zu halten, um einen homogenen Verkehrsfluss ohne abrupte Verzögerungen zu erzeugen.

Bereits in der Abbildung 5-35 fällt auf, dass die Unterschiede zwischen $V_{85\%}$ und V_m beträchtlich sind, vor allem auf dem ÜS, wo sie in der Überleitung noch zunehmen. Auf diesen Umstand wurde bei den Geschwindigkeitsstreuungen bereits hingewiesen (vgl. 5.4.1.1.). Die Tabelle 5-48 zeigt die Geschwindigkeiten der schnell fahrenden Fahrzeuge während der zwei Versuche getrennt nach Fahrstreifen.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h]									
Tempo 80 (AG1 1a und 2a)									
	Lage:	Anzeige 80/100			Anzeige 80			Überleitung	
Tempo	QS	1	2	3	4	5	6	7	8
100	NS	106.2	104.6	99.8	97.0	96.6			
80	NS	107.8	103.0	98.2	97.0	93.3			
	ΔV	-1.6	1.6	1.6	0.0	3.3			
100	ÜS	115.9	111.0	104.6	102.0	99.8	94.0	92.0	90.0
80	ÜS	120.7	115.9	106.2	102.0	96.6	87.0	86.0	86.0
	ΔV	-4.8	-4.9	-1.6	0.0	3.2	7.0	6.0	4.0

Tab. 5-48: Gegenüberstellung der Geschwindigkeiten $V_{85\%}$ bei Tempolimite 80 und 100 km/h mit hohen Baken/ Metallleitschranke

Die Geschwindigkeiten nehmen in Richtung Baustelle kontinuierlich ab und sind erwartungsgemäss auf dem ÜS deutlich höher als auf dem NS, vor allem beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h. Wie bei den V_m liegen auch die $V_{85\%}$ zu Beginn der Zufahrt beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h höher als beim Versuch mit Tempolimite 100 km/h. Die grösste Geschwindigkeitsreduktion erfolgt wie bei den V_m zwischen den Messquerschnitten QS2 und QS3. Sie ist auf dem ÜS deutlicher und beim Versuch mit 80 km/h stark ausgeprägt (-9.7 km/h gegenüber -6.4 km/h bei Tempolimite 100 km/h). Auffallend ist, dass die signalisierte Tempolimite 100 km/h erst ab QS5, jene von 80 km/h in keinem Messquerschnitt eingehalten wird. Dennoch liegen die $V_{85\%}$ -Werte in der Überleitung bei Tempolimite 80 km/h um 4 bis 7 km/h tiefer als bei Tempolimite 100 km/h.

5.4.2. Spurverhalten in der Überleitung

Abweichend von den anderen Untersuchungsstrecken findet die Betrachtung des Spurverhaltens im Bereich der Überleitung an der Untersuchungsstrecke AG1 nicht nur am Linksbogen der Überleitung sondern auch zu Beginn des anschliessenden Rechtsbogens statt. Die Vergleiche werden anhand von jeweils zwei Querschnitten pro Kreisbogen durchgeführt. Diese beschreiben jeweils den Anfang und die Mitte des Bogens. Verglichen werden im Folgenden jeweils die Standardabweichungen und die Abweichungen von der Fahrstreifenachse bei Tempolimite 80 und 100 km/h. Die herangezogenen Daten entstammen dem Anhang 5. Bei der Beurteilung der Ergebnisse gilt es die, durch die kürzere Versuchsdauer (40 Minuten) im Versuch 2a verursachte, geringere Anzahl Fahrzeuge zu berücksichtigen.

In der Tabelle 5-49 werden die Standardabweichungen der Versuche mit den Tempolimiten 80 und 100 km/h verglichen. Wie in 5.4.1. ist dabei zu berücksichtigen, dass anders als bei den übrigen Untersuchungsstrecken die Überleitung unabhängig von der Versuchsanordnung mit 80 km/h signalisiert war (vgl. Abbildung 5-34). Als Leiteinrichtung wurden an der Untersuchungsstrecke AG1 hohe Baken (rechts) bzw. Metallleitschranke (links) eingesetzt. In der Tabelle bezieht sich R1 auf den einleitenden Linksbogen, R2 auf den anschliessenden Rechtsbogen.

Standardabweichung [m]						
hohe Baken, alle Fahrzeuge (AG1 1a und 2a)						
Tempo	QS	Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2	∅ Abw.
	FS-Breite	3.75	3.70	3.40	3.10	
80	ÜS	0.35	0.31	0.29	0.31	0.32
100	ÜS	0.38	0.32	0.42	0.34	0.37
	Δ	-0.03	-0.01	-0.13	-0.03	-0.05

Tab. 5-49: Vergleich der Standardabweichungen bei Tempolimiten 80 und 100 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke

Die *Standardabweichungen* weisen nur geringe Unterschiede in den einzelnen Querschnitten auf. Für Tempolimiten 80 km/h liegen sie dabei durchwegs unter denen für Tempolimiten 100 km/h. Mit Ausnahme vom dritten Querschnitt (Anf. R2) sind sie jedoch so gering, dass sie auf Grund der Messtoleranz vernachlässigt werden können. Durchschnittlich treten Standardabweichungen von 0.32 m bei Tempolimiten 80 km/h und 0.37 m bei Tempolimiten 100 km/h auf. Ein Einfluss der Tempolimiten auf die Spurstreuung ist nicht ersichtlich.

Auch der Vergleich der mittleren Lage der Fahrzeugachsen, welcher in Abbildung 5-36 vollzogen wird, weist wenig Differenzen auf. Das Kurvenschneiden ist auch in dieser Überleitung vorhanden (mittlere Fahrzeuglage in beiden Kreisbogen weicht von der Fahrstreifenmitte gegen die Innenseite der Kurve ab).

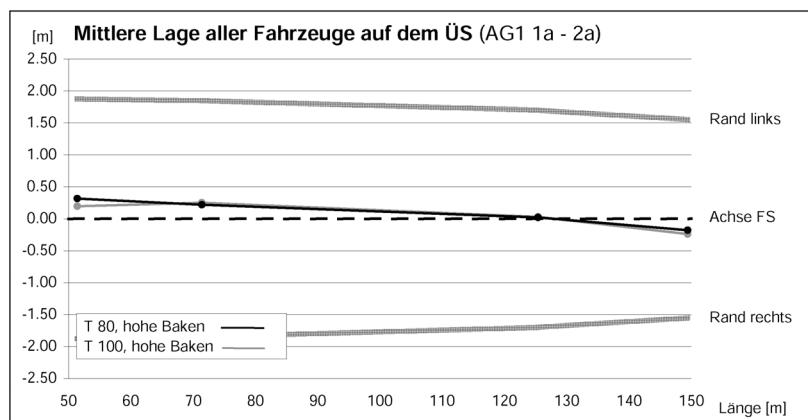


Abb. 5-36: Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei Tempolimiten 80 und 100 km/h mit hohen Baken

Bei beiden Versuchen werden die Kurven sowohl im ersten Kreisbogen (Linkskurve), als auch im zweiten Kreisbogen (Rechtskurve) deutlich geschnitten, wobei das Mass des Einschneidens in der Linkskurve grösser ausfällt, als in der anschliessenden Rechtskurve. Den grössten Einfluss haben die Tempolimiten auf die Zufahrt zum ersten Kreisbogen. Hier kann bei Abweichungen mittlerer Lage der Fahrzeugachsen von 0.32 m bei 80 km/h und 0.20 m bei 100 km/h eine Differenz von 0.12 m festgestellt werden. Im weiteren Verlauf der Überleitung ist die Lage der Fahrzeugachsen praktisch identisch. Diese Beobachtung deckt sich mit den bei der Untersuchungsstrecke SG2 (mit ebenfalls einstreifiger Überleitung) gewonnenen Erkenntnissen (vgl. 5.2.2.). Auch hier ist bei Tempolimiten 80 km/h und bei der Verwendung hoher Baken ein weiteres Ausholen zu verzeichnen. Bei der Strecke SG2 ist dieses Ausholen jedoch wesentlich ausgeprägter. Die mittlere Abweichung von der Fahrstreifenmitte betrug dort -0.86 m.

5.4.3. Fahrstreifenwechsel

Auch bei dieser Strecke konnte nur die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsellvorgänge während der zwei Versuche untersucht werden (vgl. ANHANG 6.4). Dabei handelt es sich um Wechsellvorgänge infolge Anzeige verschiedener Fahrtziele (Zürich bzw. Ausfahrt Baden, vgl. Abb. 5-34). In der Überleitung war keine Breitenbeschränkung signalisiert.

Trotz der unterschiedlichen Zielanzeige wurde auf der A1-Fahrbahn nur vom Normalfahrstreifen rechts auf den Überholstreifen links gewechselt. In umgekehrter Richtung (um die Ausfahrt Baden zu erreichen) konnten keine Fahrstreifenwechsel beobachtet werden.

Eine zweite Gruppe von Fahrstreifenwechsellern betrifft die Richtung von der A3 (additiv angefügter Fahrstreifen rechts von Basel) in die Fahrbahn der A1. Wie aus Abbildung 5-34 ersichtlich, waren solche FSW ohne Überfahren der Sicherheitslinie, die bis zur Spitze der Mittelstreifenüberfahrt angeordnet war, nicht möglich bzw. zulässig. Dennoch sind sie beobachtet worden. Ihre Häufigkeit war etwa halb so gross wie jene der (regelkonformen) FSW vom Normal- auf den Überholfahrstreifen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass der additiv angefügte Fahrstreifen ca. 400m nach Beginn der Mittelstreifenüberfahrt abgebaut war (einstreifige Führung entlang der Baustelle, vgl. Abb. 5-37). Gelegentlich konnten auch brüske FSW über beide A1-Fahrstreifen beobachtet werden. Darauf deuten auch die äusserst grossen Standardabweichungen der Geschwindigkeitsverteilung in der Überleitung hin (vgl. 5.4.1.1.).

Im Vergleich der zwei Versuche (bei Tempolimiten 80 bzw. 100 km/h) ergaben sich nur geringe Unterschiede. Die Häufigkeit der FSW in % der Gesamtbelastung ist bei Tempolimiten 100 km/h etwas kleiner (ca. 6.0%) als bei Tempolimiten 80 km/h (ca. 7.5%). Diese Grössenordnung ist vergleichbar mit jener bei der Untersuchungsstrecke SG2, die ebenfalls als 3+1-Betriebsform eingerichtet war.

5.4.4. Baustellenbedingte Verkehrsbehinderungen

Die Situation vor der Baustelle ist in der folgenden Abbildung veranschaulicht. Der Überholfahrstreifen der A1-Fahrbahn von Bern wird übergeleitet, der rechte Fahrstreifen nur verschwenkt; beide führen nach Zürich. Die stark belastete, einstreifige Einfahrt von der A3 wurde durch die Fahrbahnmarkierung so ausgelegt, dass das Einfahren in den linken Fahrstreifen der A1-Fahrbahn nicht erlaubt war¹⁶. Dieser Fahrstreifen wird bei km 0.400 abgebaut. Ab diesem Punkt beginnt eine Steigungsstrecke.

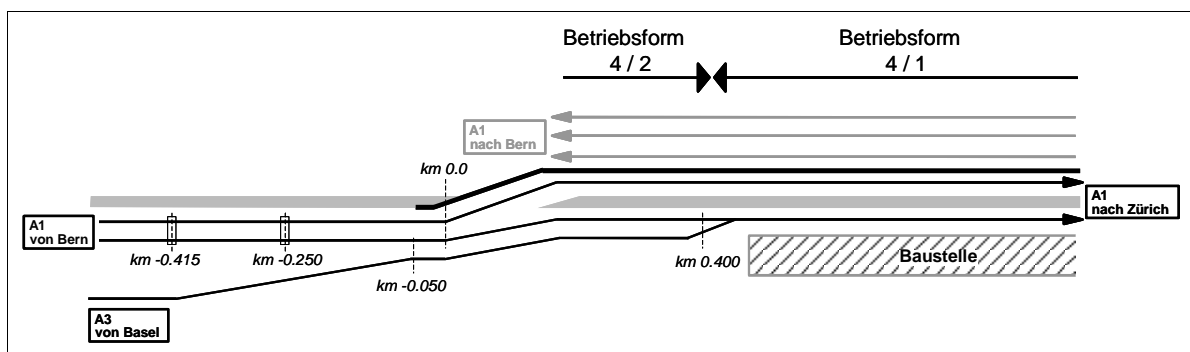


Abb. 5-37: Übersichtsskizze der Untersuchungsstrecke AG 1

Anders als bei den ersten drei Baustellen treten auf der Untersuchungsstrecke AG1 sehr hohe Verkehrsbelastungen auf, sodass auch während der Versuche, die bewusst in den Zwischenzeiten durchgeführt wurden, kurzzeitige Behinderungen des Verkehrs beobachtet wurden.

Die eigentliche Ursache der Behinderungen lag im Fahrstreifenabbau bei km 0.400. Von diesem Bereich baute sich der Stau stromaufwärts auf. Sobald sich der Stau der Mittelstreifenüberfahrt (hier km 0.000) näherte, begannen viele Fahrzeuge von diesem Fahrstreifen auf den übergeleiteten (linken) Fahrstreifen zu wechseln. Diese Vorgänge haben den Abfluss in der Überfahrt gehemmt, sodass dann beide Fahrstreifen von Bern einen Rückstau aufwiesen.

Diese Auswirkung konnte weiter stromaufwärts messtechnisch erfasst werden. Die folgende zwei Diagramme (vgl. Abb. 5-38 und 5-39) zeigen Ganglinienausschnitte am Messtag mit den Verläufen der Verkehrsstärke (Q) sowie der mittleren Geschwindigkeit (V) und Dichte (K) in Intervallen von 1 Minuten.

Die Darstellung in Abbildung 5-38 zeigt Ergebnisse am Messquerschnitt ca. 250 m vor dem Beginn der Überleitung. Während des zweiten Versuchs (AG1 2a, zwischen 13.30 und 14.10 Uhr) ist ein deutlicher Einbruch der mittleren V von ca. 90 auf ca. 50 km/h ersichtlich. Das bedeutet, dass um ca. 14.00 Uhr die Stauwelle bis zu diesem Querschnitt reichte.

¹⁶ Die Beobachtungen vor Ort haben dennoch gezeigt, dass die Markierung gelegentlich missachtet wurde.

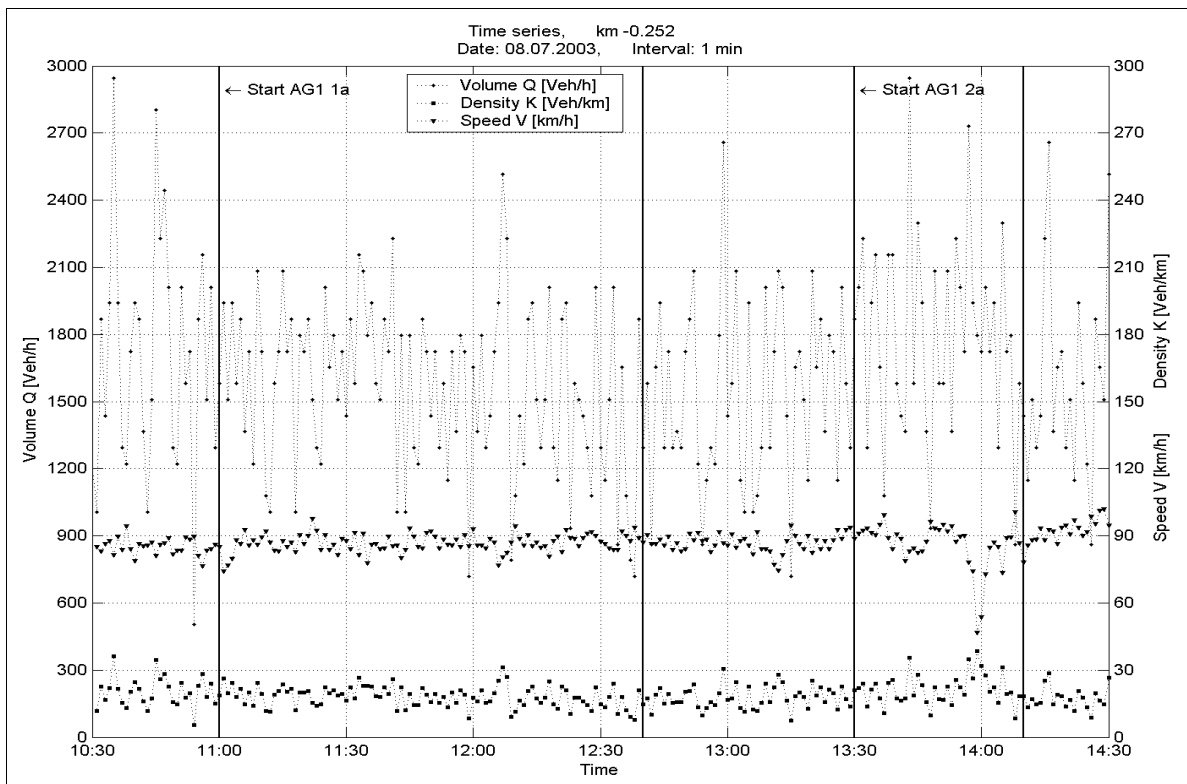


Abb. 5-38: Ganglinien der Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit am Messquerschnitt bei km -0.252

Die erwähnte Auswirkung ist beim nächsten, ca. 165 m entfernten Messquerschnitt stromaufwärts (km -0.415, vgl. Abb. 5-39) nicht aufgetreten. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen dort auch während der Dauer des Versuchs AG1 2a im Bereich von 90 km/h. Der Kolonnenverkehr mit Geschwindigkeiten um ca. 50 km/h ist nur bei km -0.250 gemessen worden, das Stauende (mit Stop and Go) befand sich also vor diesem Querschnitt.

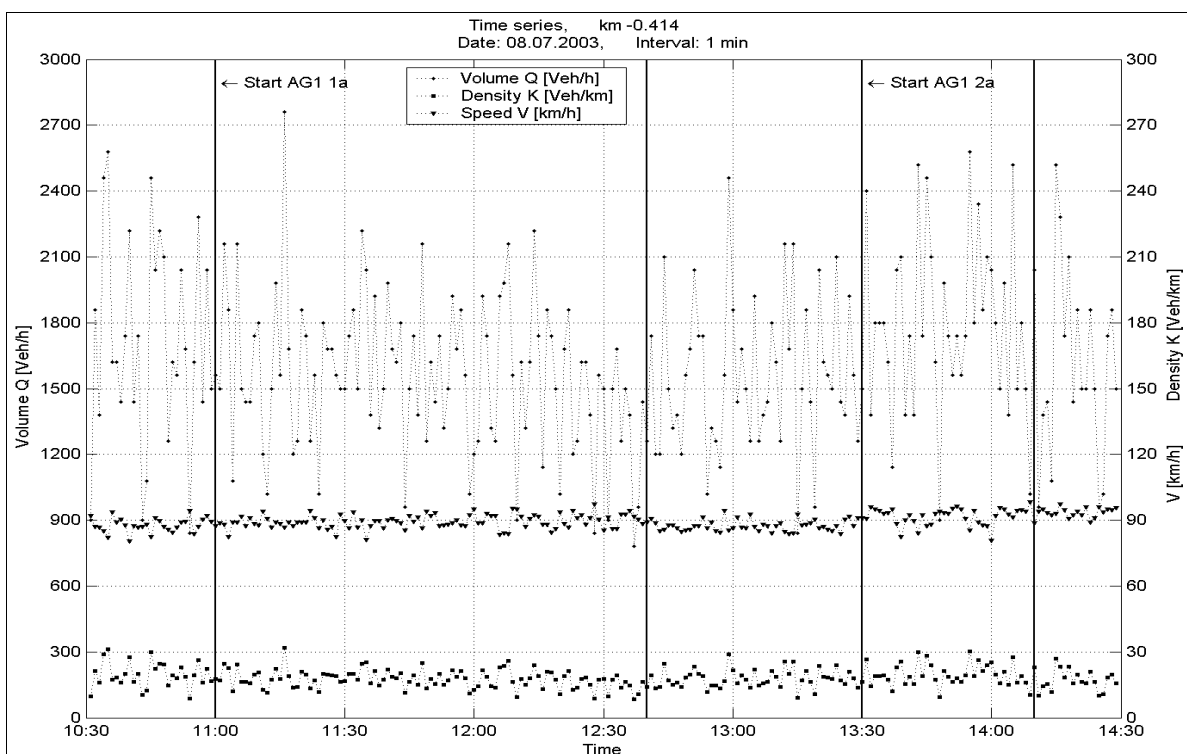


Abb. 5-39: Ganglinien der Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit am Messquerschnitt bei km -0.414

Die geschilderte Situation kommt auch in den entsprechenden Fundamentaldiagrammen zum Ausdruck (vgl. Abb. 5-40). Dargestellt sind dort nur Intervalle des Versuchs AG1 2a. Auffallend ist dabei, dass die im rechten Diagramm sichtbare Störung (km -0.250) bei relativ kleinen Verkehrsstärken auftritt. Sie variieren zwischen ca. 1'600 und 2'300 Fz/h auf zwei Fahrstreifen. Dementsprechend erreicht die Verkehrsdichte Werte von max. 30 bis 35 Fz/km. Auch diese Konstellation weist auf eine stromabwärts liegende Stauwurzel hin.

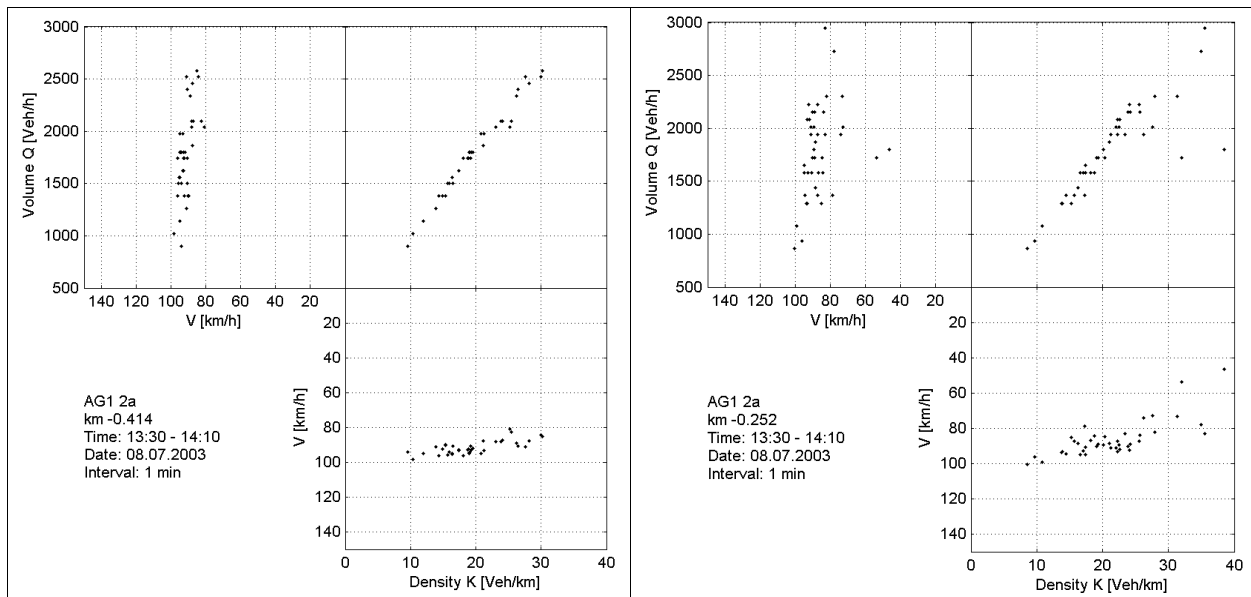


Abb. 5-40: Fundamentaldiagramme der Zeitperiode des Versuchs AG1 2a bei km -0.414 (links) und km -0.252 (rechts)

5.4.5. Erkenntnisse Untersuchungsstrecke AG1

Aus den Erhebungen an der Untersuchungsstrecke AG1 können Ergebnisse bezüglich des Einflusses der Tempolimiten auf das Geschwindigkeitsverhalten, das Spurverhalten und die Fahrstreifenwechsel gewonnen werden. Untersucht wurden die Auswirkungen der Tempolimiten 80 km/h und 100 km/h. Als Leiteinrichtungen in der Überleitung dienten hohe Baken und Metallleitschranken.

- *Geschwindigkeitsverhalten*

Aufgrund der Messanordnung können im Bereich der Überleitung nur Aussagen für den Überholfahrstreifen getroffen werden. Auf dem addierten Einfahrtsstreifen und dem Normalfahrstreifen haben keine Erhebungen stattgefunden. Für das Geschwindigkeitsverhalten ist weiter von Bedeutung, dass bereits vor der Untersuchungsstrecke eine Tempolimite von 100 km/h signalisiert wurde.

Die Standardabweichungen S der *Geschwindigkeitsverteilung* entlang der Zufahrt sind bei beiden Tempolimiten sehr ungleichmässig, vor allem auf dem Normalfahrstreifen. Auf diesem Fahrstreifen liegen die S bei Tempolimite 80 km/h leicht, am Ende der Zufahrt beträchtlich tiefer als bei Tempolimite 100 km/h. Auf dem Überholfahrstreifen nehmen die S in Richtung Baustelle bei beiden Tempolimiten kontinuierlich ab, bei Tempolimite 100 km/h nehmen sie dann beim QS5 massiv, von ca. 9 auf ca. 14 km/h zu und bleiben auf dieser Höhe auch in der Überleitung. Dementsprechend liegen die S -Werte in der Überleitung bei Tempolimite 100 km/h um 4 bis 5 km/h höher als bei Tempolimite 80 km/h. Derart grosse Geschwindigkeitsstreuungen wurden in der Überleitung bei keinem anderen Versuch festgestellt.

Aussagen zum Einfluss der Tempolimite auf den *Geschwindigkeitsverlauf* können anhand dieser Untersuchung kaum gemacht werden. Bei beiden Versuchen erfolgt die Geschwindigkeitsabnahme in Richtung Baustelle ungleichmässig. Eine erste Absenkung des Niveaus ist auf der Höhe der Geschwindigkeitsanzeige (100/80 km/h) ersichtlich, eine zweite Verzögerung erfolgt dann auf dem Überholfahrstreifen als Anpassung auf die Geometrie der Überleitung. Unabhängig vom Versuch sind die mittleren Geschwindigkeiten in der Überleitung fast gleich hoch und liegen auch bei Anzeige „100 km/h“ knapp unter 80 km/h. Demgegenüber sind die Ausgangsgeschwindigkeiten zu Beginn der Untersuchungsstrecke beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h deutlich grösser als beim Versuch mit Tempolimite 100 km/h. Eine Ursache hierfür ist vorerst nicht auszumachen.

Analog zur grossen Geschwindigkeitsstreuung sind auch die Unterschiede zwischen $V_{85\%}$ und V_m beträchtlich, vor allem auf dem Überholfahrstreifen, wo sie in der Überleitung noch zunehmen. Die Geschwindigkeiten der *schnell fahrenden Fahrzeuge* nehmen in Richtung Baustelle ab. Die grösste Geschwindigkeitsreduktion erfolgt auf der Höhe der Geschwindigkeitsanzeige. Sie ist auf dem Überholfahrstreifen deutlicher und beim Versuch mit 80 km/h stark ausgeprägt. Die signalisierte Tempolimiten 100 km/h wird erst am Ende der Zufahrt, jene von 80 km/h in keinem Messquerschnitt eingehalten. Dennoch liegen die $V_{85\%}$ -Werte in der Überleitung bei Tempolimiten 80 km/h deutlich tiefer als bei Tempolimiten 100 km/h.

- *Spurverhalten*

Allgemein treten bei den Vergleichen bezüglich des Spurverhaltens nur geringe Unterschiede auf. Für die *Standardabweichungen* ergeben sich unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit annähernd konstante Werte. Einzig zu Beginn des Gegenbogens kann eine etwas grössere Streuung festgestellt werden. Ein Einfluss der Tempolimiten auf die Spurstreuung ist nicht ersichtlich.

Der Verlauf der *gemittelten Fahrzeugachsen* ähnelt jenem der Untersuchungsstrecke SG1. Auch hier kann ein weites Ausholen bei einer signalisierten Tempolimiten von 80 km/h beobachtet werden. Diese Abweichung fällt mit 0,32 m jedoch wesentlich geringer aus als an bei SG1.

- *Fahrstreifenwechsel*

Auch bei dieser Strecke konnte nur die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsellvorgänge untersucht werden. Es waren Wechsellvorgänge infolge Anzeige verschiedener Fahrtziele. Dennoch konnten nur Wechsellvorgänge vom Normalfahrstreifen rechts auf den Überholfahrstreifen links beobachtet werden. Die zweite Gruppe von Fahrstreifenwechseln betrifft die Richtung von der A3 in die Fahrbahn der A1. Im Vergleich der zwei Versuche (bei Tempolimiten 80 bzw. 100 km/h) ergaben sich nur geringe Unterschiede. Die Häufigkeit der FSW in % der Gesamtbelastung ist bei Tempolimiten 100 km/h etwas kleiner (ca. 6,0%) als bei Tempolimiten 80 km/h (ca. 7,5%).

- *Baustellenbedingte Verkehrsbehinderungen*

Infolge hoher Verkehrsbelastungen konnten während des Versuchs mit Tempolimiten 100 km/h kurzzeitige Behinderungen des Verkehrs beobachtet werden. Ihre Ursache lag weiter stromabwärts und hing mit einem Fahrstreifenabbau und mit dem Beginn einer Steigungsstrecke zusammen. Die Auswirkungen dieser Behinderung reichten bis ca. 250-300 m vor den Beginn der Überleitung. Dies erklärt auch die leicht niedrigeren mittleren Geschwindigkeiten und auffällig höheren Standardabweichungen zwischen QS5 und QS8 während des Versuchs mit Tempolimiten 100 km/h gegenüber dem Versuch mit Tempolimiten 80 km/h.

6. Ergebnisse der Unfallauswertungen

6.1. Bisherige Erkenntnisse

Die bisherigen Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit an HLS-Baustellen in der Schweiz basieren auf Auswertungen von Unfalldaten durch die Forschungsstelle. Erkenntnisse ausländischer Baustellen wurden den entsprechenden Forschungsberichten entnommen.

Zur Beschreibung des Unfallgeschehens werden neben den absoluten Zahlen die relativen Kenngrößen verwendet. Die Aufteilung nach Unfalltypen entspricht der Gliederung des Bundesamtes für Statistik. Die wichtigsten relativen Häufigkeiten auf einer Strecke sind Unfall- und Verunfalltenrate. Bei der Unfallrate $[U_r]$ bzw. Verunfalltenrate $[VU_r]$ wird die Zahl der Unfälle $[U]$ bzw. Zahl der Verunfallten $[VU]$ in der Zeitperiode $[t]$ auf die Fahrleistung in Fahrzeugkilometer $[Fz \cdot km]$ bezogen. Die Fahrleistung auf einer Strecke (i) ist das Produkt aus

- durchschnittlichem täglichem Verkehr DTV $[Fz \text{ pro Tag}]$,
- Länge der Strecke l $[km]$,
- Zeitperiode bzw. Beobachtungszeit t $[Tage]$.

Im Sinne einer Konvention wird die Unfallrate auf 1 Mio. Fz·km, die Verunfalltenrate auf 100 Mio. Fz·km bezogen:

Unfallrate	$U_r = \frac{U_i \cdot 10^6}{DTV_i \cdot l_i \cdot t}$	$[U \text{ pro } 10^6 \text{ Fz} \cdot km]$
Verunfalltenrate	$VU_r = \frac{(V_i + G_i) \cdot 10^8}{DTV_i \cdot l_i \cdot t}$	$[VU \text{ pro } 10^8 \text{ Fz} \cdot km]$

Bei Streckenabschnitten mit konstanten Verkehrsbelastungen können auch die Unfall- und Verunfalltendichte für Vergleiche herangezogen werden. Darunter wird die Anzahl Unfälle bzw. Verunfallte bezogen auf die Streckenlänge l $[km]$ und die Beobachtungszeit T $[Jahre]$ verstanden.

Unfalldichte	$U_d = \frac{U_i}{l_i \cdot T}$	$[U \text{ pro } km \cdot \text{Jahr}]$
Verunfalltendichte	$VU_d = \frac{(V_i + G_i)}{l_i \cdot T}$	$[VU \text{ pro } km \cdot \text{Jahr}]$

Als Ausdruck der Unfallschwere kann die Anzahl Verunfallte pro Unfall (auch als Unfallschweregrad bezeichnet) verwendet werden.

In ausländischen Untersuchungen ist zudem die Verwendung der (Unfall)kostenrate gebräuchlich. Darin werden die monetarisierten Unfallfolgen gewichtet.

6.1.1. Unfallgeschehen an früheren HLS-Baustellen in der Schweiz

In den letzten 20 Jahren nahm auf dem Nationalstrassennetz die mittlere Unfallrate (U_r) wie auch die Verunfalltenrate (V_r) kontinuierlich ab und lag gemäss [9] im Jahre 1996 bei $U_r = 0.53$ und $V_r = 17.1$. Als massgebende Unfalltypen auf den Autobahnen sind mit rund 57% die Schleuder-/Selbstunfälle und mit 24% die Auffahrunfälle zu bezeichnen. Eine Studie der verkehrstechnischen Abteilung der Kantonspolizei Zürich und des IVT- ETH Zürich [17] zeigte, dass die Zahl der auf die Fahrleistung bezogenen Unfälle vor allem auf stark belasteten Autobahnabschnitten und bei relativ kurzer Anschlussfolge hoch ist.

Auf stark belasteten Autobahnen liegt der Hauptteil der Unfallschwerpunkte im Bereich von Anschlüssen und Verzweigungen. Der Anteil Auffahrunfälle nimmt gemäss [17] gegenüber dem durchschnittlichen Anteil von 24% auf über 60% zu, während die Schleuder-/Selbstunfälle von rund 57% auf 35% zurückgehen. Der Anteil der Unfälle beim Fahrstreifenwechsel ist gering. Das höhere Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen ist somit durch die Häufung der Auffahrunfälle geprägt. Diese hohe Anzahl Auffahrunfälle steht in direktem Zusammenhang mit den grossen Verkehrsmengen (zeitweise im Bereich der Leistungsfähigkeit) und den damit verbundenen Fahrverhaltensweisen (kurze Zeitlücken) der Verkehrsteilnehmer.

Im Vordergrund dieser Problematik stellt sich die Frage, wie sich das Sicherheitsniveau im Bereich von Baustellen von jenem im Betrieb ohne Baustellen unterscheidet. Zu diesem Zweck werden nachfolgend mehrere Beispiele der durch die Forschungsstelle analysierten Baustellen besprochen. Dabei ist die jeweilige Betriebsform bzw. die Art der Verkehrsführung zu berücksichtigen. Die Verkehrsführung im Baustellenbereich wirkt sich einerseits auf die Baustellenorganisation, den Bauablauf und die Bauzeit, andererseits aber auch auf den Verkehrsfluss und die Verkehrssicherheit aus. Die Betriebsform ist häufig bereits aufgrund der örtlichen Gegebenheiten weitgehend vorgegeben. Insbesondere bei Anschlussbauwerken oder Verzweigungen, die auch während der Bauzeit in Betrieb bleiben müssen, ist die aus Sicht der Verkehrsführung in der Regel bevorzugte Betriebsform 4+0 nicht oder nur schlecht realisierbar.

- *A2, Kantonsgrenze AG / LU - Sursee*

Bei der Belagserneuerung auf der A2 zwischen der Kantonsgrenze AG/LU und Sursee wurde während der rund 14-monatigen Bauzeit die Baustelle mit vier verschiedenen Verkehrsführungen betrieben. Zudem konnte die Unfallhäufigkeit in den Jahren vor der Belagserneuerung ermittelt werden. Die Unfall- und Verunfalltenraten wurden mit einer Baustellenlänge von 7,5 km und einem DTV von 30'000 Fahrzeugen berechnet.

Jahr	1996 (1)	1997 (1)	1998 (2)	1999 (2)
Unfallzahl	26	26	59 (26*)	40 (30*)
Unfallrate U_r	0.32	0.32	0.72	0.49
Verunfalltenzahl	14	23	32 (14*)	16 (12*)
Verunfalltenrate VU_r	17	28	39	20
Sachschaden pro Unfall (CHF)	14'835	13'012	15'712	16'400

(1) = ohne Baustelle

(2) = mit Baustelle (Hochrechnung auf ein Jahr)

(*) = Unfall- und Verunfalltenzahl während der Bauzeit

Tab. 6-1: Unfallgeschehen vor/während der Bauzeit, A2 Kantonsgrenze AG/LU - Sursee

Aus der Tabelle 6-1 ist ersichtlich, dass die Unfallrate 1996 und 1997, also vor der Inbetriebnahme der Baustelle, um rund 40% tiefer lag als die durchschnittliche Unfallrate ($U_r = 0.53$) auf dem Nationalstrassennetz. Während der Bauzeit ist die Unfallrate stark angestiegen und lag markant über den Vorjahreswerten ohne Baustelle.

Während der 14-monatigen Bauzeit wurde für die ersten fünf Monate 1998 die Verkehrsführung 3+1 gewählt. Durch die Verbreiterung des Fahrbahnquerschnitts konnte die Baustelle in den folgenden Monaten (1999) mit den Verkehrsführungen 4+0 resp. 2+2 verschwenkt betrieben werden. Die Autobahnanschlüsse durften nur während sehr kurzen Zeitperioden gesperrt werden, so dass bei der Verkehrsführung 4+0 mit einem zusätzlichen Fahrstreifen das Anschlussbauwerk erschlossen wurde (Verkehrsführung 4+1).

In Abbildung 6-1 sind die Unfallraten der Verkehrsführungen 3+1, 2+2 und 4+0 dargestellt. Ein grosser Anteil der Unfälle ereignete sich im Abschnitt des Anschlussbauwerkes. Die Unfallauswertung erfolgt somit separat für die Baustellenabschnitte B3 und B3i (vgl. 2.2.2.). Abschnitt B3 umfasst den Baustellen-Innenbereich und Abschnitt B3i umfasst den Baustellen-Innenbereich aber ohne Abschnitte mit Autobahnein- respektive -ausfahrt.

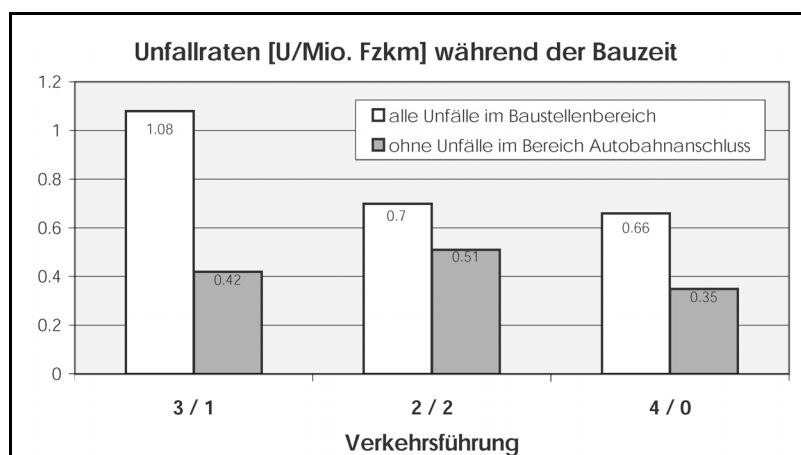


Abb. 6-1:
Unfallraten in Abhängigkeit
von der Verkehrsführung, A2
Kantonsgrenze AG/LU - Sursee

Aus der Darstellung ist deutlich ersichtlich, dass bei der Verkehrsführung 3+1 im Bereich des Autobahnanschlusses ein Unfallschwerpunkt lag. Die Unfallraten im Abschnitt B3i (Baustellen-Innenbereich) ohne Abschnitt mit Autobahnein- resp. -ausfahrt unterscheiden sich bei den drei verschiedenen Verkehrsführungen nur gering und liegen unter der durchschnittlichen Unfallrate der Hochleistungsstrassen des Jahres 1996 (0.53 U/Mio. Fz-km). Die grosse Differenz der Unfallrate der Verkehrsführung 3+1 zu den beiden anderen Verkehrsführungen liegt somit im Bereich des Anschlusses, bei dem sich bei der Verkehrsführung 3+1 über 50% der Unfälle ereigneten. Vermutlich liegt die Ursache in der einstreifigen Verkehrsführung (keine Ausweichmöglichkeit für den Hauptstrom bei einfahrenden Fahrzeugen).

- *A1, Rothrist - Lenzburg (AG)*

Die 1998 eingerichtete Baustelle zur Belagssanierung auf der stark belasteten A1 zwischen Rothrist und Lenzburg (DTV von bis zu 75'000 Fz/Tag) wurde in zwei Etappen unterteilt. Die Etappe R zwischen Ofterringen und Rothrist mit der Autobahnverzweigung Wiggertal und einer Länge von 4.2 km sowie die Etappe I zwischen Lenzburg und Suhr mit einer Länge von 9.4 km. Während bei der Etappe I die Verkehrsführung 4+0 resp. 2+2 zur Anwendung kam, musste infolge der Autobahnverzweigung für die Etappe R die Verkehrsführung 3+1 gewählt werden.

In der folgenden Tabelle sind die massgebenden Unfalltypen aufgeführt. Bei der Etappe R wurde zudem noch zwischen der unbeeinflussten Strecke im Baustellenbereich (ohne Anschlussbereiche) und der Strecke im Bereich der Anschlussbauwerke unterschieden. Von den insgesamt 70 registrierten Unfällen ereigneten sich 31 im Einfahrts- oder Verzweigungsbereich mit einfahrenden Fahrzeugen. Die Unfallrate im unbeeinflussten Baustellenbereich ohne die Einfahrtsunfälle war mit $U_r = 0.57$ nur etwa halb so gross wie mit den anschlussbedingten Unfällen.

Unfalltypen	Etappe I (4+0 / 2+2)		Etappe R (3+1)					
			Total		unbeeinflusst		Anschlussbauwerke	
Streifkollision	11	31%	17	24%	8	21%	9	29%
Auffahrkollision	9	25%	38	54%	18	46%	20	65%
Fahrerunfall	12	33%	10	14%	8	21%	2	6%
andere	4	11%	5	7%	5	13%	0	0%
Alle Unfälle	36		70		39		31	

Tab. 6-2: Unfalltypen in den Bauetappen I und R, A1 Rothrist - Lenzburg (AG)

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bei der Betriebsform 3+1 (Etappe R) die Auffahrkollision der massgebende Unfalltyp ist. Insbesondere im Bereich der Anschlussbauwerke mit den oftmals verkürzten Beschleunigungstreifen führen die hier vorliegenden hohen Verkehrsbelastungen zu einer Überforderung der Verkehrsteilnehmer und zu entsprechenden Fehlreaktionen.

- *A1, Limmattal (ZH)*

Bei der Belagssanierung der sechsstreifigen A1 im Limmattal wurde während der gesamten Bauzeit (15 Monate in den Jahren 1999 und 2000) die Verkehrsführung 4+2 mit Überleitung eines Fahrstreifens eingerichtet, wobei die zwei durchgehenden Fahrstreifen im Baustellenbereich zusätzlich verschwenkt wurden. Dieser A1-Abschnitt zwischen der Kantonsgrenze AG/ZH und der Verzweigung Limmattal wird im Durchschnitt von über 100'000 Fz/Tag befahren.

Bei dieser ca. 5.5 km langen Baustelle konnten die Unfälle auch nach den einzelnen Baustellenabschnitten (vgl. 2.2.2.) ausgewertet werden. In der folgenden Tabelle sind die Unfallzahlen der einzelnen Bauabschnitte aufgeführt.

Verkehrsführung *)		B1	B2	Baustellen-Innenbereich				B4
				B3	B3i	B3a	B3b	
2+4	U_r	0.51	1.84	0.82	0.37	2.05	1.68	0.20
	Unfälle	7	25	50	11	32	7	1
4+2	U_r	0.04	0.40	0.36	0.23	0.76	0.96	0.72
	Unfälle	1	2	26	13	9	4	3
Mittel	U_r	0.28	1.66	0.59	0.30	1.40	1.32	0.46
Total	Unfälle	8	27	76	24	41	11	4

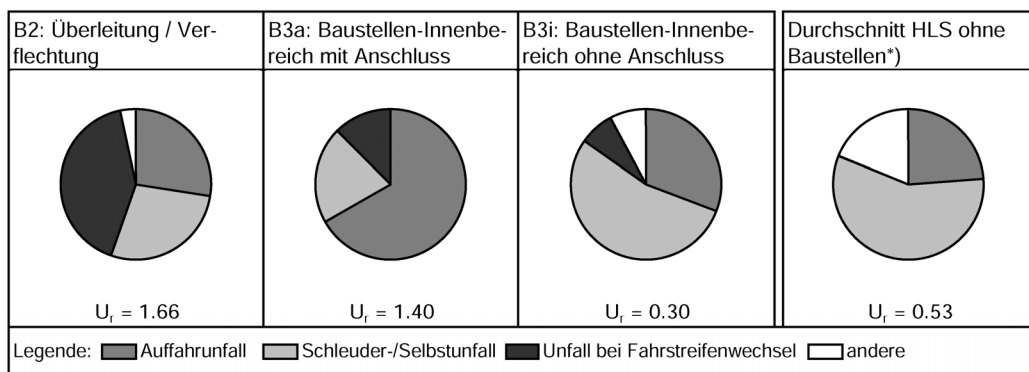
*) Anzahl Fahrstreifen in Richtung Bern und Zürich

Tab. 6-3: Unfälle und Unfallraten in den Baustellenabschnitten, A1 Limmattal (ZH)

Aufgrund der Unfallrate der einzelnen Abschnitte ist deutlich ersichtlich, dass die Abschnitte B2 (Überleitung/Verschwenkung, $U_i = 1.66$) sowie B3a, B3b (Baustellen-Innenbereich mit Anschluss bzw. Verzweigung, $U_i = 1.40$ bzw. 1.32) die kritischen Abschnitte darstellen. Von Bedeutung ist auch die Tatsache, dass der Baustellen-Innenbereich ohne Anschluss/Verzweigung (B3i) eine vergleichbar niedrige Unfallrate ($U_i = 0.30$) aufweist wie der ca. 1 km lange, beschilderte Zufahrtsbereich zur Baustelle (B1, $U_i = 0.28$).

Die folgende Abbildung zeigt für diese Baustelle die Aufteilung der Unfalltypen der Abschnitte B3i (Baustellen-Innenbereich ohne Abschnitte Anschluss/Verzweigung), B2 (Überleitung/Verschwenkung) und B3a (Baustellen-Innenbereich mit Anschluss). Zum Vergleich sind dort die durchschnittlichen Verhältnisse auf den HLS ohne Baustellen dargestellt.

Der Anteil der Unfalltypen Schleuder-/Selbstunfall und Auffahrunfall entspricht im Baustellen-Innenbereich ohne Anschluss (B3i) etwa jenem auf den HLS ohne Baustellen. Die Abschnitte B2 und B3a weisen demgegenüber eine grundsätzlich andere Struktur der Unfalltypen auf. So ereigneten sich im Abschnitt B2 über 40% der Unfälle beim Fahrstreifenwechsel und im Abschnitt B3a waren zwei von drei Unfällen Auffahrunfälle.



*) Der Anteil „andere“ enthält auch die Unfälle beim Fahrstreifenwechsel

Abb. 6-2: Unfalltypen und Unfallraten in ausgewählten Baustellenabschnitten, A1 Limmattal (ZH) und an HLS ohne Baustellen

Bei dieser Baustelle wurden auch die Zusammenhänge zwischen den Unfallzeiten und den dabei vorliegenden Verkehrsstärken¹⁷ untersucht. Die Abbildung 6-2 zeigt die mittleren Tagesganglinien der Werktage für die Fahrrichtungen Zürich und Bern ergänzt mit der Anzahl Unfälle, die sich während der Bauzeit je Fahrrichtung in den entsprechenden Tagesstunden ereignet haben. Daraus ist ersichtlich, dass die Unfallhäufigkeit nicht dem Verlauf der Verkehrsstärken folgt. Die höchste Unfallzahl liegt in der Regel ausserhalb der eigentlichen Verkehrsspitzen (hier 7 – 9 und 17 – 19 Uhr), vor allem in Fahrtrichtung Zürich.

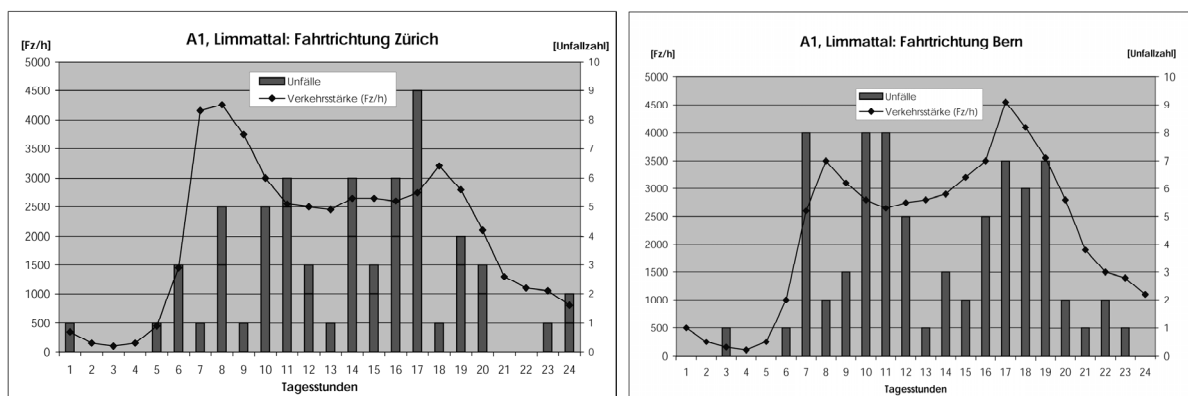


Abb. 6-3: Tagesganglinien der Verkehrsstärke und Unfallzahl pro Tagesstunde im Bereich der Baustelle A1, Limmattal (ZH)

Die obige Feststellung wird auch durch eine Auswertung bestätigt, in der die Zahl der Unfälle in den zwei kritischen Baustellenabschnitten (B2 und B3a) mit den stündlichen Verkehrsstärken, die zu den Unfallzeiten vorlagen, verglichen wird.

¹⁷ Die A1 hat in diesem Abschnitt 2 x 3 Fahrstreifen und wird an Werktagen von mehr als 100'000 Fahrzeugen befahren.

Verkehrsstärke pro Fahrtrichtung [Fz/h]	% DWV *)	Unfälle in B2 (Überleitung/Verschwenkung)		Unfälle in B3a (Anschlussbauwerke)	
		Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
0 – 500	21%	0	0%	0	0%
500 – 1'000	4%	0	0%	0	0%
1'000 – 1'500	15%	0	0%	0	0%
1'500 – 2'000	2%	1	4%	0	0%
2'000 – 2'500	6%	1	4%	1	4%
2'500 – 3'000	30%	13	48%	16	64%
3'000 – 3'500	10%	6	24%	3	12%
3'500 – 4'000	4%	1	4%	2	8%
4'000 – 4'500	8%	4	16%	3	12%
Total	100%	26	100%	25	100%

*) Durchschnittlicher Werktagsverkehr 1999

Tab. 6-4: Gegenüberstellung der Unfälle und Verkehrsstärken in den Baustellenabschnitten B2 und B3a, Baustelle A1 Limmattal (ZH)

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bei kleinen Verkehrsstärken auch in den kritischen Baustellenabschnitten kaum Unfälle geschehen. Die Unfallhäufigkeit konzentriert sich auf Verkehrsstärken mit mehr als 2'500 Fz/h. Interessant ist die Tatsache, dass nicht die höchsten sondern die mittleren Werte der Verkehrsstärken mit den höchsten Unfallzahlen korrelieren. Fast die Hälfte bzw. zwei Drittel aller Unfälle haben sich bei Verkehrsstärken zwischen 2'500 – 3'000 Fz/h ereignet, die während ca. 8 Stunden geherrscht haben. Dies entspricht 30% der Zeit der mittleren Tagesganglinie an Werktagen.

- A1, Umfahrung Winterthur [23]

Auf diesem bis zu 10 km langen Baustellenabschnitt wurden u.a. die Auswirkungen von Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit untersucht. Die Bauarbeiten erstreckten sich auf die Jahre 1994 bis 1997 und umfassten mehrere Bauphasen mit verschiedenen Betriebsformen. Die Anordnung von Massnahmen umfasste zwei Phasen. Die erste Phase umfasste die Anordnung verschiedenartiger Leit- und Trenneinrichtungen, in der zweiten Phase wurden verkehrspolizeiliche Massnahmen angeordnet. Die Beurteilung der Massnahmen erfolgte aufgrund der durchschnittlichen Zahl von Unfällen und Verunfallten pro Monat (bei annähernd unverändertem DTV von ca. 70'000 Fz/Tag).

In der ersten Phase wurden die Zustände ohne Baustelle, mit konventionellen Leit- und Trenneinrichtungen (hohe Baken), mit Leitschiene und niedrigen Baken sowie mit Leitmauern (sogenanntes New Jersey-Profil aus Beton, teilweise auch in niedrigerer Ausführung aus Kunststoff) verglichen. Die Ergebnisse dieser Phase sind in Abbildung 6-4 dargestellt. Sie zeigen, dass die Unfall- und vor allem Verunfalltenzahl im Baustellenbereich bei der konventionellen Anordnung (hohe Baken) gegenüber dem Zustand ohne Baustelle (100%) stark angewachsen war. Mit dem Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken konnte die Zahl der Unfälle deutlich reduziert werden, nicht aber jene der Verunfallten. Diese konnten erst beim Einsatz der Leitmauern mit New Jersey-Profilen deutlich reduziert werden. Sie bewirkten gegenüber den Zuständen mit hohen Baken bzw. mit Leitschiene mehr als eine Halbierung der Verunfalltenzahlen.

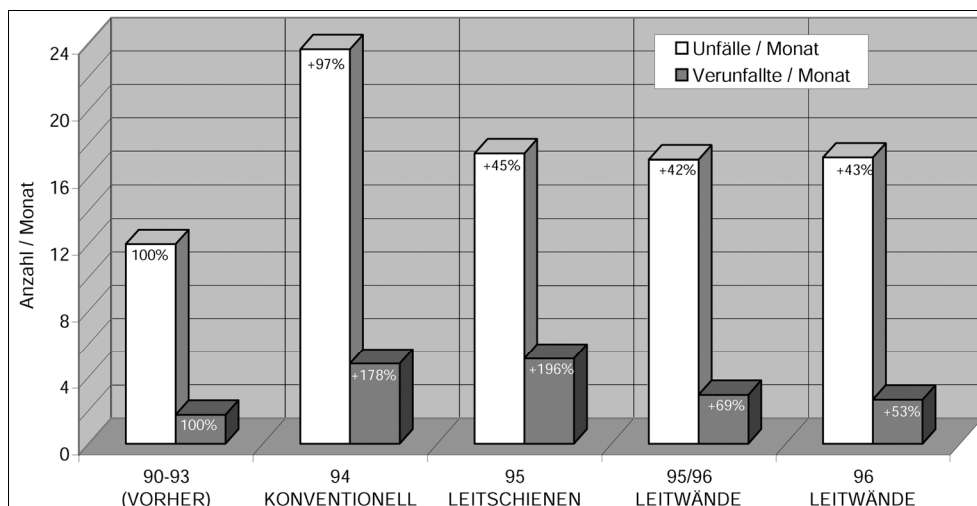


Abb. 6-4: Veränderung der Unfälle und Verunfallten infolge verschiedener Leit- und Trenneinrichtungen aus [23]

Die obige Abbildung zeigt, dass die Unfall- und Verunfalltanzahlen immer noch etwa 50% über denjenigen des Zeitraumes vor Baubeginn lagen. Die Erhebungen der Kantonspolizei Zürich haben gezeigt, dass die signalisierten Höchstgeschwindigkeiten schlecht eingehalten waren. In der Annahme, mit einer verbesserten Einhaltung der Tempolimiten bzw. mit Reduktion des Geschwindigkeitsniveaus ein zusätzliches Potential zur Verbesserung der Verkehrssicherheit ausgenutzt werden kann, wurden in einer zweiten Phase verkehrspolizeilichen Massnahmen angeordnet. Sie umfassten

- die Anordnung von Hinweistafeln „Radarkontrolle“ vor dem Baustellenbereich
- das Aufstellen einer gut sichtbaren Radarkabine (als Attrappe)
- das Aufstellen eines Geschwindigkeitswarnsignals kurz vor Überleitung (blinkendes Signal, das bei Überschreitung der Tempolimite aufleuchtet)
- sporadische mobile Geschwindigkeitskontrollen an wechselnden Standorten.

Das Ergebnis des Vergleichs zeigt die Abbildung 6-5. In der ersten Periode (Winter 96/97 war die Baustellentätigkeit stark reduziert. In den zwei folgenden Perioden umfasste der Baustellenbereich wiederum ca. 6 bis 7 km und als Leit- und Trenneinrichtungen wurden wie im Jahr davor (1996) die Leitmauern installiert¹⁸. Der direkte Vergleich der zwei letzten Perioden zeigt, dass mit der Anordnung der verkehrspolizeilichen Massnahmen die Verkehrssicherheit stark verbessert wurde, es ereigneten sich nur noch halb so viele Unfälle, bei denen nur noch ein Viertel der Personen verunfallte. Obwohl es sich hier um die Anordnung eines Massnahmenpaketes handelte, ist die primäre Wirkung der Geschwindigkeitsüberwachung offensichtlich.

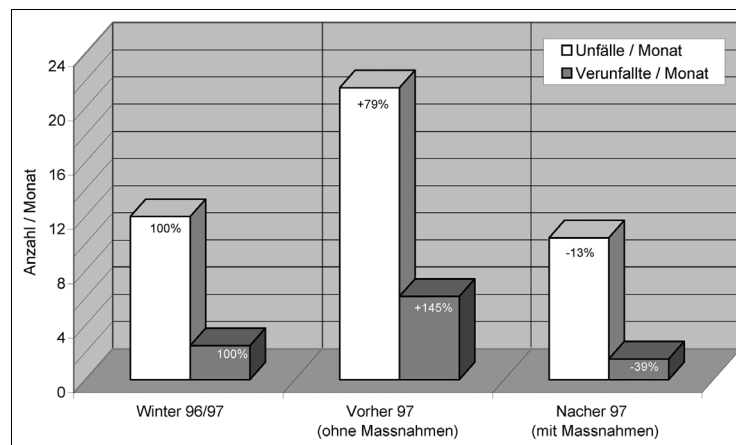


Abb. 6-5: Veränderung der Unfälle und Verunfallten in den Perioden ohne und mit verkehrspolizeilichen Massnahmen, aus [23]

- *A1, Will - St. Gallen*

Auf der Autobahn A1 Richtung St. Gallen wurden in den Jahren 2000 und 2001 auf einer Gesamtstrecke von 23.65 km ab der Kantongrenze zu Thurgau verschiedene Belagarbeiten durchgeführt. Die Bauarbeiten dauerten insgesamt kapp 15 Monate, wobei die Baustellen jeweils von März bis September bzw. Oktober eingerichtet waren. Die Bauarbeiten betrafen beide Fahrrichtungen und fanden in 4 Bauphasen mit wechselnden Verkehrsführungen statt. Sowohl die Betriebsform 3+1 als auch 4+0 wurden eingesetzt, wobei die Betriebsform 4+0 streckenmässig wesentlich mehr eingesetzt war.

Als Besonderheit ist zu nennen, dass beim Einsatz der Betriebsform 4+0, bei der sich in einer Bauphase die Fahrstreifen Richtung Zürich auf der Gegenfahrbahn befanden, am Anschluss Gossau das Queren der Baustelle notwendig war. Das Gleiche trat in einer anderen Bauphase mit den Fahrstreifen Richtung St. Gallen auf.

Dieser Autobahnabschnitt weist einen durchschnittliche täglichen Verkehr von 44000 Fz/d auf. Die Unfallauswertungen beziehen sich auf insgesamt ein Jahr Bautätigkeit und umfasst die Zeiträume 06.03. – 31.10.2000 und 05.03. – 01.07.2001. In diesem Zeitraum haben sich auf diesem Autobahnabschnitt insgesamt 75 Unfälle ereignet. Davon haben 17 Unfälle 25 Verletzte und 2 Tote gefordert. 40 der 75 Unfälle ereigneten sich im Baustellen-Innenbereich (B3i), 29 Unfälle passierten im Zusammenhang mit den Ausfahrten im Baustellenbereich (B3a) und 6 Unfälle geschahen in der Überleitung.

¹⁸ Der Vergleich der Perioden 1996 (letzte Säulen rechts in Abbildung 6-4) und Vorher 97 (mittlere Säulen in Abbildung 6-5) zeigt, dass sich die Unfall- und Verunfalltenhäufigkeit deutlich erhöht haben, obwohl in beiden Zeiträumen Leitmauern aus New Jersey-Profilen zur Führung und Trennung der Fahrzeugströme vorhanden waren.

Der gesamte Streckenabschnitt weist für das Jahr 2001 (mit Baustelle) eine Unfallrate U , von $0.197 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$ und eine Verunfalltenrate VU , von $7.11 VU/10^8 \cdot Fz \cdot km$ auf. Die Unfallrate und die Verunfalltenrate liegen also deutlich unter dem Schweizer Durchschnitt für Autobahnen. Die Unfallauswertung für die einzelnen Verkehrsführungen ist für die Betriebsform 3+1 in Tabelle 6-5 und für die Betriebsform 4+0 in Tabelle 6-6 zusammengefasst.

Für beide Betriebsformen zeigt sich eine Unfallhäufung im Baustellen-Innenbereich (B3i und B3a). In den Überleitungsbereichen B2 wurden nur wenige Unfälle registriert, sie waren jedoch folgenschwer (6 Unfälle mit 6 Verunfallten). Weder im Zufahrtbereich zur Baustelle (B1) noch in der Rückleitung (B4) passierten Unfälle während der Bauzeiten.

Bei der *Betriebsform 3+1* (Tabelle 6-5) geschahen die meisten Unfälle auf der offenen Baustellenstrecke (B3i). Bezogen auf die Streckenlänge waren jedoch die Unfälle in der Überleitung und im Anschlussbereich am häufigsten. Unfälle in der Überleitung waren mit Abstand am folgenschwersten. Bezüglich Unfalltyp überwiegen Schleuder- bzw. Selbstunfälle und Auffahrunfälle. Im Anschlussbereich (B3a) waren Unfälle bei Richtungswechsel am häufigsten, in der Überleitung (B2) jene bei Überholen/Fahstreifenwechsel. Der letztgenannte Unfalltyp ist bei dieser Betriebsform der Folgeschwerste aller Unfalltypen.

Unfalltyp \ Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Anzahl Unfälle mit Verletzten
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	
Auffahrunfall	0	1	3	1	0	5	0	2	0	0	0	2	1
Selbst-/ Schleuderunfall	0	0	7	1	0	8	0	0	1	0	0	1	1
Unfall bei Überholen / Fahstreifenwechsel	0	2	1	1	0	4	0	3	1	0	0	4	2
Unfall bei Richtungswechsel	0	0	0	3	0	3	0	0	1	0	0	1	1
weitere Unfälle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	3	11	6	0	20	0	5	3	0	0	8	5

Tab. 6-5: Unfallgeschehen bei der Betriebsform 3+1 auf A1, St. Gallen

Auch bei der *Betriebsform 4+0* (Tabelle 6-6) geschahen die meisten Unfälle auf der offenen Baustellenstrecke (B3i). Unfälle in diesem Baustellenabschnitt sind auch am folgenschwersten. Bezogen auf die Streckenlänge waren jedoch die Unfälle im Anschlussbereich (B3a) wesentlich häufiger. Bezüglich Unfalltyp dominieren die Schleuder- bzw. Selbstunfälle sowie die Auffahrunfälle und bei Überholen/Fahstreifenwechsel. Das Verhältnis zwischen diesen drei Unfalltypen ist ähnlich wie jenes bei der Betriebsform 3+1. Während im Abschnitt B3i die Typen Schleuder- bzw. Selbstunfall und Auffahrunfall vorherrschen, sind es im Abschnitt B3a die Typen Unfall bei Überholen/Fahstreifenwechsel und Schleuder- bzw. Selbstunfall. Anders als bei der Betriebsform 3+1, wo in der Überleitung (B2) keine Schleuder- bzw. Selbstunfälle auftraten, passieren hier bei der Betriebsform 4+0 nur Unfälle dieses Typs.

Unfalltyp \ Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Anzahl Unfälle mit Verletzten
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	
Auffahrunfall	0	0	10	4	0	14	0	0	9	1	0	10	7
Selbst-/ Schleuderunfall	0	3	12	7	0	22	0	1	3	2	0	6	3
Unfall bei Überholen / Fahstreifenwechsel	0	0	5	8	0	13	0	0	0	1	0	1	1
Unfall bei Richtungswechsel	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0
weitere Unfälle	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2	1
Summe	0	3	29	23	0	55	0	1	14	4	0	19	12

Tab. 6-6: Unfallgeschehen bei der Betriebsform 4+0 auf A1, St. Gallen

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Struktur der Unfalltypen bei beiden Betriebsformen ähnlich ist. Unterschiede zeigen sich jedoch in den einzelnen Baustellenabschnitten sowie in der Unfallschwere.

- *A51, Zürich - Flughafen*

Auf der Autobahn A51 zwischen dem Anschluss Kloten-Süd und der Verzweigung Zürich-Nord wurde im Zusammenhang mit dem Bau der Überdeckung Opfikon (Tunnel Bubenholz) von November 2003 bis Juni 2004 eine in der Anordnung wechselnde Baustelle eingerichtet. Die gesamte Baustelle umfasste 4 Phasen und erstreckte sich auf eine Länge von ca. 4.15 km. Im Bereich des späteren Tunnels kam die Betriebsform 4+0 zur Anwendung. Diese bestand während der gesamten Bautätigkeit (203 Tage). Zwischen den Anschlüssen Kloten-Süd und Glattbrugg wurden die Betriebsformen 2+2 und 3+1 eingesetzt. Die Betriebsform 2+2 bestand 133 Tage und die Betriebsform 3+1 nur 70 Tage. Als Besonderheit ist zu erwähnen, dass die Ausfahrten alle auf Höhe der Überleitungen/Verschwenkungen (Baustellenabschnitte B2 bzw. B4) lagen. Unfälle in diesem Bereich sind unter den Bezeichnungen B2a bzw. B4a gesondert aufgeführt. Im Innenbereich der Baustelle (B3) gab es keine Ausfahrten. Dieser Baustellenabschnitt wies im Jahr 2004 einen durchschnittlichen täglichen Verkehr von rund 74'000 Fz/Tag auf⁹.

Die Unfallauswertungen beziehen sich auf den gesamten Zeitraum der Bautätigkeit vom 26.11. 2003 bis zum 15.06.2004 (203 Tage). Insgesamt haben sich auf diesem Autobahnabschnitt 108 Unfälle ereignet. 22 dieser Unfälle forderten 27 Verunfallte. Die mittlere Unfallrate U_r während der Bauarbeiten (alle drei Betriebsformen) war mit $1.74 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$ ungewöhnlich hoch. Zum Vergleich betragen die Unfallraten im Zustand *ohne Baustelle* (Mittelwerte der Jahre 1997 – 1999 aus [22]) $0.43 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$ für Richtung Zürich und $0.44 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$ für Richtung Schaffhausen. Die Werte lagen also im Bereich des Durchschnittes für Schweizer Autobahnen (nach [9]).

Die Unfallauswertungen für die einzelnen Betriebsformen sind in Tabellen 6-7 bis 6-9 zusammengefasst. Sie zeigen die Verteilung der Unfälle und der Verunfallten auf die Unfalltypen und auf die Baustellenabschnitte.

Die *Betriebsform 2+2* (vgl. Tabelle 6-7) wurde am 133 Tagen eingesetzt. In dieser Zeit wurden 13 Unfälle registriert. Die Unfallrate für diese Betriebsform ergab sich zu $0.72 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$.

4 der 13 Unfälle ereigneten sich im Bereich der Ausfahrten. Die beiden Unfälle im Verschwenkungsbereich B2 entstanden im Zusammenhang mit der dort liegenden Ausfahrt. 3 weitere Unfälle traten im Bereich der Rückverschwenkung (B4) auf und 6 Unfälle im Nachlauf der Baustelle (B5). Im Innenbereich der Baustelle geschahen keine Unfälle.

Bei den Unfalltypen überwiegen die Typen Auffahrunfall, Selbst-/Schleuderunfall und Unfall bei Überholen/Fahstreifenwechsel. Die Hälfte der zwei letztgenannten Unfalltypen geschah jedoch im Zusammenhang mit den Ausfahrten.

Verkehrsführung 2+2

Zeitraum vom 26.11.03 - 06.04.04 (133 d)

Baustellenabschnitt \ Unfalltyp	Anzahl Unfälle								Anzahl Verletzte								Anzahl Unfälle mit Verletzten
	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total	
Auffahrunfall	0	0	0	0	1	0	3	4	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Selbst-/ Schleuderunfall	0	0	1	0	1	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unfall bei Überholen / Fahstreifenwechsel	0	0	1	0	0	1	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unfall bei Richtungswechsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weitere Unfälle	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	2	0	3	2	6	13	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Tab. 6-7: Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 2+2

Während der nur 70 Tage dauernden *Betriebsform 3+1* (vgl. Tabelle 6-8) ereigneten sich lediglich 2 Unfälle. Die Unfallrate für diese Betriebsform war dementsprechend mit $0.19 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$ sehr klein. Beim Vergleich mit der Betriebsform 2+2 ist zu berücksichtigen, dass diese weitgehend nur während der Wintermonate eingerichtet war, während die Betriebsform 3+1 in den witterungsgünstigeren Monaten April bis Juni betrieben wurde.

⁹ Der DTV auf diesem Abschnitt nimmt vom Norden nach dem Süden deutlich zu. Bei dem angegebenen Wert handelt es sich um ein gewichtetes Mittel.

Verkehrsführung 3+1

Zeitraum vom 07.04.04 - 15.06.04 (70 d)

Baustellen- abschnitt \ Unfalltyp	Anzahl Unfälle								Anzahl Verletzte								Anzahl Un- fälle mit Verletzten	
	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total		
Auffahrunfall	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Selbst-/ Schleuderunfall	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unfall bei Richtungswechsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weitere Unfälle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 6-8: Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 3+1

Die *Betriebsform 4+0* (vgl. Tabelle 6-9) war im Überdeckungsbereich während der gesamten Baustellenzeit eingerichtet. Dabei wurden auch die meisten Unfälle registriert. Dementsprechend war die Unfallrate für diese Betriebsform mit $2.81 \text{ U}/10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$ extrem hoch. Im Vergleich zu den zwei anderen Betriebsformen ergab sich bei der Betriebsform 4+0 auch ein auffallend höherer Unfallschweregrad: Bei jedem 4. Unfall waren hier Verunfallte zu beklagen.

Ungewöhnlich ist auch die ausgeprägte Häufung von *Auffahrunfällen* (79% aller Unfälle mit 96% aller Verunfallten), insbesondere im Baustellen-Innenbereich B3i, wo sich praktisch alle Unfälle mit Personenschäden ereigneten. Diese Tatsache hängt damit zusammen, dass während drei der insgesamt vier Bauphasen in der Fahrtrichtung Zürich eine *Fahrstreifenreduktion* (von 2 auf 1 Fahrstreifen im Baustellenabschnitt B4) eingerichtet war, die zu Staubildungen bis in den Baustellenabschnitt B3 führte. Dementsprechend geschahen fast 90% aller Unfälle in dieser Fahrtrichtung.

Die übrigen Unfalltypen waren Selbst-/Schleuderunfälle und Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel. Auch diese Typen konzentrierten sich auf den Baustellen-Innenbereich B3i.

Die meisten aller Unfälle treten bei dieser Betriebsform im Innenbereich der Baustelle auf (87%). Danach folgt die rückführende Überleitung B4 mit 7 Unfällen bzw. 7%. Die Unfälle im Bereich von Ausfahrten (B2a und B4a) machen lediglich 6% aus.

Verkehrsführung 4+0

Zeitraum vom 26.11.03 - 15.06.04 (203 d)

Baustellen- abschnitt \ Unfalltyp	Anzahl Unfälle								Anzahl Verletzte								Anzahl Un- fälle mit Verletzten
	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total	B1	B2	B2a	B3i	B4	B4a	B5	total	
Auffahrunfall	0	0	0	71	6	0	0	77	0	0	0	25	0	0	0	25	21
Selbst-/ Schleuderunfall	0	0	1	6	0	2	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel	0	0	1	6	1	2	0	10	0	0	0	0	0	1	0	1	1
Unfall bei Richtungswechsel	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weitere Unfälle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe	0	0	2	84	7	4	0	97	0	0	0	25	0	1	0	26	22

Tab. 6-9: Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 4+0

Die angesprochenen Unterschiede in der Unfall- und Verunfalltenhäufigkeit zwischen den drei Betriebsformen sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Betriebsform	Unfallrate U_f [$\text{U}/10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$]	Verunfalltenrate VU_f [$\text{VU}/10^8 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$]
2+2	0.72	5.52
3+1	0.19	0
4+0	2.81	75.20
alle zusammen	1.74	43.38

Tab. 6-10: Vergleich der Unfall- und Verunfalltenraten für die Betriebsformen auf A51

Die ungewöhnlich hohen Werte für die Betriebsform 4+0 beziehen sich auf alle 4 Bauphasen. Die Auswertung für die eine Bauphase ohne Fahrstreifenreduktion im Baustellenabschnitt B4 hat gezeigt, dass bei durchgehender Anzahl Fahrstreifen die Unfall- und die Verunfalltenrate kleiner waren als jene bei der Betriebsform 2+2.

- *Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse*

Die Erfahrungen aus den ausgewerteten Beispielen von früheren Baustellen an Autobahnen lassen sich hinsichtlich folgender Aspekte zusammenfassen:

- Generelle Veränderungen des Sicherheitsniveaus
- Einfluss der Betriebsform und der Baustellenabschnitte
- Einfluss der Anschlüsse/Verzweigungen
- Struktur des Unfallgeschehens
- Einfluss von Gestaltungsmaßnahmen

Im Vergleich zum Zustand ohne Bauarbeiten ergeben sich im Zustand mit Baustelle grundsätzlich höhere Unfall- und Verunfalltenhäufigkeiten. Das Ausmass der *Veränderungen im Sicherheitsniveau* ist jedoch stark unterschiedlich (vgl. Tabelle 6-11). Das Spektrum reicht von keine bis zu mehrfache Zunahme der Unfallhäufigkeit. Die unterschiedlichen Veränderungen sind von der Betriebsform (und indirekt auch von der Baustellenlänge), von der Auslastung und von der Art der Massnahmen zur Verkehrsführung abhängig. Dies bedeutet, dass Sicherheitsverbesserungen grundsätzlich möglich sind.

Baustellenabschnitt / Länge	Zeitraum	DTV [Fz/h]	Unfallrate U_r [$U/10^6 \cdot Fz \cdot km$]		Bemerkung
			ohne Baustelle	mit Baustelle	
A2, Kantonsgrenze AG/LU – Sursee / 7.50 km	1996-1999	30'000	0.32	0.72 * 0.49 **	* Betriebsform 3+1 ** Betriebsformen 2+2 und 4+0
A1, Rothrist – Lenzburg (AG) / 4.20 km	1998	75'000	-	0.57	Betriebsform 3+1, nur Baustelleninnenbereich ohne Unfälle bei Anschlüssen
A1, Limmattal (ZH) / 5.50 km	1999-2000	100'000	0.20*	0.59**	* ohne Unfälle bei Anschlüssen, aus [21] ** Betriebsformen 4+2 bzw. 2+4, nur Baustellen-Innenbereich inkl. Unfälle bei Anschlüssen
A1, Wil - St. Gallen / 23.65 km	2000-2001	44'000	0.29*	0.20**	* Teilabschnitt von 11.3 km Länge ** Betriebsformen 3+1 und 4+0
A51, Zürich – Flughafen / 4.15 km	2003-2004	74'055	0.44****	1.74 0.72* 0.19** 2.81***	alle Betriebsformen * nur Betriebsform 2+2 ** nur Betriebsform 3+1 *** nur Betriebsform 4+0 **** aus [22]

Tab. 6-11: Unfallraten im Bereich von früheren HLS-Baustellen

Gegenüber den *Betriebsformen* 2+2 und 4+0 weist die Betriebsform 3+1 in der Regel eine höhere Unfallrate auf. Die Auswertung hat jedoch gezeigt, dass dies weitgehend auf die überdurchschnittlich häufigen Unfälle im Bereich von Anschluss- und Verzweigungsbauwerken im Baustellen-Innenbereich zurückzuführen ist. Ohne diesen Einfluss wäre die Betriebsform 3+1 mit den zwei anderen Betriebsformen hinsichtlich Verkehrssicherheit vergleichbar. Die Baustellen-Innenbereiche ausserhalb der Anschlüsse (B3i) weisen bei allen Betriebsformen in der Regel keine höhere Unfallhäufigkeit als im Zustand ohne Baustelle auf. Hingegen sind die Bereiche mit Überleitungen (B2) überdurchschnittlich unfallträchtig. Dies scheint bei 1-streifigen Überleitungen (Betriebsform 3+1) mehr der Fall zu sein als bei 2-streifigen Überleitungen (Betriebsform 4+0). Die Zufahrten zur Baustelle (B1) und die Rückleitungen (B4) weisen in den meisten Fällen keine erhöhte Unfallhäufigkeit auf.

Anschluss- bzw. Verzweigungsbauwerke im Baustellen-Innenbereich bilden in der Regel – und zwar unabhängig von der Verkehrsführung – die Unfallschwerpunkte. Dies kommt vor allem bei der Betriebsform 3+1 zum Ausdruck, wenn die Ein- und Ausfahrten auf der einstreifig betriebenen Autobahnseite vorhanden sind. Die Unfallraten ohne Berücksichtigung der Unfälle im Anschlussbereich sind bei allen Betriebsformen um 30% bis 60% kleiner. Mit den obigen Folgerungen wird indirekt auch die Baustellenlänge angesprochen. Bei längeren Baulosen lassen sich Anschlüsse im Baustellen-Innenbereich nicht vermeiden. In Anschlussbereichen ist somit eine deutlich verbesserte Gestaltung erforderlich.

Die *Struktur des Unfallgeschehens* ist abhängig von Betriebsform und Verkehrsauslastung. Sie ist zudem je nach Baustellenabschnitt unterschiedlich. Die drei häufigsten Unfalltypen sind Auffahrunfälle, Schleuder-/Selbstunfälle sowie Unfälle beim Überholen/Fahrstreifenwechsel. Die Einfluss der Verkehrsauslastung auf den Anteil verschiedener Unfalltypen manifestiert sich nur bei der *Betriebsform* 3+1: Bei dieser liegt der Anteil Auffahrunfälle zwischen ca. 25% (DTV < 50'000) und ca. 50% (DTV > 70'000), der Anteil Schleuder-/Selbstunfälle zwischen ca. 55% und 20% und der Anteil Unfälle beim Überholen/Fahrstreifenwechsel zwischen ca. 10% und 20%. Zwischen den *Betriebsformen* 4+0, 4+2 und 2+2 variieren die Anteile nur wenig: Der mittlere Anteil Auffahrunfälle liegt zwischen ca. 25% und 30%, jener der Schleuder-/Selbstunfälle zwischen ca. 35% und 45% und der Anteil Unfälle beim Überholen/Fahrstreifenwechsel zwischen ca. 25% und 30%.

Die erwähnte grosse Streuung der Veränderungen im Unfallgeschehen ohne und mit Baustelle deutet an, dass mit geeigneten *Gestaltungsmassnahmen* Sicherheitsverbesserungen erreicht werden können. Dies haben Versuchsanordnungen mit verschiedenen Leit- und Trenneinrichtungen sowie die Anordnung von Überwachungsmassnahmen gezeigt. Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung der *Anschlussbereiche* vor.

6.1.2. Unfallgeschehen an ausländischen Autobahnbaustellen

Nachfolgend wird auf Ergebnisse der Unfalluntersuchungen an ausländischen Autobahnbaustellen eingegangen. Ausgewählt wurden Unterlagen mit konkreten Angaben, die sich für quantitative Vergleiche mit Ergebnissen aus der Schweiz eignen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die meisten Unterlagen auf älteren Daten, vorwiegend aus den 80er Jahren basieren. Zudem lässt sich aus den Unterlagen nicht feststellen, auf welche Art die Trennung zwischen den Fahrtrichtungen im Baustellenbereich erfolgte.

- KOCKELKE, ROSSBANDER; 1988 [14]

In dieser Arbeit Unfalldaten der Jahre 1987 und 1988 für 7 Baustellen auf deutschen Bundesautobahnen mit verschiedenen Verkehrsführungen ausgewertet. Die Autobahnbaustellen waren zwischen 3,5 und 4,2 km lang. 4 der Baustellen hatten die Betriebsform 4+0. Einzelheiten sowie die DTV-Angaben sind in der Tabelle 6-12 zusammengestellt.

Lfd. Nr.	Baustelle Richtung	Typ	Verkehrsführung	Fahrstreifenanzahl im		DTV [Kfz / d, Ri]	Geschwindigkeitsbegrenzung im Annäherungsbereich	Länge der Baustelle	Länge des Innenbereichs	Spurbreite im Innenbereich	Art der Überleitung	Bemerkungen
				Annäherungsbereich	Innenbereich							
1	Siegburg A 3 Richtung Frankfurt	2	4 : 0	3	2	24000	keine	3580	1070	schmal 2 m / 2,50 m	Überwertung nach links	Annäherungsbereich hat mittleres Gefälle Baustelle liegt im Bereich einer leichten Linkskurve
2	Königswinter A 3 Richtung Frankfurt	1	3 : 3	3	3	23000	keine	3917	1690	eingengt	leichte Verziehung nach links	Geschwindigkeits-trichter ist um 200 Meter verschoben
3	Siegburg A 3 Richtung Köln	2	4 : 0	3	2	24000	keine	3782	1230	2 m / 3 m	leichte Verziehung nach rechts	Baustelle liegt im Bereich einer leichten Rechtskurve
4	Klettenberg A 4 Richtung Aachen	2	4 : 0	2	2	33000	100	3477	1420	2 m / 3,50 m	leichte Verziehung nach rechts	Zu- und Abfahrt im Baustellenbereich Tempo 100
5	Kerpen A 4 Richtung Aachen	2	4 : 0 bzw. 2 : 2 : 0	2	2	25000	keine	3998	1940	normal	Überwertung nach links	Ausfahrt kurz vor der Überleitung
6	Kerpen A 4 Richtung Köln	2	2 : 2 : 0 bzw. 4 : 0	2	2	24000	100	4192	1990	normal	leichte Verschwenkung nach rechts	Tempo 100 Zu- und Abfahrt
7	Klettenberg A 4 Richtung Köln-Süd	2	4 : 0	3	2	32000	100	3975	1400	2 m / 3,50 m	Überwertung nach links	Tempo 100 im Annäherungsbereich Zu- und Abfahrt

Tab. 6-12: Angaben zu untersuchten Baustellen [14]

Für den Zeitraum der Bauphasen dienten Unterlagen von 1987 und 1988 und für den Zeitraum ohne Baustelleneinfluss wurden die Jahre 1983 und 1986 verwendet. Insgesamt ergab dies 429 Unfälle in der Bauzeit und 222 Unfälle für ohne Bauarbeiten. Die Auswertung der Unfälle erfolgte mit einer Einteilung der Baustellen in die Bereich Zulauf, 1. Überleitung, Innenbereich, und 2. Überleitung. Dies entspricht den in diesem Bericht festgelegten Abschnitten B1 (Zulauf), B2 (1.Überleitung), B3 (Innenbereich) und B4 (2. Überleitung bzw. Rückleitung). Die angegebenen Unfallraten dienen eher als Anhaltspunkte, da laut Aussage der Autoren keine genauen Belastungsangaben für die Baustellenabschnitte vorlagen und deshalb DTV-Angaben aus Langzeitählungen verwendet wurden. Aus den Unterlagen geht leider nicht hervor, ob es sich hierbei um alle Unfälle oder nur Unfälle mit Personenschäden handelt. Im vorliegenden Zusammenhang stehen deshalb nur Relationen der Unfalldaten im Vordergrund.

Die durchschnittliche Unfallrate auf westdeutschen Autobahnen lag gemäss [14] im Jahr 1986 bei $U_r = 0.49 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$. In Tabelle 6-13 sind Unfallraten der einzelnen Baustellen zusammengestellt. Die oberen Werte beziehen sich jeweils auf den Zustand der Bauphase, die unteren auf den Zustand ohne Baustelle.

Aus dem VORHER-NACHHER-Vergleich ergab sich, dass im Durchschnitt die Strecken mit Baustellen um ca. 44% unfallträchtiger waren als ohne Baustellen. Bei der im Vordergrund stehenden Betriebsform 4+0 (Baustellen 1, 3, 4 und 7) waren zwei Baustellen unfallträchtiger und zwei weniger unfallträchtig als im Zustand ohne Baustelle.

Die Betrachtung der einzelnen Baustellenbereiche ergibt für die Baustellenzeit an allen 7 Baustellen die höchste Unfallrate im 1. Überleitungsbereich B2 mit $U_r = 1.31 U/10^6 \cdot Fz \cdot km$. Danach folgt der Baustellen-Innenbereich B3 mit Werten von 1.20 und der Zulaufbereich B1 mit 1.08. Auch für die Betriebsform 4+0 war bei drei Baustellen (Nr. 1, 3 und 7) der 1. Überleitungsbereich am unfallträchtigsten, gefolgt vom Zulaufbereich und dem Innenbereich. Bei der Baustelle Nr. 4 war die Situation völlig anders: Am unfallträchtigsten war die Rückleitung, gefolgt vom Innenbereich und Zulaufbereich; in der 1. Überleitung geschahen mit Abstand die wenigsten Unfälle.

Baustelle Autobahn	Jahr	Zulaufbereich	1. Überleitung	Innenbereich	2. Überleitung	Gesamt- Baustelle
1 A 3	87	1,05	1,52	0,63	0,63	0,97
	86	0,62	0,38	0,25	0	0,48
2 A 3	87	1,09	0	0,62	0	0,79
	86	0,51	0	0,56	0,92	0,53
3 A 3	87	0,92	1,59	0,69	0,54	0,90
	86	0,87	0	0,12	3,26	0,73
4 A 4	87	0,72	0,40	1,23	1,48	0,93
	83	0,64	0,40	1,66	2,97	1,11
5 A 4	87	1,57	1,69	1,94	0,31	1,60
	83	0,45	1,26	1,42	0	0,84
6 A 4	87	1,10	2,73	2,70	2,71	1,96
	83	0,52	0	1,47	1,88	0,97
7 A 4	87	1,11	1,22	0,56	0	0,90
	83	0,91	0,82	0,97	0,82	0,92
Durchschnitt		1,08 0,65	1,31 0,41	1,20 0,92	0,81 1,47	1,15 0,80

Tab. 6-13: Unfallraten der Baustellen [14]

Ausgewertet wurde auch die Verteilung der Unfallarten bzw. -typen in den einzelnen Baustellenbereichen (Abbildung 6-6).

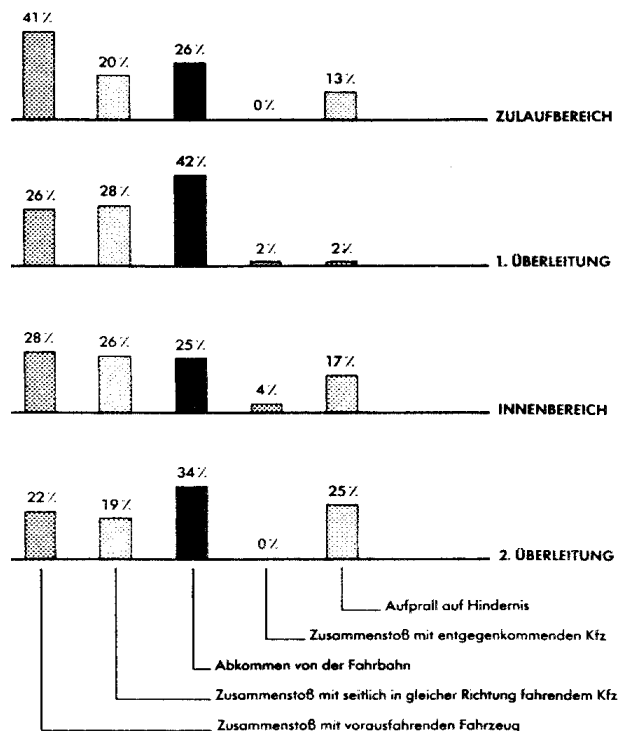


Abb. 6-6: Unfallarten in den Baustellenbereichen aus [14]

Im Zulaufbereich dominieren die Zusammenstöße mit vorausfahrendem Fz (Auffahrunfälle), In der Überleitung das Abkommen von der Fahrbahn (Schleuder-/ Selbstunfall). Relativ häufig sind auch Zusammenstöße mit seitlich in gleicher Richtung fahrenden Fahrzeugen (Streifkollision bei Überholen/Fahrstreifenwechsel). In allen Bereichen ist der Anteil an Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn auffallend hoch. Als Unfallursache hierfür wird in [14] unangepasste Geschwindigkeit angegeben.

- WEINSPACH; 1988 [39]

In dieser Arbeit wurden die Baustellenformen 4+0, 2+2 und 3+1 hinsichtlich der Raten aller Unfälle und jener der Unfälle mit schweren Personenschäden untersucht. Für die Baustellenbereiche in Deutschland galt zur Zeit der Berichterstellung noch eine Geschwindigkeitsbeschränkung von 60 km/h. Einbezogen wurden ca. 8'000 Unfälle der Jahre 1979 und 1980 auf Bundesautobahnen der Länder Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen (entspricht ca. 57% des bundesdeutschen Autobahnnetzes). In der Auswertung wurden 226 Baustellen berücksichtigt.

Wie bereits in [14] wird auch in [39] festgestellt, dass die Hälfte der „Unfälle mit Personen- oder schweren Sachschaden“ Auffahrunfälle sind. An zweiter Stelle folgen Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn mit ca. 20%. Als Unfallursachen im Bereich von Autobahnbaustellen werden zu geringer Abstand (20%) und unangepasste Geschwindigkeit (über 30%) festgestellt.

Die Abbildung 6-7 zeigt die Unfallraten für die einzelnen Baustellenabschnitte und für verschiedene Betriebsformen. In den Werten sind Einflüsse Anschlüssen/Verzweigungen im Baustellenbereich nicht enthalten. Danach sind über alle Betriebsformen betrachtet, der Innenbereich der Baustellen und die Überleitungsbereiche die unfallträchtigsten Abschnitte ($U_R = 1.3$ bis 1.4). Im Bezug auf die Unfälle mit schweren Personenschäden (U_{RSP}) kommen zu den genannten Baustellenabschnitten noch die Zufahrt (B1) und der unbeeinflusste Bereich vor der Baustelle (A) hinzu.

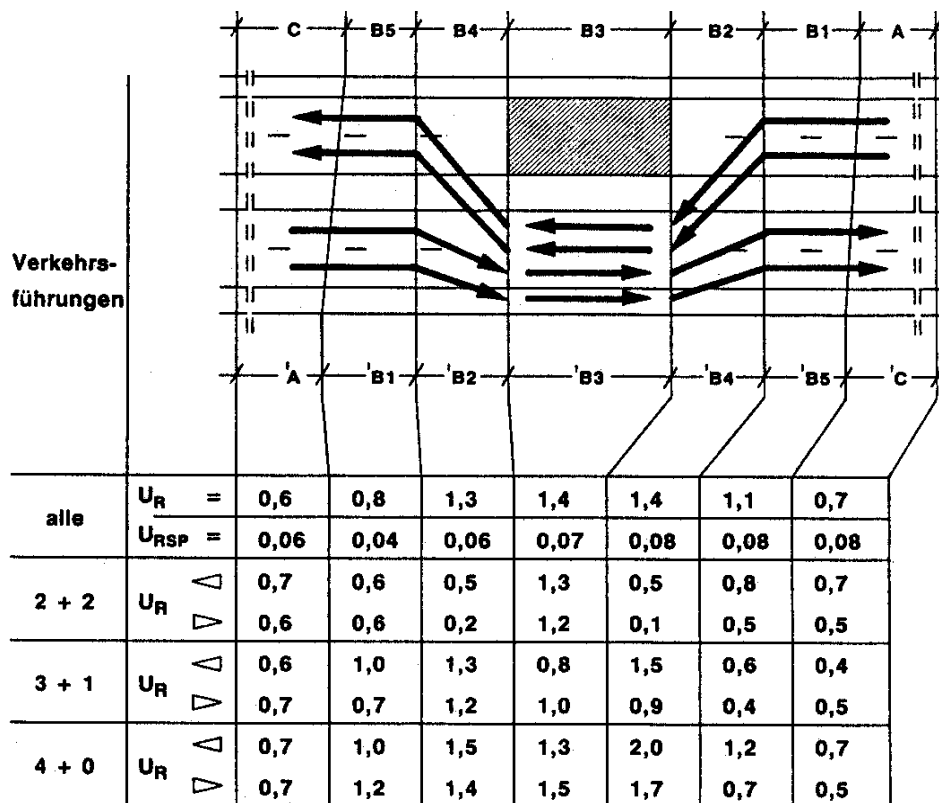


Abb. 6-7: Unfallraten im Bereich von Baustellen nach [39]

Die Unterscheidung nach Betriebsformen ergab für die *Betriebsform* 4+0 die höchsten Unfallraten im Bereich der Überleitungen B2 und B4 sowie für den Innenbereich der Baustelle B3. Dies gilt für beide Fahrtrichtungen. Die Unfallraten in diesen Abschnitten liegen über dem Durchschnitt für alle Betriebsformen. Der mit Abstand risikoreichste Abschnitt ist die Überleitung B2 auf die Gegenfahrbahn.

Die gleichen Baustellenabschnitte sind auch bei der *Betriebsform* 3+1 am unfallträchtigsten. Allerdings liegen die Unfallraten deutlich tiefer als bei der Betriebsform 4+0, was vermutlich auf den Einfluss der grösseren Fahrstreifenbreiten im Baustellenbereich zurückzuführen ist.

Die *Betriebsform* 2+2 ist im Baustellen-Innenbereich (B3) in den Unfallraten mit der Betriebsform 4+0 vergleichbar. Die Verschwenkungsbereiche (B2 und B4) weisen jedoch auffallend niedrigere Unfallraten auf.

In [39] hat man zudem das Verhältnis zwischen Unfallraten in baustellenbeeinflussten und -unbeeinflussten Bereichen auf Autobahnen gegenübergestellt (Tabelle 6-14). Einbezogen wurde auch die früher noch eingesetzte Betriebsform 2+1. Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass mit wenigen Ausnahmen (bei schweren Personenschäden) durchwegs Werte von grösser als 1.0 resultieren. Bei Vergleich der drei im Vordergrund stehenden Betriebsformen (4+0, 3+1 und 2+2) schneidet die Betriebsform 4+0 wiederum am ungünstigsten ab.

Verkehrsführungen	schwere Personenschäden	leichte Personenschäden	schwere Sachschäden	alle Schäden
1	2	3	4	5
2 + 2	0,7	1,4	1,4	1,3
4 + 0	1,1	1,9	2,2	2,0
3 + 1	0,8	1,2	1,7	1,5
3 + 2	1,6	1,3	1,5	1,5
2 + 1	3,9	4,7	2,5	2,9

Tab. 6-14: Verhältnisse Unfallrate in baustellenbeeinflussten zu Unfallrate in unbeeinflussten Bereichen auf Autobahnen nach [39]

- NADLER, HANKO, SCHREFEL; 1988 [20]

In dieser Arbeit haben die Autoren ca. 450 km Autobahnabschnitte in Österreich hinsichtlich des Unfallgeschehens in den Jahren zwischen 1981 und 1984 ausgewertet. Diese Auswertung beinhaltet rund 4'200 mit Personenschäden und über 2'200 Unfälle mit Sachschäden. Einbezogen wurde eine Vielzahl von Betriebsformen, die meisten davon waren mit Fahrstreifenabbau. Dementsprechend ist die Vergleichbarkeit mit den Angaben aus der Schweiz (vgl. 6.1.1.) beeinträchtigt.

Die in [20] verwendete Einteilung der Baustellen ist in Abbildung 6-8 veranschaulicht. Die Bereiche waren jeweils 200 m lang. Zum Vergleich sind dort die Baustellenabschnitte eingetragen, wie sie in vorliegender Arbeit verwendet wurden.

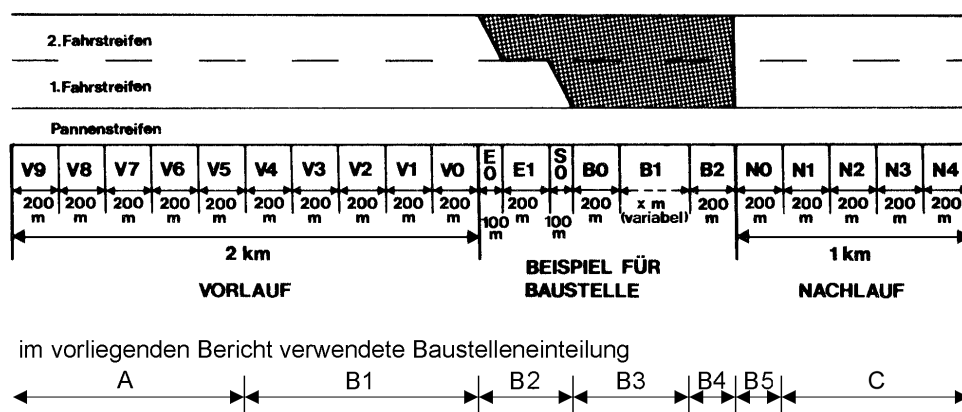


Abb. 6-8: Einteilung der Baustellen in Baustellenabschnitte in [20] und in vorliegender Untersuchung

Die Vorlaufbereiche V9 bis V5 entsprechen in vorliegender Untersuchung dem unbeeinflussten Bereich A, die Bereiche V4 bis V0 entsprechen dem Zufahrtsbereich B1 von 1'000 m Länge, in den Bereichen E0 und E1 fand der Fahrstreifenabbau statt und die Bereiche S0 bis S4 umfassen verschiedene Formen der Verschwenkungen und Überleitungen (Baustellenabschnitt B2). Die Baustellen-Innenbereiche (in dieser Untersuchung B3) wurden in [20] entsprechend ihrer Länge in die Bereiche B0 (erste 200 m bzw. nur kurze Baustelle), B1 (variabel und länger als 250 m) oder B2 (letzte 200 m) eingeteilt, wobei B2 die Rückleitung (in dieser Untersuchung B4) enthielt. Der Nachlaufbereich N0 entspricht dem Abstand zwischen Baustellenende und dem Signal zur Anzeige „Ende der Beschränkung“ (in dieser Untersuchung B5). Die Nachlaufbereiche N1 bis N4 umfassen der unbeeinflusste Bereich (C) nach der Baustelle.

Für die Betrachtung der einzelnen Baustellenabschnitte *über alle Betriebsformen* sind in Tabelle 6-15 die Unfallraten, getrennt für Unfälle mit Personenschäden (PS) und für Unfälle mit Sachschäden (SS) zusammengestellt. Danach ergaben sich die höchsten Raten für PS in den Verschwenkungen/Überleitungen (S1, S2) und der Baustellenbeginn (Bo). Bzgl. SS-Unfälle treten erhöhte Raten in Bereich zwischen Fahrstreifenabbau (Eo, E1), Verschwenkungen/Überleitungen (So bis S4) und Baustellenbeginn (Bo). In den genannten Abschnitten liegen die Unfallraten um mehrfaches höher als in den unbeeinflussten Abschnitten (V9 bis V5 und N1 bis N4), vor allem bzgl. Unfälle mit Sachschäden. Vergleichsweise niedrige Raten ergaben sich im Innenbereich längerer Baustellen (vgl. B1 in der Tabelle).

Abschnitt	V9	V8	V7	V6	V5	V4	V3	V2	V1	V0
PS	0,14	0,10	0,36	0,26	0,24	0,36	0,34	0,38	0,43	0,22
SS	0,57	0,67	0,53	0,60	0,70	1,03	0,93	0,91	1,03	0,93
Abschnitt	E0	E1	S0	S1	S2	S3	S4	B0	B1	B2
PS	0,40	0,14	0,44	0,85	0,85	0,43	0,21	0,61	0,18	0,26
SS	7,16	3,99	9,28	4,10	5,81	6,83	2,39	3,67	1,23	2,69
Abschnitt	N0	N1	N2	N3	N4					
PS	0,19	0,19	0,17	0,10	0,12					
SS	0,93	0,57	0,24	0,14	0,17					

Tab. 6-15: Unfallraten nach Untersuchungsabschnitten auf österreichischen Autobahnen nach [20]

Die Tabelle 6-16 zeigt die Unfallraten und -dichten für die ausgewerteten Autobahnabschnitte, im Vergleich der Zustände ohne und mit Baustelle. Auch in dieser Zusammenstellung sind alle Betriebsformen einbezogen.

Betrachtet man den Innenbereich der Baustellen (ohne Vor-/Nachlauf), so ergibt sich auf der Ost-West-Autobahnachse A1 (289,5 km) bei den Raten und Dichten für Unfälle mit Personenschäden eine ca. 1,65fache Erhöhung, für Unfälle mit Sachschäden eine ca. 3,7fache Erhöhung gegenüber dem Zustand ohne Baustelle. Dabei ist zu Beachten, dass Unfälle mit Sachschäden nur auf dem Autobahnteil der Länder Niederösterreich und Salzburg ausgewertet wurden.

Auf den anderen, allerdings wesentlich kürzeren Autobahnabschnitten war die Situation etwas anders. Beispielsweise auf der rund 40 km langen Südautobahn A2 waren die Veränderungen mit ca. 1,4fach bei Unfällen mit Personenschäden und ca. 1,7-fach bei Unfällen mit Sachschäden weniger ausgeprägt. Gemäss den Autoren wurde auf dieser Autobahn in den Jahren 1983 und 1984 zu 80% die Betriebsform 4+0 mit vorherigem, beidseitigem Abbau von 3 auf 2 Fahrstreifen angewendet.

Unfälle mit Personenschaden 1981—1984				
Unfalldichten				
	Ohne Baust.	Vorlauf	Baustelle	Nachlauf
A 1	0,59	0,98	0,98	0,53
(A 10)	0,70	0,72	0,99	[(0,36)]
(A 12)	0,29	—	[(0,26)]	—
A 13	0,42	0,33	0,40	0,28
(A 2)	1,13	1,06	1,53	[(0,45)]
Unfallraten				
A 1	0,17	0,28	0,28	0,15
(A 2)	0,16	[(0,15)]	0,22	—
Unfälle mit Sachschaden 1981—1984				
Unfalldichten				
	Ohne Baust.	Vorlauf	Baustelle	Nachlauf
A 1 — NÖ/SB	4,47	5,44	16,75	5,07
(A 2) — 1983/84	2,56	1,25	4,45	[(1,06)]
Unfallraten				
A 1 — NÖ/SB	0,65	0,79	2,42	0,73
(A 2) — 1983/84	0,37	0,18	0,64	[(0,15)]
[] . . . nur geringe Stichprobenanzahl () nur Teilstrecke				

Tab. 6-16: Unfallraten und Unfalldichten auf österreichischen Autobahnen in [20]

In [20] wurden auch die Unfalltypen ausgewertet. Demnach sind im Baustellenbereich ca. 15% der Unfälle mit Sachschäden Auffahrunfälle, bei den Unfällen mit Personenschäden sind es ca. 33%. Rund 45% aller Unfälle mit Sachschaden entfielen auf den Unfalltyp „Anfahren an festes Hindernis“.

6.2. Unfallgeschehen im Bereich der Untersuchungsstrecken

Für die einzelnen Untersuchungsstrecken, die jeweils aus dem Zufahrtsbereich (ca. 1 km lang) und dem nachfolgenden Baustellenbereich der aktuellen Bauetappe bestanden, wurden jeweils Unfalldaten der betreffenden Fahrtrichtung (bzw. Fahrbahn) aufbereitet. Dabei sind die folgenden Datensätze ausgewertet worden:

- für die Untersuchungsstrecke während einer Zeitperiode im Zustand mit Baustelle
- für die genau gleiche Strecke a) im Zustand ohne Baustelle, aber in gleich langer Zeitperiode wie in a)
- für eine Vergleichsstrecke im Zustand ohne Baustelle, aber in gleicher Zeitperiode wie in a) und etwa gleich lang wie in a) bzw. b)

Die Datensätze a) und b) dienten für den VORHER-/NACHHER-Vergleich auf der gleichen Strecke, während einer gleich langen, aber aus unterschiedlichen Zeiträumen stammenden Zeitperiode. Die Datensätze a) und c) wurden für den MIT-/OHNE-Vergleich in der gleichen Zeitperiode auf verschiedenen, aber nach Möglichkeit gleich langen Strecken verwendet.

Im Zustand a) erfolgte zudem eine räumliche Zuordnung der Unfälle in Baustellenabschnitte gemäss 2.1.2. Diese sind in Abbildung 6-9 nochmals dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die einbezogenen Strecken a) und b) die Baustellenabschnitte B1 bis B3²⁰ umfassten, während die Vergleichsstrecke dem Abschnitt A oder C entsprach.

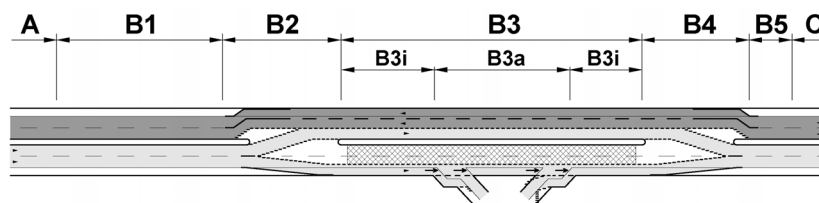


Abb. 6-9: Baustellenabschnitte für die Unfallauswertungen

Für die einzelnen Untersuchungsstrecken werden neben absoluten auch relative Unfallzahlen ermittelt. Letztere werden für Vergleiche zwischen den ungleich langen Baustellenabschnitten und für Vergleiche zwischen den einzelnen Untersuchungsstrecken benötigt.

Die Veränderungen im Unfallgeschehen werden aufgrund von statistischen Tests beurteilt. Hierzu werden nur die absoluten Unfallzahlen (Anzahl Unfälle und Anzahl Verunfallte) auf dem gesamten Untersuchungsabschnitt verwendet. Da die untersuchten Zeiträume – bedingt durch die Dauer der jeweiligen Bauetappe – relativ kurz waren, ergaben sich auf den betrachteten Strecken zum Teil nur wenige Unfälle. Aus diesem Grund wurde für die statistische Prüfung (in Anlehnung an die entsprechende VSS-Norm [31]) nur der einfache Z-Test eingesetzt. Für diese Prüfung waren die Testbedingungen in den meisten Fällen erfüllt. Die Signifikanzprüfung erfolgte auf dem Niveau von $\alpha = 0.05$ (5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

In den folgenden Abschnitten erfolgt jeweils eine Beschreibung der Baustellen und der Vergleichsstrecken, soweit dies nicht aus dem ANHANG 3 ersichtlich ist. Anschliessend werden die strukturierten Unfalldaten angegeben und beurteilt. Die Angaben zum Unfallgeschehen in den Abschnitten 6.2.1. bis 6.2.4. basieren auf dem ANHANG 8.

6.2.1. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke SG1

Auf dieser Strecke wurden zwischen der Kantonsgrenze TG/SG und dem Anschluss St. Gallen-Winkeln der Deckbelag erneuert und verschiedene Instandhaltungsarbeiten ausgeführt. Die Bautätigkeit dauerte insgesamt 1,5 Jahre (03/00 - 09/01) und wurde in vier Phasen ausgeführt. Die Baustelle im Untersuchungsabschnitt SG1 war während aller Bauphasen eingerichtet. Einbezogen für die Unfallauswertung wird die Bauphase mit der Verkehrsführung 4+0. Sie dauerte vom 25.6. bis 16.9.01 (83 Tage). Während dieser Bauphase wurden im Zufahrtsbereich Erhebungen des Verkehrsablaufs durchgeführt.

Die Baustelle erstreckte sich über eine Länge von 10 km. Der Zulaufbereich B1 mass 1038 m und lag in einer Steigungsstrecke mit einer Längsneigung von 5%. Der Überleitungsbereich B2 hatte eine Länge vom 100 m. Eine Darstellung des Zuleitungsbereichs zur Baustelle ist im ANHANG 3 zu finden. Der Bereich B4 entspricht der Länge des Bereichs B2.

²⁰ Die Unfälle in den Abschnitten B4 und B5 konnten nicht gesondert ausgewertet werden, weil die entsprechenden Daten fehlten oder die räumliche Zuordnung zu diesen Abschnitten nicht möglich war.

Die Vergleichsstrecke A (ohne Baustelle) hatte eine Länge von 9,5 km. Sie beginnt ca. 500 m nach dem Anschluss Wil und endet ca. 650 m nach dem Anschluss Uzwil/Oberbüren.

6.2.1.1. Unfallgeschehen auf der Untersuchungsstrecke während der Bauphase

Auf der 11,3 km langen Untersuchungsstrecke ereigneten sich während der betrachteten Zeitperiode von 83 Tagen insgesamt 3 Unfälle mit 1 Verletztem. Die Unfallmerkmale sind in Tabelle 6-17 zusammengestellt. Die Zuordnung erfolgte aufgrund der Unfallbeschriebe (Unfalltypen) und Angaben zum Unfallort (Baustellenabschnitte). In der untersten Zeile sind als relative Vergleichszahlen die Unfall- und Verunfalltendichte (U_d bzw. VU_d), in welchen die unterschiedlichen Längen der Baustellenabschnitte berücksichtigt werden, angegeben.

Untersuchungsstrecke: SG I während der Bauphase		Länge: 11.293 km						Zeitraum: 25.06. - 15.09.01 (83 Tage)						
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total		
Auffahrunfall						0						0		
Selbst-/ Schleuderunfall			2	1		3			1	0		1	1	
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel						0						0		
weitere Unfälle						0						0		
Summe		0	0	2	1	0	3	0	0	1	0	0	1	
U_d/VU_d		0.00	0.00	0.89	29.32	0.00	1.17	0.00	0.00	0.44	0.00	0.00	0.39	

Tab. 6-17: Unfallgeschehen SG1 während der Bauphase

Während der rund 3-monatigen Bauphase ereigneten sich nur Unfälle des Typs „Selbst-/Schleuderunfall“. Alle drei Unfälle geschahen im inneren Baustellenbereich, davon zwei auf der Strecke (B3i) und einer im Bereich des Anschlusses (B3a). Aus den Unfallprotokollen geht hervor, dass alle drei Unfälle nachts geschahen.

6.2.1.2. Unfalldatensätze für die Vergleiche

Zum Vergleich sind in den folgenden zwei Tabellen Unfalldaten angegeben

- auf der gleichen Strecke, aber im Zustand ohne Baustelle (Tabelle 6-18) und
- auf einer benachbarten Vergleichsstrecke ohne Baustelle, aber in der gleichen Zeitperiode wie im Zustand mit Baustelle auf der Untersuchungsstrecke (Tabelle 6-19).

Untersuchungsstrecke: SG I ohne Baustelle		Länge: 11.293 km						Zeitraum: 25.06. - 15.09.03 (83 Tage)						
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total		
Auffahrunfall						0						0		
Selbst-/ Schleuderunfall		1		5		6	3		1			4	2	
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel						0						0		
weitere Unfälle						0						0		
Summe		1	0	5	0	0	6	3	0	1	0	0	4	
U_d/VU_d		4.24	0.00	2.22	0.00	0.00	2.34	12.71	0.00	0.44	0.00	0.00	1.56	

Tab. 6-18: Unfallgeschehen SG1 ohne Baustelle

Auf der gleichen Strecke wie mit Baustelle (Tabelle 6-17) ereigneten sich in gleich langer Zeitperiode, aber ohne Baustelle (Jahr 2003 statt 2001) 6 Unfälle mit 4 Verunfallten. Einer der Unfälle geschah auf der Steigungsstrecke, die sich während der Bauarbeiten in der Zufahrt zur Baustelle befand. Bei allen Unfällen handelte es sich wiederum um Unfälle des Typs „Selbst-/Schleuderunfall“ und mit einer Ausnahme geschehen sie im ehemaligen Baustellenbereich, allerdings nicht im Bereich des Anschlusses. Aus den Unfallprotokollen geht hervor, dass sich zwei Unfälle nachts und zwei bei nasser Fahrbahn ereignet haben.

Die Tabelle 6-19 bezieht sich auf die einbezogene Vergleichsstrecke. Sie befand sich stromaufwärts unmittelbar vor der Baustelle. Die Tabelle zeigt, dass in gleicher Periode wie in Tabelle 6-17 (während der Bauarbeiten) auf der etwas kürzeren Vergleichsstrecke keine Unfälle registriert wurden.

Vergleichsstrecke zu SG I (ohne Baustelle)									
Länge: 9.503 km				Zeitraum: 25.06. - 15.09.01 (83 Tage)					
Unfalltyp	Baustellenabschnitt		Anzahl Unfälle			Anzahl Verletzte			Unfälle mit Verunfallten
	A	C	A	C	total	A	C	total	
Auffahrunfall					0			0	
Selbst-/ Schleuderunfall					0			0	
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel					0			0	
weitere Unfälle					0			0	
Summe	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 6-19: Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu SG1, ohne Baustelle

6.2.1.3. Statistische Vergleiche und Beurteilung

Zur Beurteilung des Unfallgeschehens werden die Vergleiche „MIT/OHNE“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Vergleichsstrecke ohne Baustelle) und „VORHER/NACHHER“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Untersuchungsstrecke ohne Baustelle) angestellt.

Aus dem MIT- / OHNE- Vergleich (Tabelle 6-20) ergab sich eine deutliche Veränderung. Anders als auf der Untersuchungsstrecke (3 Unfälle mit 1 Verunfalltem) ereigneten sich auf der benachbarten Vergleichsstrecke während der identischen Zeitperiode keine Unfälle²¹. Diese Veränderung ist auch auf dem 5%igen Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit (Prüfgrösse von 1.96) signifikant. Allerdings war die Bedingung für die Anwendung des Z-Tests (min. 5 Ereignisse) nicht eingehalten.

MIT- / OHNE-Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	A	Z-Test	
Streckenlänge (km)	11.293	9.503		
Anzahl Unfälle	3	0	2.31	(signifikant)
Anzahl Verunfallte	1	0	2.00	(signifikant)
Unfallrate	0.15	0.00		
Verunfalltenrate	4.85	0.00		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

Tab. 6-20: MIT- / OHNE- Vergleich für SG1

Trotz der deutlichen Veränderung kann bei der vorliegenden Untersuchungsstrecke nicht von einem erhöhtem Gefahrenmass gesprochen werden. Dies zeigen die in Tabelle 6-20 angegebenen Raten: In der 3-monatigen Zeitperiode lagen sowohl die Unfall- als auch die Verunfalltenrate wesentlich unter den Mittelwerten für Schweizer Autobahnen ($U_r = 0.53$ und $V_r = 17.1$, vgl. 6.1.1.). Zum Vergleich betrug im Jahr 2001 (während der Bauarbeiten) auf dem gesamten A1-Abschnitt (Kantonsgrenze Thurgau bis Anschluss St. Gallen-Winkeln) die $U_r = 0.197$ Unfälle/ $10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$ und $V_r = 7.11$ Verunfallte/ $10^8 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$.

In Tabelle 6-21 sind die Angaben für den VORHER- / NACHHER- Vergleich zusammengestellt. Sie bestätigen die obige Einschätzung: Im Untersuchungszeitraum NACHHER (2003, ohne Baustelle) ereigneten sich mehr Unfälle mit mehr Verunfallten als im Zustand VORHER (2001, mit Baustelle). Allerdings sind diese Veränderungen auf dem 5%igen Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit nur zufällig. Der Vergleich der Unfall- und Verunfalltenraten des Jahres 2003 auf dieser Strecke ($U_r = 0.29$ Unfälle/ $10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$ und $V_r = 19.40$ Verunfallte/ $10^8 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$) mit den erwähnten Mittelwerten des gesamten A1-Abschnittes ($U_r = 0.197$ Unfälle/ $10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$ und $V_r = 7.11$ Verunfallte/ $10^8 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$) zeigt, dass die Untersuchungsstrecke im Jahr 2003 ein erhöhtes Gefahrenniveau aufwies.

²¹ Zum Vergleich betrug im ganzen Jahr 1998 (vor Beginn der Bauarbeiten) die mittlere Unfall- bzw. Verunfalltenrate auf dieser Vergleichsstrecke 0.459 Unfälle/ $10^6 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$ bzw. 16.86 Verunfallte/ $10^8 \cdot \text{Fz} \cdot \text{km}$.

VORHER- / NACHHER- Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.138	10.055	11.293	1.138	10.055	11.293		
Anzahl Unfälle	0	3	3	1	5	6	1.33	zufällig
Anzahl Verunfallte	0	1	1	3	1	4	1.79	(zufällig)
Unfallrate	0.00	0.16	0.15	0.48	0.27	0.29		
Verunfalltenrate	0.00	5.45	4.85	144.37	5.45	19.40		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

Tab. 6-21: VORHER- / NACHHER- Vergleich für SG1

Aus Tabelle 6-21 ist auch die räumliche Struktur des Unfallgeschehens ersichtlich. Im Zustand mit Baustelle (VORHER) ereigneten sich alle Unfälle im Baustellen-Innenbereich (B3). In diesem Bereich dominierten die Unfälle auch im Zustand NACHHER. Allerdings geschah im Zustand NACHHER auch ein Unfall mit drei Verunfallten auf der Höhe der Abschnitte B1 und B2, die im Zustand mit Baustelle die Zufahrt und die Überleitung bildeten. Dementsprechend weist dieser nur ca. 1140 m lange Abschnitt ausgeprägt erhöhte Unfall- und vor allem Verunfalltenrate auf.

Aufgrund der Gegenüberstellung lässt sich folgern, dass die Betriebsform 4+0 auf dieser Untersuchungsstrecke während der Bauarbeiten nicht gefahrenträchtiger war als im Zustand ohne Baustelle.

6.2.2. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke SG2

Die Bauphase der Untersuchungsstrecke SG 2 dauerte vom 25.6 bis 16.9.01 (83 Tage) und war die letzte der vier Bauphasen (siehe 6.2.1.). Die Baustelle war insgesamt 4 km lang und wurde mit der Verkehrsführung 3+1 (Überleitung des Überholfahrstreifens; Normalfahrstreifen entlang der Baustelle) betrieben. Im Baustellen-Innenbereich (B3) lag die Ausfahrt Wil, die nur über den rechten Fahrstreifen erreichbar war. Der Zufahrtsbereich (B1), auf dem die Messungen stattgefunden haben, hatte eine Länge von 910 m. Der Überleitungsbereich B2 war 120 m lang. In ANHANG 3 ist eine Darstellung des Zuleitungsbereichs zur Baustelle enthalten.

Die Vergleichsstrecke (C) hat eine Länge von 4.0 km und beginnt ca. 500 m nach dem Anschluss Wil und endet kurz vor der Brücke über die Thur. Diese Strecke entspricht dem ersten Teilstück der Vergleichsstrecke A für die Baustelle SG1.

6.2.2.1. Unfallgeschehen auf der Untersuchungsstrecke während der Bauphase

Während der 83 Tage der betrachteten Bauphase ereigneten sich auf der Untersuchungsstrecke 4 Unfälle mit 7 Verunfallten (vgl. Tabelle 6-22). 3 dieser Unfälle stehen im direkten Zusammenhang mit dem Anschluss Wil (B3a). Bei zwei dieser Unfälle handelte es sich um folgenschwere Auffahrunfälle mit insgesamt 5 Verunfallten. Auf der offenen Baustellenstrecke (B3i) ereignete sich nur 1 Unfall.

Untersuchungsstrecke: SG II während der Bauphase														Länge: 4.025 km		Zeitraum: 25.06. - 15.09.01 (83 Tage)	
Unfalltyp	Baustellen- abschnitt	Anzahl Unfälle					Anzahl Verletzte					Unfälle mit Verunfallten					
		B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a		B4	total			
Auffahrunfall					2		2				5		5	2			
Selbst-/ Schleuderunfall						0							0				
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel						0							0				
weitere Unfälle				1	1		2				2		2	1			
Summe		0	0	1	3	0	4	0	0	0	7	0	7	3			
U_d/VU_d		0.00	0.00	1.61	87.95	0.00	4.37	0.00	0.00	0.00	205.22	0.00	7.65				

Tab. 6-22: Unfallgeschehen SG2 während der Bauphase

Aus den Unfallprotokollen geht hervor, dass sich alle 4 Unfälle auf dem der Baustelle zugewandten Fahrstreifen (Normalfahrstreifen) ereignet haben. 2 Unfälle bei der Ausfahrt Wil entstanden durch Anhalten beziehungsweise Rückwärtsfahren des ausfahrenden Fahrzeuges, der 3. Unfall im Bereich bei der Ausfahrt Wil geschah während der Nacht (der einfahrende Fahrzeuglenkende übersah das Fahrzeug auf der Hauptfahrbahn). Der vierte Unfall lag im Baustellen-Innenbereich (B3i) und ist auf eine Kollision mit einem Wildtier zurückzuführen.

Auf dem auf die Gegenfahrbahn übergeleiteten Fahrstreifen geschahen in den rund drei Monaten trotz fehlender baulichen Richtungstrennung keine Unfälle.

6.2.2.2. Unfalldatensätze für die Vergleiche

Zum Vergleich sind in den folgenden zwei Tabellen Unfalldaten angegeben

- auf der gleichen Strecke, aber im Zustand ohne Baustelle (Tabelle 6-23) und
- auf einer benachbarten Vergleichsstrecke ohne Baustelle, aber in der gleichen Zeitperiode wie im Zustand mit Baustelle auf der Untersuchungsstrecke (Tabelle 6-24).

Aus Tabelle 6-23 ist ersichtlich, dass sich auf der Untersuchungsstrecke in der gleich langen Zeitperiode im Zustand ohne Bauphase (2003) 3 Unfälle ohne Verletzte ereigneten. 1 Unfall wurde im Anschlussbereich Wil registriert und 2 Unfälle auf freier Strecke. Alle Unfälle geschahen auf gerader Strecke und im Gefälle bzw. in der Ebene. Der Unfall infolge Fahrstreifenwechsel im Bereich B3a geschah bei nasser Fahrbahn und Regen. Beide Unfälle im Baustellen-Innenbereich (B3i) gehören zum Unfalltyp Selbst-/Schleuderunfall, wovon 1 Unfall bei Nacht geschah.

Untersuchungsstrecke: SG II ohne Baustelle															Länge: 4.025 km		Zeitraum: 25.06. - 15.09.03 (83 Tage)	
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten				
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total						
Auffahrunfall						0						0						
Selbst-/ Schleuderunfall			2			2			0			0	0					
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel				1		1				0		0	0					
weitere Unfälle						0						0						
Summe	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0					
U_i/VU_d	0.00	0.00	3.23	29.32	0.00	3.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

Tab. 6-23: Unfallgeschehen SG2 ohne Baustelle

Die Tabelle 6-24 zeigt, dass es auf der einbezogenen Vergleichsstrecke im gleichen Zeitraum wie in Tabelle 6-22 (während Bauarbeiten) keine Unfälle gab.

Vergleichsstrecke zu SG II (ohne Baustelle)									
Länge: 4.00 km									
Zeitraum: 25.06. - 15.09.01 (83 Tage)									
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle			Anzahl Verletzte			Unfälle mit Verunfallten	
	A	C	total	A	C	total			
Auffahrunfall			0			0			
Selbst-/ Schleuderunfall			0			0			
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel			0			0			
weitere Unfälle			0			0			
Summe	0	0	0	0	0	0	0		

Tab. 6-24: Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu SG2, ohne Baustelle

6.2.2.3. Statistische Vergleiche und Beurteilung

Analog zu 6.2.1.3. werden zur Beurteilung des Unfallgeschehens die Vergleiche „MIT/OHNE“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Vergleichsstrecke ohne Baustelle) und „VORHER/NACHHER“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Untersuchungsstrecke ohne Baustelle) angestellt.

Der MIT-/OHNE-Vergleich (Tabelle 6-25) zeigt eine markante Veränderung. Während sich auf der Untersuchungsstrecke 4 Unfälle mit 7 Verletzten ereignet haben, wurden auf der Vergleichsstrecke im gleichen Zeitraum keine Unfälle registriert (vgl. auch Fussnote in 6.2.1.3.). Die Veränderung ist signifikant (Irrtumswahrscheinlichkeit 5%), allerdings sind die Bedingungen bei den Unfällen (mind. 5 Ereignisse) für den Z-Test nicht eingehalten.

Die Tabelle 6-25 zeigt für den betrachteten Streckenabschnitt mit Bauphase eine deutliche Erhöhung des Unfallrisikos. Dies bestätigt auch die Unfallrate von $0.60 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$, die leicht über dem Mittelwert für Schweizer Autobahnen liegt. Noch deutlicher zeigt sich dies bei der Verunfalltenrate, welche mit $104.77 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ mehrfach über den Mittelwert für Autobahnen in der Schweiz (vgl. 6.1.1.) liegt. Wie bei der Strecke SG1 sei auch hier darauf hingewiesen, dass im Jahr 2001 (während der Bauarbeiten) auf dem A1-Abschnitt (Kantonsgrenze Thurgau bis Anschluss St. Gallen-Winkeln) die Raten $U_i = 0.197 \text{ Unfälle}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ und $V_i = 7.11 \text{ Verunfallte}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ betragen.

MIT- / OHNE- Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	C	Z-Test	
Streckenlänge (km)	4.025	4		
Anzahl Unfälle	4	0	2.50	(signifikant)
Anzahl Verunfallte	7	0	3.02	signifikant
Unfallrate	0.60	0.00		
Verunfalltenrate	104.77	0.00		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

Tab. 6-25: MIT- / OHNE- Vergleich für SG2

Bei der Interpretation des obigen Vergleichs muss einbezogen werden, dass auf der Vergleichsstrecke kein Anschlussbereich vorhanden ist. Dies ist insofern von Bedeutung, als auf der Untersuchungsstrecke im Zustand mit Baustelle 3 der 4 Unfälle im Anschlussbereich geschahen. Die Vergleichsstrecke ist also als Massstab nicht zwingend geeignet. Diese Problematik wird im nachfolgenden Vergleich beseitigt.

In Tabelle 6-26 ist der VORHER-/NACHHER-Vergleich dargestellt. Im Untersuchungszeitraum NACHHER (2003, ohne Baustelle) ist ein Unfall weniger geschehen als im Zeitraum VORHER (2001, mit Baustelle). Diese Veränderung ist statistisch nur zufällig. Dagegen ist die Abnahme des Verunfalltenzahlen signifikant. Im Zeitraum VORHER wurden 7 Verunfallte registriert, im Zeitraum NACHHER dagegen keine. Die Unfallraten und die Verunfalltenraten bestätigen dies ebenfalls. Die Untersuchungsstrecke mit Baustelle weist sowohl im Vergleich mit dem Zustand ohne Baustelle (NACHHER) als auch mit dem gesamten Schweizer Autobahnnetz ein erhöhtes Unfallrisiko auf.

VORHER- / NACHHER- Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.030	2.875	4.025	1.030	2.875	4.025		
Anzahl Unfälle	0	4	4	0	3	3	0.76	zufällig
Anzahl Verunfallte	0	7	7	0	0	0	3.02	signifikant
Unfallrate	0.00	0.84	0.60	0.00	0.63	0.45		
Verunfalltenrate	0.00	146.67	104.77	0.00	0.00	0.00		

Tab. 6-26: VORHER- / NACHHER- Vergleich für SG2

Die Betrachtung der einzelnen Baustellenabschnitte in Tabelle 6-26 weist den Baustellen-Innenbereich B3 als den Abschnitt mit dem höchsten Gefährdungspotential aus. Dagegen ergaben sich keine Veränderungen für die Bereiche B1 und B2, welche die Zufahrt und den Bereich der Überleitung zusammenfassen.

Insgesamt ist also festzustellen, dass auf diesem Autobahnabschnitt der Baustellen-Innenbereich der Betriebsform 3+1 ein deutlich höheres Gefahrenpotential als im Zustand ohne Baustelle. Ursächlich für die Entstehung der meisten Unfälle sind die Ein- und Ausfahrten des Anschlusses im Baustellenbereich.

6.2.3. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke ZG1

Die Untersuchungsstrecke auf der A14 mit der Betriebsform 4+0 hatte eine Gesamtlänge von 2.7 km. Der Innenbereich (B3) war 1.4 km lang. Der Überleitungsbereich B2 betrug 135 m und die Rückführung B4 war 150 m lang. Im Baustellenbereich gab es keine Anschlüsse. Die Baustelle beginnt 100 m hinter der Verzweigung Rütihof (A4, Richtung Schwyz/Gotthard). Die Vergleichsstrecke entspricht dem unbeeinflussten Abschnitt vor der Baustelle mit einer Länge von 3.675 km und reichte bis zur Verzweigung Blegi. Ausgeführt wurden verschiedene Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen auf der A14 und A4. Die 2. Etappe der Massnahmen betraf den Abschnitt zwischen dem Anschluss Cham bis zur Reussbrücke auf der A14 und bis zur SBB-Unterführung Rüti auf der A4, einschliesslich der Verzweigung Rütihof. Die Messstrecke vor der Baustelle befand sich auf der A14 vor der Verzweigung Rütihof in Fahrtrichtung Luzern.

Die Bautätigkeiten wurden in der 2. Etappe in 4 Phasen durchgeführt. In den ersten 2 Phasen kam die Verkehrsführung 4+0 zur Umsetzung und im zweiten Teil der Bautätigkeiten die Verkehrsführung 3+1. Messungen wurden jedoch nur für die Verkehrsführung 4+0 durchgeführt.

Die Verkehrsführung 4+0 war während 49 Tage, vom 07.05. – 10.06.01 eingerichtet. Während dieser Zeit sind auf dem betrachteten Streckenabschnitt keine Unfälle registriert worden. Als Vergleichszeitraum für den gleichen Streckenabschnitt diente das Jahr 2002, ebenfalls vom 07.05. – 10.06.02. Auch für diese Periode konnten keine Unfälle festgestellt werden. Das Gleiche gilt für die Vergleichsstrecke vor der Baustelle in der Zeit vom 07.05. – 10.06.01. Auch hier wurden keine Unfälle polizeilich aufgenommen. Aus diesem Grund können keine Unfallvergleiche angestellt werden. Die vorliegende Situation lässt die Folgerung zu, dass der Baustellenbereich der Betriebsform 4+0 auf dieser Strecke keine im Vergleich zum Zustand ohne Baustelle erhöhte Gefährdung aufwies.

Die durchschnittliche Unfallrate auf der relevanten Strecke betrug für das gesamte Jahr 1998 (ohne Bauarbeiten) auf dem A14-Abschnitt $0.102 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ und auf dem A4-Abschnitt $0.127 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$. Die entsprechenden Verunfalltenraten lagen bei $0.0 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ (A14) bzw. $4.213 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ (A4).

Die Vergleichsstrecke ohne Baustelle weist für das Jahr 1998 eine durchschnittliche Unfallrate von $0.058 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ und eine durchschnittliche Verunfalltenrate von $0.0 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$.

Die obigen Werte zeigen, dass die vorliegende A14/A4-Strecke zu den Abschnitten des Autobahnnetzes mit dem niedrigsten Unfallniveau gehört. Dies wird auch durch eine mehrjährige Unfallauswertung bestätigt: Für die Jahre 1994 bis 1998 ergaben sich als Mittelwerte von $0.143 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ und $3.09 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$, die wesentlich unter jenen für Autobahnen in der Schweiz liegen (Jahr 1996: $0.53 \text{ U}/10^6 \text{ Fz} \cdot \text{km}$ und $17.1 \text{ VU}/10^8 \text{ Fz} \cdot \text{km}$, vgl. 6.1.1.).

6.2.4. Ergebnisse Unfallauswertungen Untersuchungsstrecke AG1

Die Erweiterung des Baregg-Tunnels erforderte umfangreiche Baumassnahmen, welche von Dezember 2002 bis Juni 2004 durchgeführt wurden. Dabei kamen verschiedene Verkehrsführungen zur Anwendung. Die untersuchte Verkehrsführung von 4+2 bzw. 4+1 (vgl. Abbildung 5-37) war in der Zeit vom 02.07. – 31.08.03 eingerichtet. Der Zuleitungsbereich B1 zur Baustelle betrug 1'002 m. Der Überleitungsbereich B2 wies eine Länge von nur 86 m auf. Der Innenbereich der Baustelle B3 war 2.314 km lang, wovon die Ausfahrt Baden-Dättwil ca. 300 m einnahm. Der Rückleitungsbereich B4 war 170 m lang und endete kurz vor der Tunneleinfahrt. Die gesamte Untersuchungsstrecke umfasste eine Länge von ca. 3'570 m.

Der unbeeinflusste Vergleichsstrecke A, die für den Vergleich MIT/OHNE verwendet wird, hat eine Länge von 3.6 km.

Diese Baustelle stellt insofern eine Besonderheit dar, als kurz nach der Überleitung eine weitere Überleitung zusammen mit einer Autobahnauffahrt folgte und auf der baustellenzugewandten Fahrbahn ca. 400 m nach der ersten Überleitung ein Fahrstreifenabbau angeordnet war. Aus diesen Gründen ist sie mit den anderen Untersuchungsstrecken nur bedingt vergleichbar. Wie bereits erwähnt, war zudem die durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge (DTV) auf dieser Strecke mehr als doppelt so gross, wie auf den übrigen Untersuchungsstrecken.

6.2.4.1. Unfallgeschehen auf der Untersuchungsstrecke während der Bauphase

Auf der ca. 3.6 km langen Untersuchungsstrecke ereigneten sich während der betrachteten Zeitperiode von 62 Tagen insgesamt 12 Unfälle mit 7 Verletzten. Die Unfallmerkmale sind in Tabelle 6-27 zusammengestellt. In der untersten Zeile sind als relative Vergleichszahlen wiederum die Unfall- und Verunfalltendichte (U_d bzw. VU_d), in welchen die unterschiedlichen Längen der Baustellenabschnitte berücksichtigt werden, angegeben.

Untersuchungsstrecke: AG I während der Bauphase														Länge: 3.572 km		Zeitraum: 02.07. - 31.08.03 (62 Tage)	
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten			
		B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total				
Auffahrunfall		2		3			5	0		3			3	2			
Selbst-/ Schleuderunfall		1		1			2	2		0			2	1			
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel		1		4			5	0		2			2	2			
weitere Unfälle							0						0				
Summe		4	0	8	0	0	12	2	0	5	0	0	7	5			
U_d/VU_d		23.89	0.00	23.77	0.00	0.00	20.10	11.94	0.00	14.86	0.00	0.00	11.73				

Tab. 6-27: Unfallgeschehen AG1 während der Bauphase

Während der rund 2-monatigen Bauphase ereigneten sich vorwiegend Unfälle der Typen Auffahrunfall und Unfall bei Überholen/Fahrstreifenwechsel. Aus Tabelle 6-27 ist ersichtlich, dass die Unfälle nur im Zufahrtsbereich B1 (4 Unfälle) und im Innenbereich der Baustelle B3i (8 Unfälle) auftraten. Die auf die Streckenlänge bezogene Unfalldichte war in beiden Bereichen etwa gleich gross.

Anders als bei den Strecken SG1 und SG2 standen hier die Unfallprotokolle nicht zur Verfügung, sodass über die Beleuchtungs- und Witterungsverhältnisse während der Unfallzeiten keine Angabe gemacht werden können. Aufgrund fehlender Informationen bzw. ungenauen Planunterlagen konnten zudem einige Unfälle nicht genau zugeordnet werden. Aus den verfügbaren Unterlagen geht jedoch hervor, dass bei den einzelnen Unfällen öfters mehrere Fahrzeuge, und dass an 4 der 12 Unfälle schwere Lastwagen beteiligt waren. Dies dürfte mit der hohen Verkehrsdichte und mit dem erhöhten Lastwagenanteil auf dieser Strecke zusammenhängen.

6.2.4.2. Unfalldatensätze für die Vergleiche

Zum Vergleich sind in den folgenden zwei Tabellen Unfalldaten angegeben

- auf der gleichen Strecke, aber im Zustand ohne Baustelle (Tabelle 6-28) und
- auf einer benachbarten Vergleichsstrecke ohne Baustelle, aber in der gleichen Zeitperiode wie im Zustand mit Baustelle auf der Untersuchungsstrecke (Tabelle 6-29).

Aus Tabelle 6-28 geht hervor, dass sich auf der gleichen Strecke wie mit Baustelle, während einer gleich langen Zeitperiode, aber ohne Baustelle (Jahr 2002 statt 2003) insgesamt 15 Unfälle mit 8 Verunfallten ereigneten. Alle Unfälle geschahen im inneren Bereich der nachmaligen Baustelle (B3i). In dieser Zeitperiode dominieren Auffahrunfälle, sowohl bzgl. Unfall- als auch bzgl. Verunfalltenhäufigkeit.

Die in 6.2.4.1. gemachten Hinweise auf die Beteiligung mehrerer Fahrzeuge pro Unfall und auf Unfälle mit schweren Lastwagen treffen auch auf den Zustand ohne Baustelle zu. So waren bei 8 der 10 Auffahrunfälle mindestens 3 Personenwagen beteiligt.

Untersuchungsstrecke: AG I ohne Baustelle							Länge: 3.572 km		Zeitraum: 02.07. - 31.08.02 (62 Tage)										
Unfalltyp	Baustellenabschnitt						Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten
	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total							
Auffahrunfall			10			10			6			6	3						
Selbst-/ Schleuderunfall			2			2			2			2	2						
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel			3			3			0			0	0						
weitere Unfälle						0						0							
Summe	0	0	15	0	0	15	0	0	8	0	0	8	5						
U_d/VU_d	0.00	0.00	44.57	0.00	0.00	25.13	0.00	0.00	23.77	0.00	0.00	13.40							

Tab. 6-28: Unfallgeschehen AG1 ohne Baustelle

Die Tabelle 6-29 bezieht sich auf die einbezogene Vergleichsstrecke. Sie befand sich stromaufwärts unmittelbar vor der Untersuchungsstrecke, also noch vor der Autobahnverzweigung A1/A3. Die Tabelle zeigt, dass in gleicher Periode wie in Tabelle 6-27 (während der Bauarbeiten) auf der gleich langen Vergleichsstrecke nur 3 Unfälle ohne Verunfallten registriert wurden.

Die in 6.2.4.1. gemachten Hinweise auf die Beteiligung mehrerer Fahrzeuge pro Unfall und auf Unfälle mit schweren Lastwagen treffen auf die Vergleichsstrecke nicht zu. Obwohl auch diese Strecke im Bereich mit gelegentlicher Staubbildung liegt, ist der DTV in diesem Abschnitt ca. 25 bis 30% niedriger als auf der Untersuchungsstrecke.

Vergleichsstrecke zu AG I (ohne Baustelle)								
Länge: 3.60 km				Zeitraum: 02.07. - 31.08.03 (62 Tage)				
Unfalltyp	Baustellen- abschnitt	Anzahl Unfälle			Anzahl Verletzte			Unfälle mit Verun- fallten
		A	C	total	A	C	total	
Auffahrunfall		2		2			0	
Selbst-/ Schleuderunfall		1		1			0	
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel		0		0			0	
weitere Unfälle		0		0			0	
Summe		3	0	3	0	0	0	0

Tab. 6-29: Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu AG1, ohne Baustelle

6.2.4.3. Statistische Vergleiche und Beurteilung

Analog zu 6.2.1.3. und 6.2.2.3. werden zur Beurteilung des Unfallgeschehens die Vergleiche „MIT/OHNE“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Vergleichsstrecke ohne Baustelle) und „VORHER/NACHHER“ (Untersuchungsstrecke mit Baustelle / Untersuchungsstrecke ohne Baustelle) angestellt.

Aus dem MIT- / OHNE- Vergleich (Tabelle 6-30) ergab sich eine deutliche Veränderung., Anders als auf der Untersuchungsstrecke (12 Unfälle mit 7 Verunfallten) ereigneten sich auf der benachbarten, stromaufwärts liegenden Vergleichsstrecke während der identischen Zeitperiode (Juli/August 2003) nur 3 Unfälle. Diese Veränderung ist auch auf dem 5%igen Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit (Prüfgrösse von 1.96) signifikant.

MIT- / OHNE- Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	A	Z-Test	
Streckenlänge (km)	3.572	3.600		
Anzahl Unfälle	12	3	2.58	signifikant
Anzahl Verunfallte	7	0	3.02	signifikant
Unfallrate	1.12	0.28		
Verunfalltenrate	65.56	0.00		

Tab. 6-30: MIT- / OHNE- Vergleich für AG1

Die vorliegende Untersuchungsstrecke weist einen erhöhten Gefahrenmass auf. Dies zeigen auch die in Tabelle 6-30 angegebenen Raten: In der 2-monatigen Zeitperiode lagen die Unfall-, vor allem aber die Verunfalltenrate deutlich über den Mittelwerten für Schweizerische Autobahnen ($U_r = 0.53$ und $V_r = 17.1$, vgl. 6.1.1.). Allerdings ist zu beachten, dass die Untersuchungsstrecke zwischen Verzweigung A1/A3 in Birrfeld und dem Baregg tunnel bereits seit Beginn der 90er Jahre einen, im Zusammenhang mit der dort häufigen Staubildung stehenden Unfallschwerpunkt bildete: Die jährliche Unfallrate in den letzten Jahren vor Beginn der Bauarbeiten lag mit durchschnittlich ca. 1.0 Unfälle/10⁶*Fz*km rund zweimal höher als der Mittelwert für Autobahnen (vgl. auch Tabelle 6-31). Anders Ausgedrückt: Der Vergleich zwischen Untersuchungs- und Vergleichsstrecke wäre im „Zustand ohne Bauarbeiten“ (z.B. im Jahr 2002) ähnlich ausgefallen wie im Zustand mit Bauarbeiten.

In Tabelle 6-31 sind die Werte für den VORHER- / NACHHER- Vergleich zusammengestellt. Im Untersuchungszeitraum NACHHER (2002, ohne Baustelle) ereigneten sich mehr Unfälle mit mehr Verunfallten als im Zustand VORHER (2003, mit Baustelle). Allerdings sind diese Veränderungen auf dem 5%igen Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit nur zufällig. Dennoch ist von der Tatsache auszugehen, dass auf der Untersuchungsstrecke sowohl die Unfall- als auch die Verunfalltenrate im Zustand mit Baustelle nicht höher lagen als im Zustand ohne Baustelle.

VORHER- / NACHHER- Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.088	2.314	3.572	1.088	2.314	3.572		
Anzahl Unfälle	4	8	12	0	15	15	0.77	zufällig
Anzahl Verunfallte	2	5	7	0	8	8	0.52	zufällig
Unfallrate	1.23	1.16	1.12	0.00	2.17	1.40		
Verunfalltenrate	61.50	72.29	65.56	0.00	115.66	74.93		

Tab. 6-31: VORHER- / NACHHER- Vergleich für AG₁

Aus Tabelle 6-31 ist auch die Verteilung des Unfallgeschehens auf die Baustellenabschnitte ersichtlich. Anders als im Zustand mit Baustelle (VORHER) ereigneten sich im Zustand NACHHER keine Unfälle im Zufahrtsbereich zur Baustelle (B1 und B2). Dieser Abschnitt befindet sich in und vor der Verzweigung A1/A3.

Aufgrund der Gegenüberstellung lässt sich insgesamt folgern, dass die Betriebsform auf dieser Baustelle (4+2 bzw. 4+1) im Zustand mit Bauarbeiten nicht gefahrenträchtiger war als im Zustand ohne Baustelle. In beiden Zuständen waren jedoch sowohl die Unfall- als auch die Verunfalltenhäufigkeit stark erhöht.

6.2.5. Unfallschwerpunkte im Baustellenbereich der Untersuchungsstrecken

Die Unfalldichte der vier Untersuchungsstrecken hat ergeben, dass im Vergleich der Zustände während der Bauarbeiten und ohne Baustelle (VORHER/NACHHER) nur eine der Strecken eine höhere Unfall- und Verunfalltenhäufigkeit aufweist (SG₂). Auf allen anderen Strecken waren im Zustand mit Baustelle gleich viele oder weniger Unfälle und Verunfallte zu beklagen als im Zustand ohne Baustelle.

Bei den Gegenüberstellungen mit Vergleichsstrecken (MIT/OHNE) ergab sich nur bei einer Strecke keine Veränderung (ZG₁). Bei allen anderen Untersuchungsstrecken mit Baustellen haben sich mehr Unfälle als auf den jeweiligen Vergleichsstrecken ereignet. Allerdings waren die Vergleichsstrecken nicht in allen Fällen geeignet, weil sie - anderes als die Untersuchungsstrecke - keine Anschlussbereiche enthalten oder weil sie ausserhalb des staugefährdeten Bereichs lagen. Bei drei Strecken (SG₁, SG₂, ZG₁) ist zudem zu berücksichtigen, dass ihre relative Unfalldichte auch im Zustand mit Baustelle beim oder unter dem Durchschnitt für Schweizer Autobahnen lag.

Insgesamt lässt sich aufgrund der vorliegenden Ergebnisse die These, wonach die Autobahnabschnitte mit Baustellen ein erhöhtes Gefahrenniveau aufweisen, nicht bestätigen. Dafür sprechen auch die niedrige Unfall- und Verunfalltenrate: Als Mittelwert über alle vier Strecken resultieren U_v von 0.11 Unfälle/10⁶*Fz*km und VU_v von 8.8 Verunfallte/10⁸*Fz*km.

Innerhalb der vier Untersuchungsstrecken lassen sich bzgl. *räumlicher Unfallverteilung* Schwerpunkte des Unfallgeschehens abgrenzen. In Tabelle 6-32 sind die relativen Unfall- und Verunfalltendichten in den einzelnen Baustellenabschnitten für alle Strecken (gesamt) sowie unterteilt in Betriebsform 4+0 und in andere Betriebsformen (hier 3+1 und 4+2 bzw. 4+1, alle mit einstreifiger Überleitung) zusammengestellt.

Baustellenabschnitt	Unfalldichte U _d					Verunfalltendichte VU _d					Länge km	Zeit Tage
	B1	B2	B3i	B3a	B4	B1	B2	B3i	B3a	B4		
gesamt	1.33	0.00	0.91	8.82	0.00	0.67	0.00	0.49	15.43	0.00	21.6	276
Betriebsform 4+0	0.00	0.00	0.49	18.43	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	14	132
andere Betriebsformen	5.30	0.00	4.81	16.90	0.00	2.65	0.00	2.67	39.43	0.00	7.597	144

Tab. 6-32: Unfall- und Verunfalltendichten in Baustellenabschnitten

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bzgl. aller Strecken die *Anschlussbereiche* (B3a) sowohl bei der Unfall- als auch bei der Verunfalltenhäufigkeit klare Schwerpunkte im Unfallgeschehen darstellen. Bzgl. Unfalldichte trifft dies auch für die Betriebsform 4+0 zu. Bei anderen Betriebsformen sind neben den Anschlussbereichen auch die Zufahrten (B1) auffällig. Auffallend klein sind sowohl die Unfall- als auch die Verunfalltendichte in Überleitungen (B2) und im Innenbereich der Baustellen (B3i). Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Fahrtrichtungen bei allen Baustellen-Innenbereichen baulich getrennt waren (niedrige Baustellen-Leitschranke aus Metall in SG₁ und SG₂, bei AG₁ war sie durch ein Kastenprofil in erhöhter Lage ergänzt und in ZG₁ konventionelle doppelte Distanzleitschranke).

Die Struktur nach *Unfalltypen* bzgl. aller Strecken ergab Auffahrunfälle (36%), sowie die Selbst-/Schleuderunfälle und Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel (je 26%) als die häufigsten Unfalltypen im Baustellenbereich. Die Aufteilung nach Betriebsformen zeigt, dass in der Verteilung der Unfalltypen bedeutende Unterschiede bestehen. In Tabelle 6-33 ist die Aufteilung für die Betriebsform 4+0, in Tabelle 6-34 jene für die anderen Betriebsformen (hier 3+1 und 4+2 bzw. 4+1, alle mit einstreifiger Überleitung) zusammengestellt.

Bei der *Betriebsform 4+0* geschahen nur Selbst-/Schleuderunfälle. Sie ereignen sich vorwiegend auf der freien Strecke des Baustellen-Innenbereichs (B3i).

Betriebsform 4+0		Länge: 14.002 km						Zeitraum: 2001/2003 (132 Tage)						
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten
		B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	
Auffahrunfall		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Selbst-/ Schleuderunfall		0	0	2	1	0	3	0	0	1	0	0	1	1
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weitere Unfälle		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe		0	0	2	1	0	3	0	0	1	0	0	1	1

Tab. 6-33: Verteilung nach Unfalltypen und Baustellenbereichen für Betriebsform 4+0

Bei den anderen Betriebsformen (Tabelle 6-34), mit dem gemeinsamen Merkmal der einstreifigen Überleitung, ist die Situation anders. Hier dominieren Auffahrunfälle (Anteil Unfälle 44%), die in der Regel auch folgenschwer sind (Anteil Verunfallten 57%). Häufig sind auch Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel (31%), die sich auf die freie Strecke des Baustellen-Innenbereichs (B3i) konzentrieren.

andere Betriebsformen		Länge: 7.597 km						Zeitraum: 2001/2003 (144 Tage)						
Unfalltyp	Baustellenabschnitt	Anzahl Unfälle						Anzahl Verletzte						Unfälle mit Verunfallten
		B1	B2	B3i	B3a	B4	total	B1	B2	B3i	B3a	B4	total	
Auffahrunfall		2	0	3	2	0	7	0	0	3	5	0	8	4
Selbst-/ Schleuderunfall		1	0	1	0	0	2	2	0	0	0	0	2	1
Unfall bei Überholen / Fahrstreifenwechsel		1	0	4	0	0	5	0	0	2	0	0	2	2
weitere Unfälle		0	0	1	1	0	2	0	0	0	2	0	2	1
Summe		4	0	9	3	0	16	2	0	5	7	0	14	8

Tab. 6-34: Verteilung nach Unfalltypen und Baustellenbereichen für andere Betriebsformen

Unabhängig von der Betriebsform ereigneten sich überdurchschnittlich viele *Unfälle bei Nacht*, und zwar im Baustellen-Innenbereich (B3). Ausgeprägt viele Nachtunfälle geschahen auf der Strecke mit den kleinsten Fahrstreifenbreiten im Baustellenbereich (SG1). Hier war der Überholstreifen nur 2,50 m (zulässiges Minimum nach Norm [33]) und der Normalstreifen 3,00 m breit. Bei allen anderen Strecken waren die Breiten um 0,50 m und mehr grösser.

6.3. Vergleiche mit Unfallgeschehen an anderen Baustellen

6.3.1. Vergleiche mit früheren Baustellen in der Schweiz

Die wesentlichen Erkenntnisse aus der Unfallauswertung der vier Untersuchungsstrecken sind in 6.2.5. zusammengestellt. Sie sind nachfolgend den Erkenntnissen aus früheren Baustellen in der Schweiz gegenübergestellt. Dabei werden die Unfallhäufigkeit und ihre Veränderung im Zustand mit/ohne Baustelle, die Unfallverteilung auf die Baustellenabschnitte und die Struktur der Unfalltypen besprochen.

- *Unfallhäufigkeit*

In folgender Tabelle sind für den Vergleich die Unfallraten der Untersuchungsstrecken und der in 6.1.1. ausgewerteten früheren Baustellen zusammengestellt. Die Gruppierung erfolgt nach Betriebsformen.

Betriebsform	Unfallraten U_i [$U/10^6 \cdot Fz \cdot km$] im Baustellenbereich		Bemerkungen
	auf Untersuchungsstrecken	auf früheren Baustellen	
4+0	0.00 / 0.15	0.49 / 2.81*	* wegen Fahrstreifenreduktion in Baustellenabschnitt B4 nur bedingt vergleichbar
3+1	0.60	0.72 / 0.57 / 0.19	
4+2 / 4+1	1.12	0.59	- nur auf 2x3-Querschnitten möglich - wie bei Betriebsform 3+1: mit 1-streifiger Überleitung

Tab. 6-35: Vergleich der Unfallraten auf Untersuchungsstrecken und auf früheren Baustellen

Bei der Betriebsform 4+0 weisen die Untersuchungsstrecken eine wesentlich kleinere Unfallhäufigkeit auf als die früheren Baustellen²². Demgegenüber sind die Unfallhäufigkeiten bei der Betriebsform 3+1 die ähnlich. Auch bei der Betriebsform 4+2 / 4+1 fällt der grosse Unterschied auf. Dabei handelt es sich um Baustellen auf dem gleichen HLS-Abschnitt (A1 westlich Baregg tunnel bzw. AG1 / A1 Limmattal), die bzgl. Verkehrsbelastung und Baustellenlänge vergleichbar sind.

Die Auswertungen haben zudem gezeigt, dass bei drei der vier Untersuchungsstrecken die Unfallraten mit Baustelle kleiner oder gleich gross waren wie im Zustand ohne Baustelle (bei Betriebsformen 4+0 und 4+2/ 4+1), bei einer Untersuchungsstrecke (mit Betriebsform 3+1) war dies umgekehrt. Bei den hier untersuchten Strecken lässt sich also die These, wonach die Autobahnabschnitte mit Baustellen ein erhöhtes Gefahrenniveau aufweisen, nicht bestätigen. Bei den früheren Baustellen, wo diese Gegenüberstellung in 7 Fällen möglich war (vgl. Tabelle 6-11), zeigt sich ein anderes Ergebnis. Mit einer Ausnahme ergab sich eine deutliche Erhöhung der Unfallhäufigkeit im Zustand mit Baustelle gegenüber jenem ohne Baustelle.

- *Unfallverteilung auf die Baustellenabschnitte*

Hinsichtlich räumlicher Verteilung der Unfälle auf die Baustellenabschnitte hat sich bei früheren Baustellen gezeigt, dass *Anschlüsse im Baustellen-Innenbereich* (B3a) häufig lokale Unfallschwerpunkte darstellen, vor allem bei der Betriebsform 3+1. Baustellen-Innenbereiche ausserhalb der Anschlüsse (B3i) weisen bei allen Betriebsformen in der Regel keine höhere Unfallhäufigkeit als im Zustand ohne Baustelle auf²³. Diese Ergebnisse treffen auch auf die Untersuchungsstrecken zu (vgl. Tabelle 6-32).

Bei früheren Baustellen wurden die Bereiche mit *Überleitungen* (B2) überdurchschnittlich unfallträchtig ausgewiesen. Dies scheint bei 1-streifigen Überleitungen (Betriebsform 3+1) mehr der Fall zu sein als bei 2-streifigen Überleitungen (Betriebsform 4+0). Diese Feststellung kann bei den Untersuchungsstrecken nicht bestätigt werden: In der Überleitung haben sich keine Unfälle ereignet.

Die *Zufahrten zur Baustelle* (B1) und die *Rückleitungen* (B4) weisen in den meisten der früheren Baustellen keine erhöhte Unfallhäufigkeit auf. Diese Aussage trifft mit Ausnahme der Betriebsform 4+2 bzw. 4+1 auch für die Untersuchungsstrecken zu.

²² Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf diesen zwei Untersuchungsstrecken (SG1 und ZG1) auch im Zustand ohne Baustelle sehr kleine Unfallraten resultieren ($U_i = 0.20$ bzw. 0.13).

²³ Die obige Regelaussage trifft für Baustellen mit Fahrstreifenreduktion in B3 oder B4 nicht zu (Beispiel Baustelle auf A51).

- *Struktur der Unfalltypen*

Die häufigsten Unfalltypen sind – sowohl bei den früheren Baustellen als auch bei den Untersuchungsstrecken – die Auffahrunfälle, die Selbst-/Schleuderunfälle und die Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel. Die ungefähren Anteile dieser Unfalltypen sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Bei den Untersuchungsstrecken wird in der Tabelle infolge kleiner Unfallzahlen auf eine Unterteilung nach Betriebsformen verzichtet.

Betriebsformen	Auffahrunfälle (%)	Selbst-/Schleuderunfälle (%)	Unfälle bei Überholen/ Fahrstreifenwechsel (%)
Untersuchungsstrecken: alle Betriebsformen	36	26	26
frühere Baustellen:			
3+1 bei DTV < 50'000 Fz/Tag	25	55	10
3+1 bei DTV > 70'000 Fz/Tag	50	20	20
4+0, 4+2, 2+2	25-30	35-45	25-30

Tab. 6-36: Vergleich der ungefähren Anteile der Unfalltypen

Bei den Untersuchungsstrecken hat sich zudem gezeigt, dass die drei häufigsten Unfalltypen ausschliesslich in den Baustellenabschnitten B₃ (ca. 70%) und B₁ (ca. 30%) auftreten.

6.3.2. Vergleiche mit ausländischen Baustellen

Die Ergebnisse der Unfallauswertungen an den Untersuchungsstrecken können nur unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Betriebsformen mit ausländischen Ergebnissen verglichen werden. Unter anderem muss beachtet werden, dass in den aus Deutschland stammenden Referenzbaustellen in der Regel im Vorfeld keine Geschwindigkeitsbegrenzung vorliegt. Im Bereich der Überleitung hingegen war die zulässige Höchstgeschwindigkeit oftmals auf 60 km/h limitiert. Dementsprechend ergaben sich dort deutlich unterschiedliche Geschwindigkeitsverläufe als im Bereich der vier untersuchten Baustellen (vgl. 7.3.1.5. und 7.4.1.6.). Die Vergleichsuntersuchungen entstammen alle aus dem Ende der 80er Jahre.

In [39] werden Daten zum Unfallgeschehen für unterschiedliche Betriebsformen angegeben. In Abb. 6-7 sind in der obersten Zeile die Mittelwerte bzgl. beider Fahrtrichtungen für die Betriebsformen 2+2, 3+1 und 4+0 in den einzelnen Baustellenabschnitten angegeben. Zum Vergleich mit den vorliegenden Untersuchungsstrecken können die Erkenntnisse für die Betriebsformen 3+1 und 4+0 herangezogen werden. Von Interesse sind die Fahrstreifen der Fahrtrichtung, welche im Bereich der Baustelle auf die Gegenfahrbahn verschwenkt wird.

Für die *Betriebsform* 3+1 ergab sich in [39] im Vorfeld der Baustelle (Baustellenabschnitte A bzw. B₁) eine deutlich unterdurchschnittliche Unfallrate ($U_R = 0.4$ statt 0.7 bzw. $U_R = 0.6$ statt 1.1). Im Bereich der Überleitung (B₂) wird dagegen eine leicht erhöhte Rate festgestellt ($U_R = 1.5$ statt 1.4). Im anschliessenden Innenbereich der Baustelle (B₃) sank die Unfallrate erneut auf ein unterdurchschnittliches Niveau ($U_R = 0.8$ statt 1.4). Auf Höhe der Rückleitung (B₄) nahm die Zahl der Unfälle nochmals zu ($U_R = 1.3$), um dann im Anschluss an die Baustelle wieder auf den Durchschnittswert abzusinken. Bezüglich der Unfallarten fällt, im Vergleich der durch Baustellen beeinflussten und unbeeinflussten Abschnitten, eine leichte Abnahme der Unfälle mit schweren Personenschäden (-20%) in den Abschnitten mit Baustellen auf. Dahingegen nimmt die Zahl der leichten Personenschäden um 20% und die Zahl der Unfälle mit schweren Sachschäden um 70% zu (vgl. Tab. 6-9).

Vergleicht man die Ergebnisse mit den Resultaten der Untersuchungsstrecke SG₂, so stellt sich heraus, dass die vier Unfälle, welche sich an der Strecke SG₂ ereigneten, alle im Innenbereich der Baustelle stattfanden. Dies führt zu einer ähnlich hohen Unfallrate ($U_R = 0.84$) wie an den in [39] behandelten Baustellen ($U_R = 0.80$). In allen anderen Abschnitten der Baustelle SG₂ geschahen keine Unfälle. Die in [39] festgestellten Unfallraten können somit nicht bestätigt werden. In beiden Fällen ergibt sich jedoch eine deutliche Erhöhung des Unfallrisikos durch die Einrichtung einer Baustelle. In SG₂ liegt dabei der Schwerpunkt im Bereich des Anschlusses. Die Untersuchungsstrecke AG₁ ist aufgrund der, unabhängig von der Baumassnahme, konstant hohen Unfallrate ($U_R = 1.12$ bzw. 1.40), mit den Werten in [39] vergleichbar.

Unfallauswertungen zu Baustellen mit der *Betriebsform* 4+0 finden sich in den Berichten [39] sowie [14]. In [39] werden die Unfallraten getrennt nach den Baustellenabschnitten angegeben. Während sich für den Zufahrtsbereich (A bzw. B₁) nur durchschnittliche Raten ergeben ($U_R = 0.7$ statt 0.7 bzw. $U_R = 1.2$ statt 1.1), kann in der Überleitung selbst (B₂) eine deutlich erhöhte Unfallrate ($U_R = 2.0$ statt 1.4) festgestellt werden. Auch die Rückleitung der zwei Fahrstreifen fällt durch eine überdurchschnittliche Unfallrate auf. Im

Vergleich der drei in [39] untersuchten Betriebsformen schneidet die Betriebsform 4+0 am ungünstigsten ab. Dies zeigt auch der Vergleich der Unfallrate am beeinflussten und unbeeinflussten Streckenabschnitt: Die Unfälle mit schweren Personenschäden liegen um 10%, die Rate der Unfälle mit leichten Personenschäden um 90% und bei den schweren Sachschäden sogar um 120% höher.

Eine, mit der Betriebsform 4+0 vergleichbare Strecke kann auch in [14] gefunden werden. Hier traten in allen Baustellenbereichen deutlich grössere Unfallzahlen im Vergleich zum Referenzzeitraum auf (vgl. Tab. 6-8, Baustelle 5). Im Durchschnitt ergab sich eine stark erhöhte Unfallrate ($U_R = 1.60$ statt 0.84), wobei die meisten Unfälle an dieser Baustelle im Innenbereich (B3) stattfanden ($U_R = 1.94$). Im Mittel bedeutet dies einen Anstieg der Unfallrate um 90%. Auffällig ist besonders die grosse Zahl der Unfälle im Zulaufbereich ($U_R = 1.57$ statt 0.45).

Für den Vergleich der Betriebsform 4+0 eignet sich die Untersuchungsstrecke SG1. Während der Baumassnahme ereigneten sich drei Unfälle. Alle drei Unfälle passierten im Baustellen-Innenbereich (B3). Dies ergibt jedoch eine sehr kleine Unfallrate U_R von 0.16 . Da sich im Bereich der Zufahrt keine Unfälle ereigneten, können auch hier die Ergebnisse aus den ausländischen Beobachtungen nicht bestätigt werden. Der betrachtete Abschnitt ist während der Baumassnahme nicht gefahrenträchtiger als ohne Baustelle. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen aus [39] und [14].

Eine allgemeine Betrachtung unterschiedlicher Betriebsformen in [20] ergab mehrfach höhere Unfallraten als auf den Untersuchungsstrecken, vor allem in den Bereichen der Verschwenkungen und Überleitungen sowie in der Baustellenzufahrt. Die abweichenden Ergebnisse aus den Untersuchungsstrecken SG1, SG2, ZG1 und AG1 können teilweise mit den verhältnismässig kurzen Beobachtungsräumen begründet werden. Die deutlich kleineren Unfallzahlen auf den Untersuchungsstrecken sind vermutlich auch auf die verbesserte Gestaltung der Baustellenbereiche im Vergleich zu jener Ende der 80er Jahre zurückzuführen.

7. Analyse der Messergebnisse

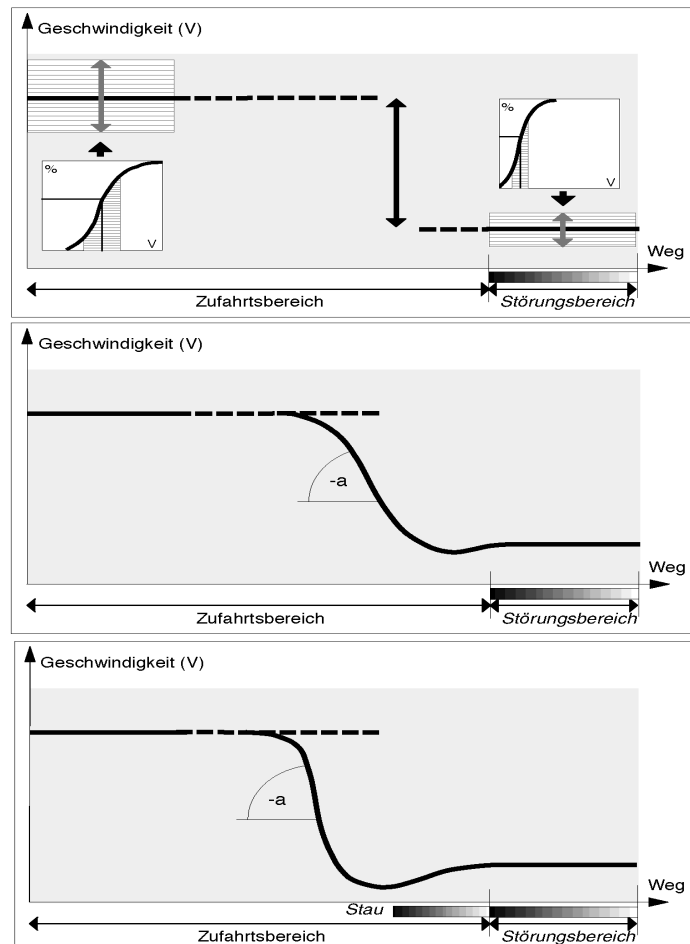
7.1. Einleitung

Bei allen Betriebsformen müssen die Geschwindigkeiten in Baustellenbereichen gegenüber jenen im Zufahrtsbereich mehr oder weniger reduziert werden. Dies ist durch die Kombination mehrerer Restriktionen wie Sichteinschränkungen, beeinträchtigte Übersichtlichkeit der Verkehrsführung, Verschwenkung und Überleitung der Fahrstreifen (reduzierte Kreisbogenradien und abrupte Quergefälleänderungen) sowie die reduzierten Querschnittsabmessungen (Fahrstreifenbreiten und seitliche Hindernisabstände) begründet.

Die Problematik der situativen Geschwindigkeitsanpassung bei Störungen auf HLS – wie sie z.B. durch Baustellen entstehen – besteht in den grossen Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Zufahrts- und Störungsbereich und in den oft beträchtlichen Geschwindigkeitsstreuungen in den Querschnitten des Zufahrtsbereichs.

Bei unerwarteten Verkehrsverdichtungen entstehen dadurch bruske Verzögerungsmanöver (-a), die sich in der Regel auf den letzten Abschnitt vor dem Störungsbereich konzentrieren.

Weil die Durchflussmenge im Störungsbereich reduziert ist, bilden sich bei starken Zuflussmengen Stoss- oder Stauwellen, die entgegen der Fahrtrichtung gerichtet sind. Deren Fortpflanzung ist aus der Fahrerperspektive oft schlecht einschätzbar und führt dadurch zu noch stärkeren Verzögerungen und im Extremfall zu Auffahrunfällen.



Diese unerwünschte Wirkung lässt sich grundsätzlich vermeiden oder reduzieren durch

- das Bereitstellen von Betriebsformen mit ausreichender Abflussleistung im Baustellenbereich (Verringerung der Staugefahr) und
- Betriebsformen, die im Zufahrts- und Baustellenbereich so gestaltet sind, dass eine starke Herabsetzung der Tempolimiten nicht erforderlich wird (Verhinderung grosser Geschwindigkeitsdifferenzen).

An die Gestaltung selbst können daraus als Forderungen abgeleitet werden:

- Sowohl aus Gründen der Verkehrsqualität als auch der -sicherheit sind Gestaltungen der Baustellenzufahrten anzustreben, die eine möglichst gemächliche Anpassung des Geschwindigkeitsverlaufs bei möglichst homogener Geschwindigkeitsverteilung im Zufahrtsbereich fördern. Im Idealfall sollten sämtliche Fahrzeuglenker die Geschwindigkeit so wählen, wie im Durchschnitt – unter Beachtung der angezeigten Tempolimiten – gefahren wird.
- Im Einleitungsbereich der Baustelle (Verschwenkung/Überleitung der Fahrstreifen) sollte deshalb das Geschwindigkeitsniveau nicht weiter absinken. Bei Zuflussmengen von mehr als ca. 80% der Leistungsfähigkeit im Baustellenbereich genügen bereits kleine Differenzen der mittleren Geschwindigkeit, um

lokale Verdichtungen oder sogar Stosswellen, die sich stromaufwärts ausbreiten, zu bewirken. Die Geschwindigkeitsanpassung sollte deshalb bereits vor diesem kritischen Bereich abgeschlossen sein²⁴.

Günstig sind somit jene Gestaltungen, welche im Vergleich der in dieser Arbeit durchgeführten Versuche signifikante Veränderungen im Sinne der obigen Forderungen bewirken.

7.2. Vorgehen bei der Analyse

7.2.1. Arbeitsschritte

In Kapitel 5 wurden je Untersuchungsstrecke die Ergebnisse einzelner Versuche gegenübergestellt und beurteilt. In den entsprechenden Kommentaren wurde auf die kleineren oder grösseren Veränderungen hingewiesen. Als *Beschreibungsgrössen* des Verkehrsablaufs wurden verwendet

- für die Geschwindigkeitsverteilung an den massgebenden Querschnitten die Standardabweichungen S um die mittlere Geschwindigkeit V_m und
- für die Geschwindigkeitsanpassung die Geschwindigkeitsdifferenzen und die mittleren Verzögerungen zwischen den massgebenden Querschnitten. Dabei wurden die Fahrzeuggruppen „Alle Fz“ (charakterisiert mit V_m) und „schnellfahrende Fz“ (charakterisiert mit $V_{85\%}$) betrachtet.
- Analog wurden bei der Spurverteilung die Standardabweichungen an den massgebenden Querschnitten und
- die Verschiebungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen von der Fahrstreifenmitte herangezogen.

In diesem Kapitel werden die verschiedenen *Einflüsse auf den Verkehrsablauf* analysiert. Diese umfassen einerseits versuchsbedingte Einflüsse (z.B. die signalisierte Tempolimit oder die Art der eingesetzten Leiteinrichtung) und andererseits versuchsunabhängige Einflüsse der örtlichen Situation auf den einzelnen Untersuchungsstrecken. Diese betreffen auch geometrische Merkmale, die bisher nicht berücksichtigt wurden. Als wesentlich werden erachtet:

- Fahrstreifenbreiten im Zufahrtsbereich und in der Überleitung
- Seitliche Abstände der Leiteinrichtungen vom Fahrstreifenrand
- Öffnungslänge der Mittelstreifenüberfahrt und Richtungsänderungswinkel.

Bei der Analyse der Einflüsse wird in einem ersten Schritt geprüft, welche der erwähnten Veränderungen auch im statistischen Sinn signifikant sind. Dazu werden entsprechende Datensätze aufbereitet. Im Vordergrund stehen auffällige Veränderungen, die bereits in Kapitel 5 als bedeutend beurteilt wurden. Die eingesetzten Tests sind in 7.2.2. beschrieben. Für jene *statistisch signifikante Veränderungen*, die auch sicherheitsrelevant sind, werden in einem zweiten Schritt die möglichen Erklärungen anhand der oben erwähnten Einflüsse gesucht. Die Sicherheitsrelevanz wird im Hinblick auf allfällige Verbesserungsvorschläge zur Gestaltung der Baustellenbereiche als wesentlich erachtet.

In Kapitel 5 wurden die Messergebnisse jeweils separat für die einzelnen Untersuchungsstrecken beurteilt. Bei der nachfolgenden Analyse werden auch – soweit möglich und sinnvoll – Vergleiche zwischen den Untersuchungsstrecken angestellt.

Das *Unfallgeschehen* wurde bereits in Kapitel 6 beschrieben und analysiert. In diesem Kapitel wird es zur Überprüfung der allfälligen Zusammenhänge mit dem Verkehrsgeschehen herangezogen. Dabei sind keine direkten Bezüge zu den durchgeführten, kurzen Versuchen möglich. Im Vordergrund stehen also globale Tendenzen, welche auf Mängel im Zufahrtsbereich und in der Überleitung an den einzelnen Untersuchungsstrecken hindeuten und welche die Erkenntnisse aus dem Verkehrsablauf gegebenenfalls unterstützen.

Eine wichtige Bedeutung kommt in dieser Bearbeitungsphase dem Heranziehen der *Ergebnisse aus anderen Untersuchungen* zu, auf die bereits in 1.6.2. summarisch eingegangen wurde. Das Ziel besteht dabei darin, auch Erfahrungen mit Anordnungen im Bereich von Baustellen einzubeziehen, die im Rahmen der hier durchgeführten Versuche nicht gewonnen werden konnten. Analog zum Unfallgeschehen (vgl. 6.3.) musste bei dieser Arbeit auf die Vergleichbarkeit und teilweise auch auf die Übertragbarkeit (ausländische Untersuchungen) der Erkenntnisse geachtet werden.

²⁴ Deshalb werden von den Betreibern (z.B. Kantonspolizei Zürich) Gestaltungen gefordert, die das Befahren der Überleitungen und der Baustellen-Innenbereiche mit bis zu 100 km/h erlauben.

7.2.2. Statistische Tests

Die Beurteilung der Veränderung entsprechender Beschreibungsgrößen wurde anhand folgender statistischer Signifikanztests vorgenommen:

- *F-Test*

Vergleich zweier Streuungen (Varianzen) aus normalverteilten Grundgesamtheiten.

Voraussetzungen:

- Unabhängigkeit der Stichproben (Stichprobenumfänge n_1, n_2)
- Stichproben stammen aus normalverteilter Grundgesamtheit

Nullhypothese: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 \rightarrow$ gleiche Streuungen (Varianz bzw. Quadrat der Standardabweichung S)

Zur Prüfung der Nullhypothese wird zuerst die Testgröße $F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2$ berechnet. Mittels der Fisherschen F-Verteilung wird aus der Testgröße F und den zugehörigen Freiheitsgraden $m_1 = n_1 - 1$ und $m_2 = n_2 - 1$ der p -Wert, also die Wahrscheinlichkeit zur Annahme der Nullhypothese berechnet. Dieser Weg der direkten Ermittlung des p -Werts kann nicht mit F -Tabellen beschriftet werden. Es wurde hierfür die Funktion *fcdf* (F cumulative distribution function) des numerischen Softwarepakets MATLAB verwendet.

Zur Berechnung der Testgröße F muss stets die grössere der beiden Streuungen im Zähler stehen. Gleichzeitig muss sich der Freiheitsgrad m_1 auf die Messreihe mit der grösseren Streuung beziehen. Der dann mittels *fcdf*-Funktion erhaltene p -Wert bezieht sich entsprechend auf die einseitige Fragestellung $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$ (vgl. [28], Seite 195 ff.)

- *ANOVA (Analysis of Variance)*

Varianzanalytischer Vergleich von Erwartungswerten μ .

Voraussetzungen:

- Unabhängigkeit der Stichproben
- Stichproben stammen aus normalverteilter Grundgesamtheit
- Stichproben haben unbekannte, gemeinsame Varianz

Nullhypothese: $\mu_1 = \mu_2 \rightarrow$ gleiche Erwartungswerte (hier mittlere Geschwindigkeiten v_m)

Bei der einfachen Varianzanalyse (auch einfache Streuungszerlegung genannt) lässt sich die Summe der Abweichungsquadrate (SAQ) aller Stichprobenwerte um das Gesamtmittel in zwei Anteile zerlegen:

- SAQ der Einzelwerte um die Stichprobenmittelwerte (SAQ innerhalb)
- SAQ der Stichprobenmittelwerte um das Gesamtmittel (SAQ zwischen)

Bildet man die Quotienten aus den SAQ und den zugehörigen Freiheitsgraden, so ergeben sich deren Varianzen (oder mittlere Quadrate MQ). Unter der Voraussetzung, dass alle Stichproben derselben Grundgesamtheit entstammen, sollten die „Varianz innerhalb“ (Residualvarianz) und die „Varianz zwischen“ (Effektvarianz) etwa gleich gross sein. Ähnlich wie bei obigem F -Test wird nun die Testgröße $F = MQ_{\text{zwischen}} / MQ_{\text{innerhalb}}$ berechnet. Ist F grösser als 1, also „Varianz zwischen“ grösser als „Varianz innerhalb“, so kann ein systematischer Einfluss auf die Mittelwertdifferenz der einzelnen Stichproben vermutet werden. Auf Signifikanz und somit Ablehnung der Nullhypothese kann wiederum mittels der Fisherschen F -Verteilung geprüft werden. (vgl. [36], Seite 619ff.)

Beim Vergleich von genau zwei Stichproben ist die Testgröße F identisch mit dem Quadrat der Testgröße T des doppelten T -Tests (vgl. [36], S. 226). In diesem Fall geben beide Tests identische Antworten bzgl. Signifikanz. Um auf die Arbeit mit F -Tabellen verzichten zu können, wurde wiederum direkt der p -Wert, also die Wahrscheinlichkeit zur Annahme der Nullhypothese berechnet. Dies erfolgte mit der Funktion *anova1* in MATLAB. Der damit erhaltene p -Wert bezieht sich auf die zweiseitige Fragestellung $\mu_1 \neq \mu_2$.

Neben der sequenziellen, isolierten Analyse einzelner Einflüsse wurden auch – wo es der Versuchsplan erlaubt – mehrere Einflussfaktoren gemeinsam betrachtet (mehrfaktorielle ANOVA). Hier zeigt sich die eigentliche Stärke der ANOVA, denn so können Signifikanzen sowohl für einzelne Einflussfaktoren, als auch für deren Interaktionen festgestellt werden. Es wurde hierfür auf die MATLAB-Funktion *anovan* zurückgegriffen.

- *Signifikanzniveau α*

Aufgrund der bei den einzelnen Versuchen erhobenen Stichprobenumfänge (rund 1000 Fahrzeuge pro Messung und Querschnitt) und der damit verbundenen hohen Teststärke wurde zur Beurteilung der statistischen Tests das Signifikanzniveau $\alpha = 0.01$ (1% Irrtumswahrscheinlichkeit) gewählt.

Die folgenden Darstellungen zeigen beispielhaft die Berechnungsergebnisse für den F-Test (oben links) und für den einfaktoriellen ANOVA-Test (oben rechts) und für den mehrfaktoriellen ANOVA-Test (unten rechts). In den Darstellungen zeigen jene Säulen, die das Wahrscheinlichkeitsniveau von 0.01 übersteigen, dass in den entsprechenden Messquerschnitten und Fahrstreifen (Normal / Überhol) keine signifikante Veränderung der geprüften Beschreibungsgrösse erfolgte.

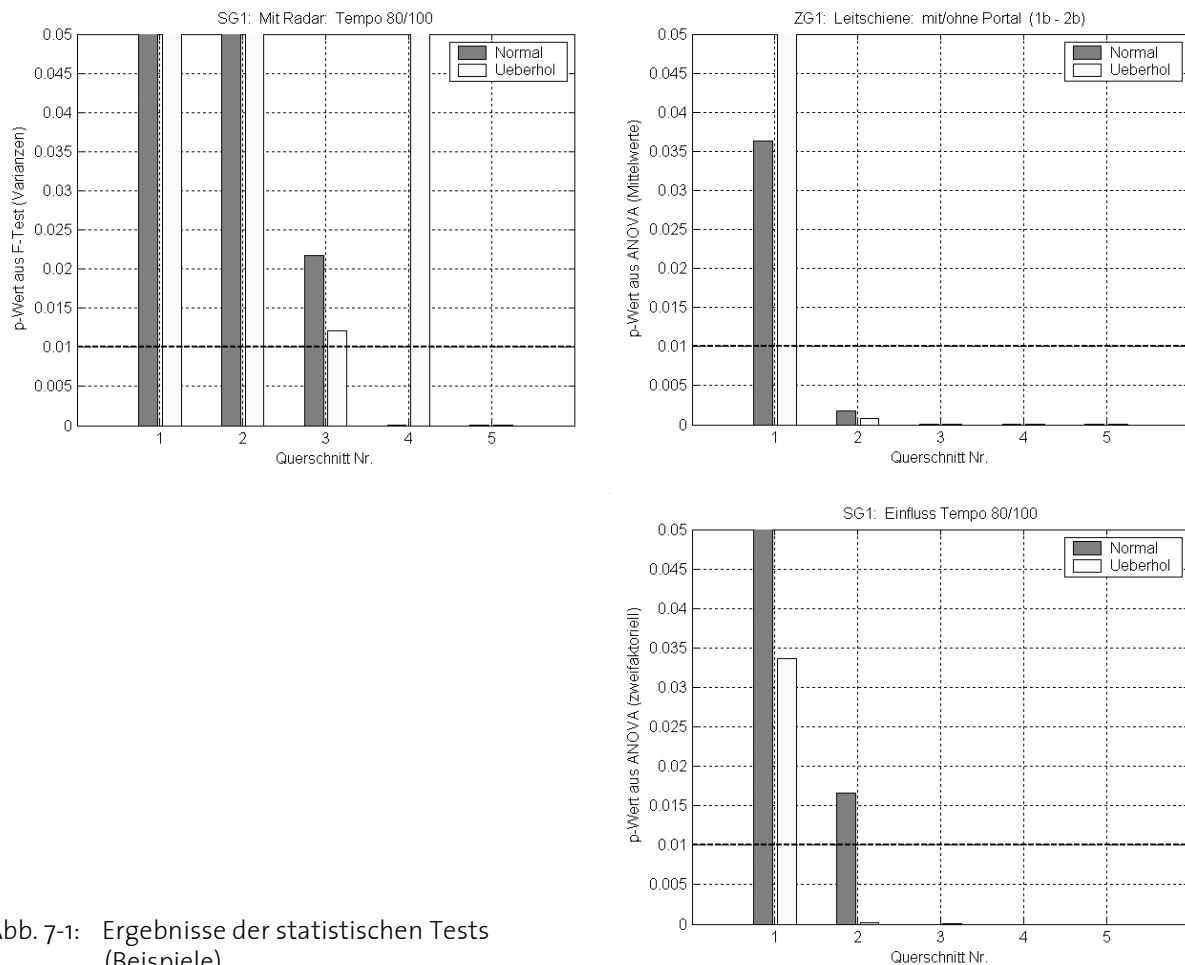


Abb. 7-1: Ergebnisse der statistischen Tests (Beispiele)

7.3. Verkehrsablauf im Zufahrtsbereich

In diesem Abschnitt werden die Geschwindigkeiten und die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel analysiert. Dabei stehen die Einflüsse der Tempolimiten und deren Überwachung sowie weitere Einflussmerkmale im Vordergrund. In einem zweiten Schritt werden allfällige Zusammenhänge mit Unfallgeschehen untersucht.

Einleitend wird hier auf die *Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel* (FSW) im Zufahrtsbereich eingegangen. Fahrstreifenwechsel werden auf offenen Strecken auch ohne Baustellenbetrieb vorgenommen. Ihre Häufigkeit ist gemäss Erhebungen in [17] von der Verkehrsstärke weitgehend unabhängig. Sie schwankt auf zweistreifigen HLS-Fahrbahnen im Bereich der Verkehrsstärken von ca. 1'300 bis 3'200 Fz/h mit zwischen ca. 40 und 250 FSW sehr stark. Bei den vorliegenden Versuchen lagen die Verkehrsstärken zwischen ca. 855 und 1'920 Fz/h (vgl. Tabelle 7-1). Für diesen Stärkebereich werden in [17] Mittelwerte von ca. 120 bis 165 FSW/h angegeben. Wie aus Tabelle 7-1 ersichtlich, variierte die Anzahl FSW/h während der Versuche zwischen 13 und 129. Im Vergleich zu [17] war sie somit unterdurchschnittlich.

In Tabelle 7-1 sind nochmals die wichtigsten Merkmale der Versuche sowie die Ergebnisse zu den Fahrstreifenwechsel in einem Überblick zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass sich die Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel (FSW (%)) bei den Untersuchungsstrecken SG1, SG2 und AG1 mit Werten zwischen ca. 6.0 und 10.5% nur wenig unterscheiden. Ein Zusammenhang mit Betriebsform, Tempolimiten oder Leitelementen ist hier nicht auszumachen.

Bau- stelle	Betriebs- form	Eingesetzte Versuchselemente			Versuch	Fz/h	FSW/h	Anteil an Gesamtbelastung		Anteil FSW mit Bremsung an allen FSW (%)
		V _{zul} (km/h)	Leitelemente	Zusatz- elemente				FSW (%)	FSW mit Bremsung (%)	
SG1	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke		SG1 1a	1150	96	8.35	1.83	21.88
	4 / o	80	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar	SG1 1b	1098	86	7.86	2.09	26.61
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke		SG1 2a	1210	102	8.42	1.49	17.73
	4 / o	100	Baken hoch, vor Schranke	mit Radar	SG1 2b	1114	119	10.65	0.22	2.05
SG2	3 / 1	80	Baken hoch	In Überleitung:	SG2 1a	1174	105	8.93	0.37	4.19
	3 / 1	80	Schiene mit Baken niedrig	Blinkende	SG2 1b	1273	83	6.54	1.11	16.90
	3 / 1	100	Baken hoch	Abweispfeile	SG2 2a	1261	109	8.66	2.51	28.90
	3 / 1	100	Schiene mit Baken niedrig	in Hochlage	SG2 2b	1154	85	7.34	1.41	19.10
ZG1	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter		ZG1 1a	855	25	2.89		
	4 / o	80	Schiene mit Baken niedrig		ZG1 1b	939	28	3.01		
	4 / o	80	Baken hoch, mit Blinklichter	mit Portal	ZG1 2a	914	18	1.97		
	4 / o	80	Schiene mit Baken niedrig	mit Portal	ZG1 2b	863	13	1.56		
AG1	3 / 1	80	Baken hoch / Schranke	In Überleitung:	AG1 1	1692	129	7.60		
	3 / 1	100	Baken hoch / Schranke	Blinkende Abweispfeile in Hochlage	AG1 2	1920	114	5.94		

Tab. 7-1: Übersicht Anteile Fahrstreifenwechsel (FSW) und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung bei den einzelnen Versuchen

Die Ausnahme bildet die Untersuchungsstrecke ZG1 mit sehr niedrigen Werten (ca. 1.5 bis 3.0%). Eine offensichtliche Ursache für die deutlich niedrigere Häufigkeit der FSW konnte nicht gefunden werden: Die leicht kleineren stündlichen Verkehrsstärken können den enormen Unterschied zu den Häufigkeiten auf anderen Untersuchungsstrecken nicht erklären. Vermutlich liegt der Grund in

- der vorgelagerten Vorwegweisung, (die Anzeige der Fahrtziele erfolgte bereits 700 m vor der Überleitung) und
- der Tatsache, dass bei dieser Strecke ein kürzerer Bereich in den Videoaufnahmen²⁵ sichtbar wurde als bei den anderen Untersuchungsstrecken.

Insgesamt lassen sich aus der in der vorliegenden Untersuchung erhobenen Häufigkeit der Fahrstreifenwechsel keine wesentlichen Hinweise auf Verbesserungsvorschläge im Zufahrtsbereich zu Baustellen gewinnen.

In den ausländische Untersuchungen wird auf die Fahrstreifenwechsel in Zufahrten zu Baustellen – nicht zuletzt wegen des erheblichen Erhebungsaufwandes - nur selten eingegangen. In [19] werden nur indirekte Aussagen (über die Fahrstreifenbelegung) auf einer Baustellenzufahrt mit Betriebsform 4+0 gemacht. Demnach nimmt die Tendenz, den Fahrstreifen in Richtung vom Überhol- zum Normalstreifen mit abnehmender Distanz²⁶ zur Überleitung zu. Diese Feststellung kann bei den zwei Untersuchungsstrecken mit Betriebsform 4+0 (SG1 und ZG1) bestätigt werden. Bei beiden wurde deutlich häufiger vom Überhol- zum Normalstreifen gewechselt als umgekehrt (vgl. ANHÄNGE A6.1 und A6.3). Konkrete Angaben werden in [13] gemacht, allerdings beziehen sie sich nur auf wenige Versuchsfahrten. Dabei wird u.a. festgestellt, dass bei Betriebsform 4+0 Fahrstreifenwechsel seltener vorkommen als bei anderen Betriebsformen. Zudem seien die Fahrstreifenwechsel im unbeeinflussten Bereich (entsprechend unserem Bereich zwischen QS1 und QS2) häufiger als im beschilderten Verzögerungsbereich (entsprechend unserem Bereich zwischen QS2 und QS5). Das Verhältnis der Häufigkeit zwischen den zwei Bereichen beträgt gemäss [13] bei der Betriebsform 4+0 ca. 2 zu 1.

7.3.1. Einfluss der Tempolimits

Für die Analyse des Einflusses der Tempolimits (100 bzw. 80 km/h) können die Untersuchungsstrecken SG1 (2 Versuche), SG2 (4 Versuche) und AG1 (2 Versuche) herangezogen werden. Obwohl es sich um verschiedenen Betriebsformen handelt, sind die Untersuchungsstrecken im Zufahrtsbereich (Messquerschnitte QS1 bis QS5) geometrisch und betrieblich vergleichbar.

Nachfolgend werden die Erkenntnisse zum Einfluss der Tempolimits auf das Geschwindigkeitsverhalten an den einzelnen Untersuchungsstrecken unter Berücksichtigung der statistischen Signifikanz (T- und F-Test) der Veränderungen dargelegt. In einem zweiten Schritt werden Vergleiche zwischen den Analyseergebnissen der einzelnen Untersuchungsstrecken und Vergleiche mit Erkenntnissen aus ausländischen Untersuchungen angestellt.

²⁵ Da Aufnahmen von einer Überführung nicht möglich waren, war die Videokamera seitlich in nur leicht erhöhten Lage befestigt.

²⁶ Erhoben an Querschnitten mit 750 m und 250 m vor sowie zu Beginn der Überleitung.

7.3.1.1. Einfluss der Tempolimite in der Zufahrt auf SG1

Für den Vergleich können die Versuche SG1 1a (80 km/h) und SG1 2a (100 km/h) einbezogen werden. Beurteilt werden einerseits die Veränderungen an den Messquerschnitten, wobei die Standorte der Geschwindigkeitssignale berücksichtigt werden müssen. In die Beurteilung werden auch allfällige Unstetigkeiten im Verlauf der Geschwindigkeiten entlang der Zufahrt einbezogen. Auf die sicherheitsrelevante Frage, wie weit die signalisierte Tempolimite zu Beginn der Überleitung eingehalten wurde, wird in 7.4.1. eingegangen.

Das erste Geschwindigkeitssignal befand sich bei -755 m, ca. 70m nach QS1 (bei beiden Versuchen mit 100km/h); das zweite Geschwindigkeitssignal mit wechselnder Tempolimite (100 / 80 km/h) stand bei -353 m, ca. 50 m vor QS4.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Die Veränderungen der V_m an den Messquerschnitten der Zufahrt (QS1 bis QS5) infolge der Reduktion der Tempolimite von 100 auf 80 km/h sind aus Tabelle 5-6 ersichtlich. Wie bereits erwähnt, waren die äusseren Bedingungen bei beiden Versuchen identisch, sodass die allfälligen Veränderungen auf die veränderte Tempolimite zurückgeführt werden können. Die statistische Überprüfung (ANOVA- bzw. T-Test, vgl. 7.2.2.) ergab, dass auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit die Veränderungen an den folgenden Querschnitten signifikant sind:

	Querschnitt Nr.						Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	-	-	3	4	5	Überholstreifen ÜS	(1)	-	-	4	5

Tab. 7-2: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite an SG1

Aus Tabelle 7-2 ist ersichtlich, dass die V_m -Veränderungen in der zweiten Hälfte der Zufahrt signifikant sind. Eine zweifaktorielle Überprüfung, welche die Veränderungen durch die Tempolimite im Zustand mit Radarüberwachung mitberücksichtigt, bestätigte die obigen Ergebnisse, wobei sich die Veränderung am QS1 des Überholstreifens als nicht mehr signifikant erwiesen hat. Generell hat sich gezeigt, dass bei den jeweils vorhandenen Stichprobegrössen Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV von mehr als ca. 3 km/h signifikant sind. In obiger Tabelle ist der erste Messquerschnitt unmittelbar nach dem wechselnden Geschwindigkeitssignal grau hervorgehoben (QS4). An diesem beträgt die Reduktion ΔV infolge der Limite-Senkung von 100 auf 80 km/h ca. 5.5 (NS) bzw. 6.0 (ÜS) km/h (vgl. Tabelle 5-6), was einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit um ca. 6.25% entspricht. Daraus darf gefolgert werden, dass auf dieser Untersuchungsstrecke im Durchschnitt (V_m) auf die Geschwindigkeitsanzeige in signifikantem Ausmass reagiert wird. Obwohl bei nachfolgendem QS5 auf dem ÜS eine noch grössere ΔV von ca. 9.5 km/h vorhanden war, muss davon ausgegangen werden, dass diese eine Folge der Geschwindigkeitsanpassung an die nachfolgende Überleitung darstellt.

Im Bezug auf den *Geschwindigkeitsverlauf* entlang der Zufahrt (QS1 bis QS5) ergab sich bei beiden Tempolimiten und auf beiden Fahrstreifen eine gemächliche Verlangsamung, eigentliche Unstetigkeiten treten nicht auf. Die Geschwindigkeitsabnahme ist dabei erwartungsgemäss bei Tempolimite 80 km/h deutlich grösser als bei Tempolimite 100 km/h. Unterschiede in den Geschwindigkeitsverläufen ergeben sich jedoch vor und in der Überleitung (vgl. 7.4.1.).

- *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Wie bei V_m konzentrieren sich die grösseren *Veränderungen der $V_{85\%}$ an den Messquerschnitten* der Zufahrt (QS1 bis QS5) infolge der Reduktion der Tempolimite von 100 auf 80 km/h auf die zweite Hälfte der Zufahrt (vgl. Tabelle 5-10, links). Unter der Voraussetzung einer Normalverteilung kann die statistische Signifikanz der Veränderungen von Mittelwerten V_m (Tabelle 7-2) auf jene der Geschwindigkeitspercentile $V_{85\%}$ übertragen werden²⁷. Am ersten Messquerschnitt unmittelbar nach dem wechselnden Geschwindigkeitssignal (QS4) beträgt die Reduktion der $V_{85\%}$ infolge der Limite-Senkung 6.5 (NS) bzw. 4.3 (ÜS) km/h, was einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit um ca. 6.5 bzw. 4.1% entspricht. Diese Veränderung wird als signifikant erachtet. Auch hier resultiert bei nachfolgendem QS5 auf dem ÜS eine noch grössere ΔV (8.0 auf NS und 9.7 km/h auf ÜS), was auf die Geschwindigkeitsanpassung an die nachfolgende Überleitung zurückgeführt wird.

Der *Verlauf der $V_{85\%}$* (vgl. Abbildung 5-5) folgt jenem der V_m (vgl. oben). Auffallend ist, dass sich die Differenz $V_{85\%} - V_m$ entlang der Zufahrt bei Tempolimite 80 km/h verringert, während dies bei Tempolimite 100 km/h nicht der Fall ist.

²⁷ Die Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV_m und $\Delta V_{85\%}$ bei allen Messquerschnitten dieser Untersuchungsstrecke ergab in einer linearen Regression ($\Delta V_m = 0.889 \Delta V_{85\%} + 0.875$) einen relativ engen Zusammenhang (Bestimmtheitsmass von 0.85).

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Die Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Zufahrt wurden an den einzelnen Querschnitten (QS) aufgrund der Standardabweichungen S , welche die Streuung (Varianz) der Messwerte charakterisieren, untersucht (vgl. Kapitel 5.). In 5.1.1.1. wurde festgestellt, dass die Veränderung der Tempolimite (80/100) keine oder nur geringfügige Auswirkungen auf die örtliche Geschwindigkeitsverteilung ausübt. Die Differenzen der Standardabweichungen (ΔS) liegen in der Zufahrt im Bereich von 0 bis 1.3 km/h. Dementsprechend ergab die statistische Überprüfung (F-Test, vgl. 7.2.2.), dass die ΔS auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit nur selten signifikant sind (vgl. Tabelle 7-3). Hinzu kommt, dass nach der Geschwindigkeitsanzeige (QS4) auf einem der Fahrstreifen eine Erhöhung auf dem anderen eine Reduktion der S -Werte infolge der Veränderung der Tempolimite festgestellt wurde.

	Querschnitt Nr.					Querschnitt Nr.					
Normalstreifen NS	-	-	-	4	-	Überholstreifen ÜS	1	-	-	4	

Tab. 7-3: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempolimite an SG1

Aufgrund dieser Überprüfung muss die Aussage in 5.1.1.1., dass die deutliche Herabsetzung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h keine homogenere Geschwindigkeitsverteilungen auf dieser Zufahrt bewirkt, bestätigt werden.

Auf beiden Fahrstreifen nehmen die Standardabweichungen unabhängig von der Tempolimite in Richtung Baustelle deutlich ab (vgl. Abbildungen 5-2 und 5-3). Die grössere Ausprägung dieser Abnahme auf dem NS ist steigungsbedingt.

7.3.1.2. Einfluss der Tempolimite in der Zufahrt auf SG2

Für den Vergleich können die Versuche SG2 1a (80 km/h) und SG2 2a (100 km/h), die bei einer Anordnung mit hohen Baken durchgeführt wurden sowie die Versuche SG2 1b (80 km/h) und SG2 2b (100 km/h), die bei einer Anordnung mit Leitschiene stattgefunden haben, einbezogen werden. Wie bei der Strecke SG1 werden einerseits die Veränderungen an den Messquerschnitten beurteilt. Dabei müssen die Standorte der Geschwindigkeitssignale berücksichtigt werden. In die Beurteilung werden auch allfällige Unstetigkeiten im Verlauf der Geschwindigkeiten entlang der Zufahrt einbezogen.

Der erste Geschwindigkeitssignal befand sich bei -776 m, ca. 35m nach QS1 (bei beiden Versuchen mit 100km/h); der zweite Geschwindigkeitssignal mit wechselnder Tempolimite (100 / 80 km/h) stand bei -317 m, genau im QS3.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Die Veränderungen der V_m an den Messquerschnitten der Zufahrt (nur QS1 bis QS4) infolge der Reduktion der Tempolimite von 100 auf 80 km/h sind aus Tabelle 5-21 (Anordnung mit hohen Baken) bzw. 5-22 (Anordnung mit Leitschiene) ersichtlich. Die Art der Leiteinrichtung ist im vorliegenden Zusammenhang untergeordnet, sie wird erst in 7.4.2. berücksichtigt.

Die statistische Überprüfung (ANOVA- bzw. T-Test, vgl. 7.2.2.) ergab, dass auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit die Veränderungen an den folgenden Querschnitten signifikant sind:

(hohe Baken)	Querschnitt Nr.				(hohe Baken)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	-	-	3	4	Überholstreifen ÜS	-	-	3	4
(Leitschiene)	Querschnitt Nr.				(Leitschiene)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	-	-	3	4	Überholstreifen ÜS	-	-	3	4

Tab. 7-4: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten) an SG2

Aus Tabelle 7-4 ist ersichtlich, dass die V_m -Veränderungen in der zweiten Hälfte der Zufahrt bei beiden Anordnungen signifikant sind. Dies hat auch eine dreifaktorielle Berechnung (Tempolimite, Leiteinrichtung und Beleuchtungsverhältnisse) bestätigt. Generell hat sich gezeigt, dass bei den jeweils vorhandenen Stichprobegrößen die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV_m von mehr als ca. 2.5 km/h signifikant sind. In obiger Tabelle ist der erste Messquerschnitt unmittelbar nach dem wechselnden Geschwindigkeitssignal grau hervorgehoben (QS4). An diesem beträgt die (signifikante) Reduktion ΔV_m infolge der Limite-Senkung von 100 auf 80 km/h ca. 5.0 km/h auf NS und auf ÜS ca. 4.0 km/h (bei hohen Leitbaken, vgl. Tabelle 5-21) bzw. 6.8 km/h (bei Leitschiene, vgl. Tabelle 5-22). Das entspricht einer

Reduktion der Fahrgeschwindigkeit um ca. 5,6% (auf NS) und 4,2% bzw. 7,1% (auf ÜS). Daraus darf gefolgert werden, dass auch auf dieser Untersuchungsstrecke im Durchschnitt (V_m) auf die Geschwindigkeitsanzeige in signifikantem Ausmass reagiert wird.

Der *Geschwindigkeitsverlauf* entlang der Zufahrt (QS1 bis QS4) ist bei beiden Tempolimiten gleichmässig. Auffallend ist auf beiden Fahrstreifen und bei beiden Leiteinrichtungen eine ausgeprägt stetige Verlangsamung in Richtung Baustelle (vgl. Abbildungen 5-12 und 5-13). Unterschiede im Geschwindigkeitsverlauf zwischen den zwei Tempolimiten können im Bereich der Zufahrt (QS1 bis QS4) nicht festgestellt werden.

• *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Wie bei V_m konzentrieren sich die grösseren *Veränderungen der $V_{85\%}$ an den Messquerschnitten* der Zufahrt (QS1 bis QS4) infolge der Reduktion der Tempolimite von 100 auf 80 km/h auf die zweite Hälfte der Zufahrt (vgl. Tabelle 5-28). Unter der Voraussetzung einer Normalverteilung kann die statistische Signifikanz der Veränderungen von Mittelwerten V_m (Tabelle 7-4) auf jene der Geschwindigkeitspercentile $V_{85\%}$ übertragen werden. Diese Bedingung war bei einer Messung nicht erfüllt, sodass die Anwendung des ANOVA-Tests nicht zulässig ist und Angaben über die Signifikanz nicht möglich sind.

Dies betrifft den Querschnitt 3 auf ÜS bei der Anordnung mit hohen Baken. Aus dem Vergleich zweier Messungen ergaben sich die folgenden Differenzen:

$\Delta V_{85\%} +3.2$ km/h

$\Delta V_m +2.8$ km/h (gemäss Tabelle 7-4 signifikant) und $\Delta S -2.5$ km/h h (gemäss Tabelle 7-5 signifikant)

Bei allen übrigen Vergleichen war die erwähnte Bedingung erfüllt.

Am ersten Messquerschnitt unmittelbar nach dem wechselnden Geschwindigkeitssignal (hier QS4) beträgt die Reduktion der $V_{85\%}$ infolge der Limite-Senkung auf NS 6.5 km/h (bei beiden Leiteinrichtungen) und auf ÜS 3.2 km/h (hohe Leitbaken) bzw. 4.8 km/h (Leitschiene). Das entspricht einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit um ca. 6.5% und um 3,1 bzw. 4,6%. Diese Veränderungen können als signifikant erachtet. Aus diesen Veränderungen darf gefolgert werden, dass auf dieser Untersuchungsstrecke auch durch die schnell fahrende Fahrzeuge auf die Anzeige einer tieferen Geschwindigkeitslimite in signifikantem Ausmass reagiert.

Der *Verlauf der $V_{85\%}$* (vgl. Abbildungen 5-12 und 5-13) folgt in der Zufahrt bei beiden Leiteinrichtungen jenem der V_m . Er zeichnet sich bei beiden Tempolimiten durch eine gemächliche Verlangsamung in Richtung Baustelle aus, eine leichte Annäherung der $V_{85\%}$ -Linie an die V_m -Linie ist nur am Ende der Zufahrt ersichtlich.

• *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Die Veränderungen der Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Zufahrt wurden an den einzelnen Querschnitten (QS) aufgrund der Standardabweichungen S untersucht.

In 5.2.1.1. wurde festgestellt, dass die Variation der Tempolimite (80/100 km/h) in der Zufahrt keinen einheitlichen Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung ausübt. Vor allem auf ÜS ergaben sich im Vergleich der zwei Tempolimite sowohl positive wie auch negative Differenzen der Standardabweichungen (ΔS). Auf der Höhe der Geschwindigkeitssignale konnten jedoch auf dem Überholstreifen höhere S-Werte bei Tempolimite 80 km/h festgestellt werden als bei 100 km/h. Dementsprechend ergab die statistische Überprüfung (F-Test, vgl. 7.2.2.), dass die ΔS auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem NS nur selten signifikant sind (vgl. Tabelle 7-5).

(hohe Baken)	Querschnitt Nr.				(hohe Baken)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	-	-	-	4	Überholstreifen ÜS		-	(3)	-
(Leitschiene)	Querschnitt Nr.				(Leitschiene)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	-	-	-	4	Überholstreifen ÜS	-	2	3	4

Tab. 7-5: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempolimite, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten) an SG2

Auf dem *Normalstreifen* ergeben sich nach dem Geschwindigkeitssignal (QS4) bei beiden Leiteinrichtungen bei Tempolimite 80 km/h signifikant kleinere Streuungen als bei Tempolimite 100 km/h, dies obwohl die ΔS -Werte nur klein sind (vgl. Tabellen 5-14 und 5-15).

Auf dem *Überholstreifen* sind bei der Anordnung mit hohen Baken keine signifikanten Unterschiede in der Streuung vorhanden²⁸. Anders ist die Situation bei der Anordnung mit Leitschiene (vgl. Tabelle 5-15). Dort ergab sich am Ende der Zufahrt (QS₄) und am Querschnitt davor (QS₃) eine signifikant grössere Streuung bei Tempolimiten 80 km/h, während am QS₂ eine ebenso signifikant kleinere Streuung bei Tempolimiten 80 km/h resultierte. An den QS₂ und QS₃ kann ein Zusammenhang mit der noch nicht sichtbaren Leiteinrichtung ausgeschlossen werden. Da die übrigen Bedingungen bei den zwei betrachteten Versuchen nicht verändert waren, kann für die erwähnte Unterschiedlichkeit keine plausible Erklärung angegeben werden.

Insgesamt lässt der erwähnte, uneinheitliche Einfluss auf dieser Untersuchungsstrecke die Folgerung zu, dass die deutliche Herabsetzung der Tempolimiten von 100 auf 80 km/h keine adäquat homogenere Geschwindigkeitsverteilungen auf der Zufahrt bewirkt. Die tendenzielle Abnahme der Streuung in Richtung Baustelle ist hier nur wenig ausgeprägt.

7.3.1.3. Einfluss der Tempolimiten in der Zufahrt auf AG₁

Für den Vergleich können die Versuche AG₁ 1a (80 km/h) und AG₁ 2a (100 km/h) einbezogen werden. Beurteilt werden einerseits die Veränderungen an den Messquerschnitten sowie allfällige Unstetigkeiten im Verlauf der Geschwindigkeiten entlang der Zufahrt.

Gemäss Norm [33] sollen die Geschwindigkeitssignale bei -750 m und -350 m vor dem Baustellenbereich aufgestellt werden. Diese Empfehlungen waren bei den Zufahrten auf den Strecken SG₁ und SG₂ eingehalten. Bei der vorliegenden Strecke war die Situation anders:

- Bereits vor dem Zufahrtsbeginn Tempolimiten von 100 km/h (permanent), bei -750 m kein Signal
- Das Geschwindigkeitssignal mit wechselnder Tempolimiten (100 / 80 km/h) stand bei - 627 m, ca. 25 m nach QS₃ (bei SG₁ und SG₂ waren es ca. - 320 bzw. - 350 m)
- Kurz vor Beginn der Überleitung (ca. 50 m vor QS₆) befand sich ein zweites Geschwindigkeitssignal mit permanenter Anzeige von 80 km/h (bei SG₁ und SG₂ keine Signale)

Diese Unterschiede müssen bei Vergleichen zwischen den Untersuchungsstrecken (vgl. 7.3.1.4.) berücksichtigt werden.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Die *Veränderungen der V_m an den Messquerschnitten* der Zufahrt (QS₁ bis QS₅) infolge der Reduktion der Tempolimiten von 100 auf 80 km/h sind aus Tabelle 5-47 ersichtlich. Anders als bei den Untersuchungsstrecken SG₁ und SG₂ waren die äusseren Bedingungen bei den zwei Versuchen nicht gleich. Wie in 5.4.4. beschrieben, sind während des zweiten Versuches (100 km/h) baustellenbedingte Behinderungen aufgetreten. Der Rückstau reichte dabei zeitweise bis in die Zufahrt und reduzierte entsprechend die Fahrgeschwindigkeiten. Dies manifestiert sich in Tabelle 5-47: Trotz höherer Tempolimiten liegen die V_m -Werte beim zweiten Versuch an mehreren Querschnitten tiefer als bei niedrigerer Tempolimiten. Aus diesem Grund wird auf eine Analyse des Vergleichs verzichtet. Für die Vergleiche mit anderen Untersuchungsstrecken (vgl. 7.3.1.4.) werden nur die Ergebnisse des Versuchs mit Tempolimiten von 80 km/h verwendet.

Die nachfolgende statistische Überprüfung (ANOVA- bzw. T-Test, vgl. 7.2.2.) wird hier nur zur Vollständigkeit angegeben. Sie ergab, dass auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit die Veränderungen an den folgenden Querschnitten signifikant sind:

	Querschnitt Nr.						Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	1	-	-	4	5	Überholstreifen ÜS	1	2	-	4	-

Tab. 7-6: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimiten an AG₁

Beim *Geschwindigkeitsverlauf* entlang der Zufahrt (QS₁ bis QS₅) erfolgt die Geschwindigkeitsabnahme in Richtung Baustelle nicht gleichmässig. Bei beiden Versuchen ist eine erste stärkere Absenkung des Niveaus auf der Höhe des dritten Querschnittes feststellbar. Aus der Abbildung 5-34 ist ersichtlich, dass hier die Geschwindigkeitsanzeige (100/80 km/h) angeordnet war. Dies darf als die Reaktion auf das Signal interpretiert werden. Die beim Versuch mit Tempolimiten 80 km/h auffällig höhere Geschwindigkeiten auf dem ÜS zu Beginn der Zufahrt (QS₁ und QS₂) sind gemäss Tabelle 7-6 statistisch

²⁸ Der Querschnitt 3 weist zwar eine deutliche Differenz auf, die Signifikanz darf jedoch nicht berücksichtigt werden (vgl. die Erklärung im Abschnitt „Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ “).

signifikant, dürfen jedoch nicht auf die Tempolimite zurückgeführt werden (hier galten bei beiden Versuchen 100 km/h).

- *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Bzgl. Vergleiche an den Messquerschnitten gelten sinngemäss die Bemerkungen wie bei V_m (kein Vergleich möglich).

Der Geschwindigkeitsverlauf der $V_{85\%}$ folgt jenem der V_m . Aus Abbildung 5-35 ist ersichtlich, dass die Differenzen zwischen $V_{85\%}$ und V_m in Richtung Baustelle vor allem auf dem ÜS und bei Tempolimite 80 km/h abnehmen. Dies entspricht einer Homogenisierung der Geschwindigkeiten.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Wie bei V_m und bei $V_{85\%}$ sind auch bei den Geschwindigkeitsstreuungen Folgerungen aus den Vergleichen zwischen den zwei Versuchen an den einzelnen Querschnitten nicht möglich. Die Veränderungen sind – wie aus Tabelle 7-7 ersichtlich – teilweise signifikant, ihre Interpretation hängt jedoch mit der erwähnten Staubildung während des zweiten Versuchs zusammen.

	Querschnitt Nr.						Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	1	-	-	-	5	Überholstreifen ÜS	-	-	3	-	5

Tab. 7-7: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempolimite an AG1

Die Standardabweichungen bei den Versuchen AG1 1a und AG1 2a sind in Tabelle 5-46 zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Streuungen *entlang der Zufahrt* bei beiden Tempolimiten sehr ungleichmässig sind. Stark erhöhte Werte treten auf ÜS am QS1 sowie beim Versuch mit Tempolimite 100 km/h am Ende der Zufahrt (QS5) und zwar auf beiden Fahrstreifen auf. Letzteres ist die Folge der Wechsel zwischen den Stauzuständen, die sich bis zu diesem Querschnitt ausgebreitet haben (siehe Abbildung 5-38) und der anschliessenden Verflüssigung des Verkehrs. Die Grösse der Standardabweichungen und ihre Variation entlang der Zufahrt wird zudem durch den von der A3-Rampe einfahrenden Verkehr sowie den hier stark erhöhten Schwerverkehrsanteil beeinflusst. Damit sind keine Folgerungen zu den Einwirkungen der Tempolimite möglich.

Für die Vergleiche mit anderen Untersuchungsstrecken (vgl. 7.3.1.4.) werden deshalb auch bei der Analyse der Geschwindigkeitsstreuung nur die Ergebnisse des Versuchs mit Tempolimite von 80 km/h verwendet.

7.3.1.4. Vergleiche zwischen den Untersuchungsstrecken

Bei dem nachfolgenden Vergleich der drei Untersuchungsstrecken (SG1, SG2 und AG1) wird versucht, die Wirksamkeit der Signalisierung von Tempolimiten in der Baustellenzufahrt abzuleiten. Dazu werden die folgenden Auswirkungen analysiert:

- Geschwindigkeitsabnahme zwischen Beginn und Ende der Zufahrt je Tempolimite
- Geschwindigkeitsabnahme zwischen Messquerschnitt vor und nach dem variablen Geschwindigkeitssignal je Tempolimite
- Veränderung der Geschwindigkeit infolge Tempolimite am ersten Messquerschnitt nach dem variablen Geschwindigkeitssignal.

Die Betrachtungen erfolgen für die V_m und für die $V_{85\%}$. Bei der Gruppe schnellfahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) werden auch aussagen zur Einhaltung der signalisierten Tempolimite gemacht. Bei den Vergleichen wird in Anlehnung an 7.3.1.3. der staubeeinträchtigte Versuch bei AG1 mit Tempolimite 100 km/h nicht einbezogen.

Analog wird die Geschwindigkeitsstreuung analysiert anhand von

- Veränderung der Standardabweichungen S zwischen Beginn und Ende der Zufahrt je Tempolimite
 - Veränderung der Standardabweichungen S zwischen Messquerschnitt vor und nach dem variablen Geschwindigkeitssignal je Tempolimite
 - Veränderung der Standardabweichungen S infolge Tempolimite in der ersten und zweiten Hälfte der Zufahrt.
- *Geschwindigkeitsabnahme in der Zufahrt*

Die Tabelle 7-8 zeigt die mittleren Geschwindigkeitsabnahmen zwischen Beginn und Ende der Zufahrt für die V_m . Zu beachten ist, dass die Ausgangsgeschwindigkeiten (im QS1) bei beiden Tempolimiten praktisch gleich gross sind. Die Abnahmen liegen auf NS zwischen ca. 14% bei Tempolimite 100 km/h (T 100) und 18% bei Tempolimite 80 km/h (T 80), auf ÜS zwischen ca. 19% (T 100) und 24% (T 80). Die

Geschwindigkeitsanpassung ist erwartungsgemäss auf ÜS (höhere Ausgangsgeschwindigkeiten als auf NS) und bei Tempolimiten 80 km/h grösser.

Unterdurchschnittliche Werte resultieren bei SG1, hier als Folge der 5%igen Steigung sowie bei AG1, wo nur der Versuch bei Tempolimiten 80 km/h einbezogen wurde. Anders als bei den übrigen Strecken war bei AG1 die zulässige Höchstgeschwindigkeit bereits vor der Zufahrt auf 100 km/h herabgesetzt.

ΔV_m Beginn / Ende Zufahrt		V_m im QS1	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100 (ohne AG1)	101.2	14.3	14.1
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	100.5	17.8	17.7
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100 (ohne AG1)	113.8	19.1	16.8
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	112.2	24.2	21.6

Tab. 7-8: Mittlere Abnahme der V_m zwischen Beginn und Ende der Zufahrt

Analog zeigt Tabelle 7-9 die mittleren Geschwindigkeitsabnahmen zwischen Beginn und Ende der Zufahrt für die $V_{85\%}$. Auch hier sind die Ausgangsgeschwindigkeiten (im QS1) ähnlich gross. Die Abnahmen liegen auf NS bei ca. 15% (T 100) bzw. bei 20% (T 80), auf ÜS bei ca. 20% (T 100) bzw. bei 25% (T 80). Die Tatsache, dass die Abnahmen der $V_{85\%}$ etwa gleich oder nur wenig grösser sind als jene der V_m deutet darauf hin, dass im Durchschnitt nur eine geringe Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung auf den Zufahrten stattfindet.

$\Delta V_{85\%}$ Beginn / Ende Zufahrt		$V_{85\%}$ im QS1	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100 (ohne AG1)	116.3	17.8	15.3
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	113.7	22.3	19.6
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100 (ohne AG1)	123.8	19.8	16.0
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	122.9	25.2	20.5

Tab. 7-9: Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ zwischen Beginn und Ende der Zufahrt

- *Geschwindigkeitsabnahme zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal*

Hier wird die unmittelbare Wirkung des Geschwindigkeitssignals auf den Geschwindigkeitsverlauf geprüft. Dazu werden die Geschwindigkeitsveränderungen zwischen den Querschnitten vor und nach der Anzeige der Tempolimiten verglichen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 7-10 (V_m) und 7-11 ($V_{85\%}$) zusammengestellt.

Bei dieser Auswertung wurde auch der Versuch bei AG1 mit Tempolimiten 100 km/h einbezogen, weil der Verkehrsablauf im Bereich des Geschwindigkeitssignals (ca. 630 m vor der Überleitung) nicht beeinträchtigt war. Hingegen hat sich gezeigt, dass auf der Strecke SG1 wesentlich kleinere Geschwindigkeitsdifferenzen als bei den übrigen Strecken auftreten, vor allem auf dem Normalstreifen. Dies ist die Folge der grossen Steigung von 5%. In den folgenden zwei Tabellen sind deshalb die Mittelwerte auf für die Auswertung ohne die Strecke SG1 angegeben. Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass sich dies vor allem auf dem NS deutlich auswirkt.

ΔV_m vor / nach Geschwindigkeitssignal		mit Strecke SG1		ohne Strecke SG1	
		ΔV (km/h)	ΔV (%)	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100	2.9	4.5	4.4	6.7
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	4.7	5.6	6.0	7.2
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100	4.5	5.8	5.6	7.2
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	7.8	8.6	8.3	9.2

Tab. 7-10: Mittlere Abnahme der V_m zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal

Auf dem Normalstreifen reduziert sich die V_m im Bereich des Geschwindigkeitssignals um ca. 7%, was einer Abnahme um ca. 4.5 km/h (T 100) bzw. um ca. 6 km/h (T 80) entspricht. Auf dem Überholstreifen sind die V_m - Abnahmen mit ca. 5.5 km/h (T 100) und ca. 8.5 km/h (T 80) grösser als auf dem Normalstreifen.

$\Delta V_{85\%}$ vor / nach Geschwindigkeitssignal		mit Strecke SG1		ohne Strecke SG1	
		ΔV (km/h)	ΔV (%)	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100	3.2	3.2	4.3	4.2
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	5.9	5.9	6.7	6.7
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100	5.4	4.6	6.4	6.0
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	7.0	7.1	8.6	8.0

Tab. 7-11: Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal

Wie aus Tabelle 7-11 ersichtlich, liegen die absoluten $V_{85\%}$ -Abnahmen in der gleichen Grössenordnung wie jene der V_m . Dies deutet darauf hin, dass im Bereich des Geschwindigkeitssignals im Durchschnitt keine wesentliche Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung auftritt.

- *Veränderung der Geschwindigkeit infolge Tempolimite*

Die unmittelbare Wirkung der Tempolimite wird am ersten Messquerschnitt nach dem Geschwindigkeitssignal betrachtet. Es handelt sich bei allen Strecken um den Querschnitt 4. Aus 7.3.1.1. bis 7.3.1.3. ist ersichtlich, dass an diesem Querschnitt bei allen Versuchsvergleichen signifikante Veränderungen infolge Tempolimite auftraten. Von Bedeutung ist auch, dass nach dem Querschnitt 4 (QS5 und folgende) bei keinem der hier einbezogenen Versuche die Geschwindigkeit gegenüber jener am QS4 wieder zugenommen hat. Insofern hat sich die in der Norm [33] empfohlene Anordnung von 350 m vor der Überleitung bewährt.

Beim folgenden Vergleich der Untersuchungsstrecken wird wiederum der staubeeinträchtigte Versuch bei AG1 mit Tempolimite 100 km/h nicht einbezogen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 7-12 (V_m) und 7-13 ($V_{85\%}$) zusammengestellt.

ΔV_m T 100 / T 80 nach Geschwindigkeitssignal (QS4)		V_m im QS4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100 (ohne AG1)	88.6		
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	84.3	4.4	4.9
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100 (ohne AG1)	95.5		
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	89.2	6.3	6.6

Tab. 7-12: Mittlere Abnahme der V_m infolge Veränderung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Mittelwerte der V_m auf dem Überholstreifen (ÜS) um ca. 7.0 km/h (bei T80) bzw. 5.0 km/h (bei T100) höher sind als auf dem Normalstreifen (NS). Dabei sind die Abweichungen der V_m auf den einzelnen Untersuchungsstrecken von den Durchschnittswerten in Tabelle 7-12 nur klein (bis ca. 1.0 km/h auf NS und bis ca. 2.5 km/h auf ÜS, jeweils auf der Strecke AG1).

Die Anzeige der Höchstgeschwindigkeit 80 km/h statt 100 km/h bewirkt eine mittlere Abnahme²⁹ der V_m um ca. 4.5 km/h auf NS und um ca. 6.5 km/h auf ÜS (um ca. 5.0 bzw. 6.5%). Dies entspricht lediglich ca. 22 bis 32% der signalisierten Tempolimite-Differenz von 20 km/h. Die mittleren Werte der $V_{85\%}$ (Tabelle 7-13) verändern sich durch die Änderung der Tempolimite auf NS und um ca. 5.5 km/h, auf ÜS nur um ca. 3.5 km/h (um ca. 5.5 bzw. 3.5%). Von einer stärkeren Tempoanpassung als im Durchschnitt kann also bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge nicht gesprochen werden.

$\Delta V_{85\%}$ T 100 / T 80 nach Geschwindigkeitssignal (QS4)		$V_{85\%}$ im QS4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100 (ohne AG1)	99.8		
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	94.5	5.3	5.3
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100 (ohne AG1)	104.6		
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	101.1	3.5	3.4

Tab. 7-13: Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ infolge Veränderung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h

- *Veränderung der Standardabweichungen*

Aus dem Vergleich der Veränderungen von V_m und $V_{85\%}$ geht bereits hervor, dass die Veränderung der Tempolimite keine bedeutende Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsverteilung haben kann. Die Auswertung am ersten Messquerschnitt nach dem Geschwindigkeitssignal (QS4) ergab, dass sich die Standardabweichung S infolge Veränderung von Tempolimite 100 zu 80 km/h auf dem NS lediglich um 1.0 km/h verringert, während sie sich auf ÜS um 0.9 km/h vergrössert. Dieser Vergleich ist jedoch nicht zulässig, weil die ΔS am QS4 bei mehreren Gegenüberstellungen nicht signifikant sind (vgl. 7.3.1.2. und 7.3.1.3.).

Erfahrungsgemäss nehmen die Standardabweichungen mit abnehmenden Geschwindigkeiten – wie dies in der Zufahrt zur Baustelle in der Regel der Fall ist – ab. In Tabelle 7-14 sind die Mittelwerte der Standardabweichungen S zu Beginn der Zufahrt (QS1) sowie deren Veränderungen am Ende der Zufahrt (QS5 bzw. QS4) zusammengestellt. Die S -Mittelwerte sind unabhängig von der Tempolimite auf dem NS ca. 1.5 km/h grösser als auf dem ÜS. Allerdings sind die Abweichungen von diesem Mittelwert auf den einzelnen Untersuchungsstrecken erheblich: Die S -Werte variieren zwischen ca. 10.0 km/h (bei SG2) und 17.5 km/h (AG1 und SG1).

²⁹ Da bei allen Versuchen zuerst bei Tempolimite 80 km/h (Referenzzustand) gemessen wurde, müsste eigentlich von einer Geschwindigkeitszunahme infolge Erhöhung der Tempolimite von 80 auf 100 km/h gesprochen werden.

Die Homogenisierung entlang der Zufahrt wird mit der Abnahme der Standardabweichung (ΔS) ausgedrückt. Erwartungsgemäss sind die Reduktionen ΔS bei Tempolimite 100 km/h mit ca. 2.2 bis 2.4 km/h etwas kleiner als bei Tempolimite 80 km/h mit ca. 3.6 bis 3.8 km/h. Zwischen der Art des Fahrstreifens besteht diesbezüglich kein Unterschied.

ΔS Beginn / Ende Zufahrt		S im QS1	ΔS (km/h)	ΔS (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100 (ohne AG1)	13.7	2.2	16.1
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	14.0	3.8	26.8
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100 (ohne AG1)	12.3	2.4	19.1
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	12.4	3.6	29.2

Tab. 7-14: Mittlere Abnahme der S zwischen Beginn und Ende der Zufahrt

Die lokale Auswirkung des Geschwindigkeitssignals auf die Geschwindigkeitsverteilung zeigt die Tabelle 7-15. Das Ergebnis ist uneinheitlich, die Veränderungen sind nur geringfügig. Die Zunahme von S nach dem Geschwindigkeitssignal bei Tempolimite 100 km/h (negativer Mittelwert) ergab sich bei drei der vier Gegenüberstellungen. Von einer homogenisierenden Wirkung des Geschwindigkeitssignals kann nicht ausgegangen werden.

ΔS vor / nach Geschwindigkeitssignal		ΔS (km/h)	ΔS (%)
Normalstreifen (NS)	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 100	-0.9	-8.2
	Mittelwert Zufahrten auf NS, T 80	0.1	0.0
Überholstreifen (ÜS)	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T100	1.4	12.4
	Mittelwert Zufahrten auf ÜS, T 80	0.3	2.2

Tab. 7-15: Mittlere Abnahme der S zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal

7.3.1.5. Vergleiche mit ausländischen Ergebnissen

Die in vorliegender Arbeit gewonnenen Ergebnisse sind nur bedingt mit denen aus ausländischen Untersuchungen vergleichbar. Dort, wo Vergleiche möglich sind, wird dies im nachfolgenden Text mit *Kursivschrift* vermerkt. In den meisten Fällen ist die Vergleichbarkeit auf ein abweichendes Geschwindigkeitsregime zurückzuführen. In den Untersuchungen aus Deutschland³⁰ lag im Vorfeld der Baustelle keine Geschwindigkeitsbegrenzung vor. Die Ausgangsgeschwindigkeit, mit welcher die Fahrzeuge in den Untersuchungsraum einfahren, ist dementsprechend deutlich höher. Des Weiteren war im Überleitungsbereich zumeist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h signalisiert.

In [14 (1988)] wurden Geschwindigkeiten in sieben Baustellen anhand von Fahrten im realen Verkehrsablauf mit 22 Testfahrern erhoben. Die Ergebnisse sind, aufgrund der durch Ausführung nach den geltenden Richtlinien [26] bedingten Unterschiede (keine Geschwindigkeitsbeschränkung im Vorfeld; erste Baustellenanzeige bereits 2 km vor und Tempolimite 60 km/h in der Überleitung) nur im mittleren Teil der Zufahrt zur Baustelle vergleichbar. Effektiv eignet sich nur eine Baustelle mit der Betriebsform 4+0 zum Vergleich. An vergleichbarer Stelle zu den in der vorliegenden Untersuchung betrachteten Untersuchungsstrecken (ca. 700 m vor Beginn der Überleitung) wird Tempolimite 100 km/h und ca. 500 m vor der Überleitung eine solche von 80 km/h signalisiert. Abweichend von den in der vorliegenden Untersuchung einbezogenen Strecken wird an der Baustelle in [13], 100 m vor der Überleitung, eine weitere Reduktion der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h angezeigt.

Die Annäherung an die Zufahrt (>900 m vor Überleitung) erfolgte bei den 22 Testfahrten im Mittel mit einer Geschwindigkeit zwischen ca. 115 und 120 km/h. Bereits ab 100 m vor der Signalisierung von Tempolimite 100 km/h (700 m vor der Überleitung) wird im Durchschnitt mit ca. 0.29 m/s² verzögert. So tritt beim Signal 100 km/h eine mittlere Geschwindigkeit von 111 km/h auf. *Bei den Versuchen mit Tempolimite 100 km/h an den Strecken SG1, SG2 und AG1 lagen die V_m zwischen ca. 90 und 104 km/h auf NS und zwischen ca. 97 und 112 km/h auf ÜS (niedrigste Werte jeweils bei AG1, vgl. auch ANHANG 4).*

Die nächsten 200 m wird weiter mit 0.40 m/s² verzögert, so dass bei Tempolimite 80 km/h eine mittlere Geschwindigkeit von 102 km/h erreicht wird (*SG1, SG2 und AG1, Versuche mit Tempolimite 80 km/h: V_m zwischen ca. 87 und 97 km/h auf NS und zwischen ca. 95 und 107 km/h auf ÜS).*

Bedingt durch die darauf folgende zulässige Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h wird die mittlere Geschwindigkeit weiter reduziert. Am Ende der Zufahrt beträgt die mittlere Geschwindigkeit 84 km/h (*SG1, SG2 und AG1, Versuche mit Tempolimite 80 km/h: V_m zwischen ca. 77 und 86 km/h auf NS und zwischen ca. 85 und 90 km/h auf ÜS).*

³⁰ Diese Arbeiten stammen vorwiegend aus dem Ende 80er und dem Beginn 90er Jahre (vgl. Quellenverzeichnis).

Die Streuung der Geschwindigkeiten S lag für den gesamten Bereich der Zufahrt zwischen ca. 10 und 11 km/h (SG_1 , SG_2 und AG_1 , *Versuche mit Tempolimite 80 km/h: Die durchschnittliche S nahm zwischen Beginn und Ende Zufahrt von ca. 14 auf 11 km/h auf NS und von ca. 12 auf 10 km/h auf ÜS ab*). Der bei vorliegenden Versuchen festgestellte Rückgang der Varianz im Verlauf der Zufahrt wurde auf der Baustelle in [13] nicht festgestellt, die S -Werte waren dort nahezu konstant.

Zusammenfassend wird in [13] auf die deutliche Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Zulaufbereich, welche um so grösser ausfiel, je restriktiver die Limitierung angeordnet wurde, hingewiesen.

Vergleichbare Angaben finden sich in einer zweiten Untersuchung aus Deutschland [30 (1984)]. Die Angaben beziehen sich auf Querschnitte in den gleichen Abständen vor der Überleitung wie in [13] und enthalten auch Werte der $V_{85\%}$. Alle Werte beziehen sich auf die Gesamtfahrbahn. In Tabelle 7-16 sind zum Vergleich auch Durchschnittswerte aus den vergleichbaren Versuchen auf den Strecken SG_1 , SG_2 und AG_1 angegeben (ohne AG_1 liegen die unteren Geschwindigkeitswerte des Bereichs um ca. 8 bis 10 km/h höher). Die Werte bei 200 m vor Überleitung (in *Grauschrift*) sind wegen unterschiedlicher Tempolimite (60 km/h in [30] / 80 km/h bei unseren Versuchen) nur bedingt vergleichbar.

Die Tabelle 7-16 zeigt, dass die Geschwindigkeitswerte weitgehend vergleichbar gross sind. Die Standardabweichungen in der Zufahrt sind jedoch deutlich grösser als bei unseren Versuchen, nehmen jedoch in Richtung Baustelle leicht ab. Auffällig ist zudem der bei Erhebungen in [30] festgestellte, wesentlich kleinere Ausmass an Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit als jener in der oben diskutierten Untersuchung ([13]).

Abstände zur Überleitung (m)	Signal (km/h)	Werte aus [30]			Werte aus Versuchen		
		V_m (km/h)	$V_{85\%}$ (km/h)	S (km/h)	V_m (km/h)	$V_{85\%}$ (km/h)	Mittlere S (km/h)
ca. 700	100	100.5	117.5	16.7	NS: 90.0 – 104.0 ÜS: 97.0 - 112.0	NS: 99.0 – 116.0 ÜS: 108.0 - 123.0	NS: ca. 14 ÜS: ca. 12
ca. 500	80	95.0	111.8	15.7	NS: 87.0 – 97.0 ÜS: 95.0 - 107.0	NS: 97.0 – 109.0 ÜS: 104.0 - 116.0	-
ca. 200	60	79.3	93.8	14.0	NS: 80.0 – 85.0 ÜS: 87.0 - 93.0	NS: 90.0 – 95.0 ÜS: 94.0 - 104.0	NS: ca. 11 ÜS: ca. 10

Tab. 7-16: Vergleich der Werte V_m , $V_{85\%}$ und S aus einer Zufahrt in [30] und aus den vorliegenden Versuchen

Eine wesentliche Unterlage bildet die Untersuchung aus Deutschland zur lichttechnischen Gestaltung von Arbeitsstellen [1, (1994)]. In dieser wurde unter anderem die Wirkung eines beidseitig montierten Portals (vgl. hierzu 7.3.3.) untersucht. Hierzu wurden Geschwindigkeiten im Zufahrtsbereich von Baustellen bei Versuchsfahrten erhoben. Der Referenzfall ohne Portal entspricht, wie die oben angeführten Vergleichsstrecken der Ausführung nach Richtlinien [26] und ist somit abschnittsweise mit den vorliegenden Untersuchungen vergleichbar. Analog zu den Angaben in [30] (vgl. Tabelle 7-16 links), ergaben sich in [1] bei einer Baustelle mit Betriebsform 3+1 folgende V_m -Werte:

Bei Signal „100“ ca. 112 km/h, bei Signal „80“ ca. 107 km/h und Signal „60“ ca. 96 km/h.

Die Abnahme der V_m zwischen den zwei ersten Geschwindigkeitssignalen von 5 km/h entspricht jener aus [30], allerdings auf einem wesentlich höheren Geschwindigkeitsniveau. Die V_m -Werte aus [1] liegen mehr als 10 km/h über jenen aus den vorliegenden Versuchen. In [1] wird auch auf den Umstand der ausserordentlich schlechten Beachtung der in der Baustellenzufahrt angeordneten Geschwindigkeitsbeschränkungen hingewiesen. Dieses Verhalten führt zu einer ausgeprägten Verzögerungsspitze vor der Überleitung. Des Weiteren wird festgestellt, dass die Anpassung der Geschwindigkeit nicht kontinuierlich, sondern schubweise an mehreren Stellen oder direkt vor der Überleitung erfolgt.

7.3.1.6. Folgerungen zum Einfluss der Tempolimite

Die Analyse der Messergebnisse zu Einfluss der Tempolimite auf das Geschwindigkeitsverhalten im Zufahrtsbereich zu Autobahnbaustellen führt zu den nachfolgend zusammengestellten Folgerungen. Sie berücksichtigen die in 7.1 abgeleiteten Anforderungen an die Gestaltung im Zufahrtsbereich. Demnach sollten in Fahrtrichtung zur Baustelle

- die Geschwindigkeiten soweit abnehmen, dass am Ende der Zufahrt ein an die Befahrbarkeit der Überleitung angemessenes Niveau erreicht wird,
- die Geschwindigkeitsanpassung soll gemächlich und nicht abrupt verlaufen,
- mit der Geschwindigkeitsabnahme soll eine deutliche Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung einhergehen.

Geschwindigkeitsabnahme in der Zufahrt

Die mittleren Geschwindigkeiten V_m auf den durchschnittlich ca. 750 m langen und mit Geschwindigkeitsbeschränkung signalisierten Zufahrten nehmen in Richtung zur Baustelle je nach Tempolimite (T100 / T80) ab

- auf Normalstreifen von ca. 101 km/h um ca. 14 (T100) bzw. um ca. 18 km/h (T80)
- auf Überholstreifen von ca. 113 km/h um ca. 19 (T100) bzw. um ca. 24 km/h (T80).

Die relativen Abnahmen bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) sind nur geringfügig grösser als jene der V_m , wobei die Ausgangswerte zu Beginn der Zufahrt ca. 10 bis 14 km/h höher liegen.

Dies bedeutet, dass am Ende der Zufahrt die signalisierte Höchstgeschwindigkeit bei T80 von mehr als der Hälfte aller Fahrzeuglenker nicht eingehalten wird, während dies bei T100 nur bei ca. 15% der Fall ist.

Bei den hier einbezogenen Versuchen wurden bei den Auswertegrössen V_m und $V_{85\%}$ keine abrupten Geschwindigkeitsanpassungen festgestellt, bei Einzelfahrten sind sie dennoch – wie Beobachtungen vor Ort zeigten – gelegentlich aufgetreten; wobei diese meistens im Zusammenhang mit Fahrstreifenwechsel standen.

Die in deutschen Untersuchungen ermittelte Ausgangsgeschwindigkeiten vor der Zufahrt liegen mangels Tempolimite auf Autobahnen wesentlich höher als in der Schweiz. Auf der Zufahrt selbst sind die Werte aus Messungen im realen Verkehrsablauf ([30]) vergleichbar gross wie jene aus den vorliegenden Versuchen; Messungen, die nur auf Versuchsfahrten basieren ([13], [1]) lieferten um ca. 10 km/h höhere Werte (Vergleiche bei Signalen mit 100 und 80 km/h). Die in den zwei Unterlagen abgebildeten Abläufe der Versuchsfahrten weisen auch abrupte Geschwindigkeitsänderungen auf.

Geschwindigkeitsanpassung im Bereich des Signals

Die Veränderungen im Bereich des Geschwindigkeitssignals liegen auf Strecken ohne grosse Längsneigungen bei der V_m im Mittel bei ca. 5 (T100) bzw. 7 km/h (T80), jene der $V_{85\%}$ sind praktisch gleich gross.

Unabhängig von der Höhe der Tempolimite erfolgt rund ein Drittel der gesamten Geschwindigkeitsanpassung in der Baustellenzufahrt im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung.

Diese Wirkung wurde in den beigezogenen ausländischen Untersuchungen nicht direkt ermittelt. Die oben erwähnte V_m -Abnahme um 5 bzw. 7 km/h ist jedoch ähnlich gross wie die in [30], [13] und [1] angegebene Veränderung der V_m zwischen den 200 m hintereinander stehenden Signalen mit 100 und 80 km/h.

Relative Veränderungen der Geschwindigkeiten infolge Tempolimite

Die Veränderungen am ersten Messquerschnitt nach dem Geschwindigkeitssignal, an welchem die unmittelbare Wirkung der Tempolimite beurteilt werden kann, erwiesen sich als statistisch signifikant. Die Herab- oder Heraufsetzung der Tempolimite bewirkt eine mittlere Veränderung der V_m um ca. 4.5 km/h (- ca. 5.0%) auf NS und um ca. 6.5 km/h auf ÜS (- ca. 6.5%). Bei den mittleren Werten der $V_{85\%}$ sind die Veränderungen von ca. 5.5 bzw. 3.5% nicht grösser als beim Durchschnitt aller Fahrzeuglenker. Bei Versuchen zur Herabsetzung der generellen Tempolimite auf Strassen ausserorts wurden auf freien Strecken deutlich grössere Abnahmen der Fahrgeschwindigkeiten festgestellt.

Von Bedeutung ist auch, dass nach dem Geschwindigkeitssignal (350 m vor der Überleitung) die Geschwindigkeiten in Richtung Baustelle nicht wieder ansteigen. Die in deutschen Richtlinien [26] enthaltene Anordnung eines weiteren Geschwindigkeitssignals im Abstand von 200 m vor der Überleitung hängt mit der weiteren Geschwindigkeitsherabsetzung (auf 60 km/h) zusammen³¹.

³¹ In der Ausgabe der erwähnten Richtlinien aus dem Jahr 1995 [26] ist die Herabsignalisierung von 80 km/h auf 60 km/h in den Regelplänen nicht mehr enthalten. Der Signal „80 km/h“ wird vor der Überleitung wiederholt und zwar in einem Abstand von 100 statt 200 m vor der Überleitung.

Die erwähnten Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten liegen in keinem Verhältnis zur Differenz der signalisierten Tempolimiten von 20 km/h. Eine überproportionale Beeinflussung der schnell fahrenden Fahrzeuge kann nicht erwartet werden. Bei Anordnung der Tempolimite 80 km/h im Baustellenbereich ist diese beschränkte Wirkung zu berücksichtigen. Umgekehrt hat die Anordnung der Tempolimite 100 km/h keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigung im Geschwindigkeitsverhalten bewirkt.

Die in der bestehenden Norm [33] empfohlene Anordnung des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung in einem Abstand von 350 m erweist sich als geeignet.

Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung

Die direkten Auswirkungen infolge der Veränderung der Tempolimite auf die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung sind nur geringfügig und erwiesen sich als statistisch nicht signifikant. Die Standardabweichungen als Mass der Geschwindigkeitsstreuung nehmen unabhängig von der Tempolimite in Richtung zur Baustelle ab. Diese Abnahme ist weitgehend die Folge der kleiner werdenden Geschwindigkeiten. Die Unterschiede zwischen den beiden Tempolimiten sind sowohl bei der Betrachtung zwischen Beginn und Ende der Zufahrt als auch jener vor und nach dem Geschwindigkeitssignal nur geringfügig und uneinheitlich.

Mit unterschiedlicher Geschwindigkeitssignalisation in der Baustellenzufahrt lässt sich die Streuung der gefahrenen Geschwindigkeiten nicht wesentlich beeinflussen. Eine örtlich homogenisierende Wirkung des Geschwindigkeitssignals konnte bei den Versuchen nicht festgestellt werden.

7.3.2. Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung

Der Einfluss einer Geschwindigkeitsüberwachung kann anhand der Ergebnisse der Untersuchungsstrecke SG1 analysiert werden. Hier wurden bei Tempolimiten 80 und 100 km/h Versuche mit und ohne eine Geschwindigkeitsüberwachung mittels einer Radarkabine durchgeführt. Die Radarkabine wurde gut sichtbar in Höhe des Messquerschnitts QS5, ca. 230 m nach dem Geschwindigkeitssignal aufgestellt. Bereits 517 m zuvor, im Querschnitt QS2, wurde die Geschwindigkeitsüberwachung angekündigt. Diese Ankündigung sollte das Fahrverhalten im darauf folgenden Querschnitt QS3 beeinflussen.

7.3.2.1. Einfluss auf die Geschwindigkeitsgrößen

Im Folgenden erfolgt die Analyse des Einflusses auf die mittlere Geschwindigkeit, die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) sowie auf die Geschwindigkeitsstreuung unter Berücksichtigung der statistischen Signifikanz (vgl. 7.2.2.) für den Zufahrtsbereich.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Ausgehend von einer 1%igen Irrtumswahrscheinlichkeit treten *auf dem Normalfahrstreifen* signifikante Änderungen der mittleren Geschwindigkeit vor allem in den Querschnitten QS3 bis QS5, also in der zweiten Zufahrtshälfte auf (vgl. Tab. 7-17). Dies gilt sowohl für den Zustand mit Tempolimite 80 km/h, als auch für jenen mit Tempolimite 100 km/h. Bei Tempolimite 100 km/h kann darüber hinaus eine signifikante Geschwindigkeitsdifferenz in den Messquerschnitten QS1 und QS2 festgestellt werden. Während bei allen anderen genannten Differenzen infolge der Geschwindigkeitsüberwachung signifikant niedrigere Geschwindigkeiten auftreten, beruht der Unterschied in QS1 auf einer höheren Geschwindigkeit für den Versuch mit Radarkontrolle (vgl. Tabellen 5-8 und 5-9). Da jedoch am QS1 die Radar-Ankündigung nicht einsehbar ist, kann hier eine Einwirkung ausgeschlossen werden.

Ein ähnliches Bild ergibt sich *für den Überholfahrstreifen*. Auch hier treten zum Ende der Zufahrt signifikant niedrigere Geschwindigkeiten beim Einsatz der Radarkabine auf (vgl. Tab. 7-17). Eine signifikante Veränderung in entgegengesetzte Richtung tritt wiederum in QS1 auf diesmal jedoch bei Tempolimite 80 km/h, die bei einer zweifaktoriellen Betrachtung wiederum nicht bestätigt wird.

Die Tabelle 7-17 gibt die Querschnitte an, welche bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% signifikant sind. Die Querschnitte welche durch die Ankündigung (QS3) und die Radarkabine (QS5) direkt beeinflusst werden sind grau hinterlegt.

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	-	-	3	4	5

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	1	-	3	4	5

(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	1	2	3	4	5

(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	-	2	3	4	5

Tab. 7-17: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)

Auf beiden Fahrstreifen können unabhängig von der Tempolimite signifikante Verringerungen der V_m bedingt durch die Ankündigung der Geschwindigkeitsüberwachung, insbesondere jedoch durch die sichtbare Radarkabine (am QS5) beobachtet werden. Wie aus Tabellen 5-8 und 5-9 ersichtlich, ergab sich hier eine deutliche Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit

- bei Tempolimite 80 km/h auf NS: um 4.9 km/h (6.3%); auf ÜS: 7.5 km/h (8.9%)
- bei Tempolimite 100 km/h auf NS: um 4.3 km/h (5.2%); auf ÜS: 5.8 km/h (6.2%).

Eine zweifaktorielle Betrachtung der Ergebnisse für beide Tempolimiten bestätigt die gewonnenen Ergebnisse. Die mittlere Geschwindigkeit wird auf beiden Fahrstreifen, unabhängig von der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, bedingt durch die Geschwindigkeitsüberwachung signifikant reduziert. Die zweifaktorielle Betrachtung der Ergebnisse hat drüber hinaus gezeigt, dass es keine systematische Abhängigkeit zwischen den eingesetzten Tempolimiten und der durchgeführten Geschwindigkeitsüberwachung gibt.

Entsprechend den obigen Ergebnissen und der Tatsache, dass sie Ausgangsgeschwindigkeiten am QS1 bei beiden Anordnungen ähnlich hoch sind, wird die Geschwindigkeit auf den ersten ca. 400m der Zufahrt im Zustand mit Radarüberwachung deutlich stärker angepasst als in jenem ohne Radarüberwachung. Dies ist auch aus dem Vergleich der Abbildungen 5-5 und 5-6 ersichtlich. Im *Geschwindigkeitsverlauf* bewirkt die Radarüberwachung eine ausgeprägtere Verlangsamung, mit dem Effekt einer besseren Einhaltung der angezeigten Tempolimite.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Für den Einfluss auf die Geschwindigkeit schnell fahrender Fahrzeuge ergibt sich ein ähnliches Bild wie für die mittlere Geschwindigkeit. Hier treten bereits im Messquerschnitt QS2 signifikant niedrigere Geschwindigkeiten bei der Ankündigung einer Radarkontrolle auf (vgl. Tab. 7-2). Die wurde bereits in der Auswertung in 5.1.1.2. als auffällig beschrieben (vgl. Tab. 5-11). Im weiteren Verlauf nehmen diese Differenzen jedoch noch deutlich zu, so dass die deutlichsten Unterschiede auf dem Normalfahrstreifen bereits im Querschnitt QS3 und auf dem Überholfahrstreifen im Querschnitt QS4 auftreten. Analog zu den mittleren Geschwindigkeit werden die signifikanten Abweichungen, welche im Messquerschnitt QS1 angegeben sind, nicht auf die Einwirkung der Radarüberwachung zurückgeführt.

Analog zu Tabelle 7-17 sind in Tabelle 7-18 die signifikanten Querschnitte angegeben. Die durch die Ankündigung (QS3) und die Radarkabine (QS5) beeinflussten Querschnitte sind grau hinterlegt.

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	-	2	3	4	5

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	1	2	3	4	5

(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	1	2	3	4	5

(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	-	2	3	4	5

Tab. 7-18: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der $V_{85\%}$ infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)

Erwartungsgemäss sind die Geschwindigkeitsreduktionen $\Delta V_{85\%}$ wesentlich grösser als ΔV_m . Sie liegen an den massgebenden Querschnitten QS4 und QS5 bei Tempolimite 80 km/h zwischen ca. 6.5 und 9.5 km/h, bei Tempolimite 100 km/h zwischen ca. 5.0 und 7.5 km/h (vgl. Tabelle 5-11). Diese Differenzen sind vergleichbar mit jenen, die durch die Signalisation einer um 20 km/h niedrigerer Tempolimite bewirkt werden (bei Tempolimite 80 km/h zwischen ca. 4.5 und 9.5 km/h, bei Tempolimite 100 km/h zwischen ca. 6.5 und 14.5 km/h, vgl. Tabelle 5-10). Diese Feststellung trifft auch für die mittlere Geschwindigkeiten zu. Wesentlich ist auch die Tatsache, dass die Radarüberwachung auch bei der Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge eine weitgehende Einhaltung der Tempolimite am Ende der Zufahrt bzw. vor der Überleitung bewirkt, dies im Gegenteil zum Zustand ohne Radarüberwachung.

Wie bei der Betrachtung des Einflusses auf die mittleren Geschwindigkeiten, kann somit auch für die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge eine günstige Wirkung der Radarüberwachung und deren Ankündigung auf den im Verlauf der Zufahrt gefahrenen Geschwindigkeiten festgestellt werden.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Die Signifikanz der Differenz der Standardabweichungen wird für jeden Querschnitt mit Hilfe des F-Tests (vgl. 7.2.2.) bestimmt. Die Tabelle 7-19 zeigt, dass die ΔS auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit vor allem auf dem Normalfahrstreifen signifikante Werte annehmen.

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.					(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	1	2	3	4	5	Überholstreifen ÜS	-	-	-	4	5
(Tempo 100)	Querschnitt Nr.					(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	-	2	3	4	5	Überholstreifen ÜS	-	-	-	-	-

Tab. 7-19: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)

Die Werte für den Normalfahrstreifen bestätigen die Ergebnisse aus den vorangegangenen Betrachtungen. Es findet im Verlauf der Zufahrt eine deutliche Homogenisierung durch den Einsatz einer Radarkabine mit Ankündigung statt. Dies stützt auch die in 5.1.1.1 enthaltene Feststellung der deutlichen Homogenisierung in den Querschnitten QS2 und QS3, sowie die starke Abnahme der Streuung zwischen den Querschnitten QS1 und QS2 bei Tempolimite 100 km/h. Die schnell fahrenden Fahrzeuge passen sich in ihrer Geschwindigkeit dem allgemeinen Mittel an. Dieser positive Effekt ist auch für den Überholfahrstreifen erkenntlich, hier kann jedoch erst am Ende der Zufahrt (Querschnitte QS4 und QS5) und nur bei Tempolimite 80 km/h von signifikanten Veränderungen die Rede sein. An allen anderen Querschnitten liegt die Veränderung unter der gewählten Signifikanzgrenze (vgl. Tab. 5-4 und 5-5).

Die nachfolgende Betrachtung der Ergebnisse soll zeigen, welchen Einfluss entlang der Strecke die Ankündigung der Geschwindigkeitsüberwachung und die Radarkabine selbst haben. Hierzu wird jeweils der direkte Einflussbereich der beiden Elemente betrachtet. Für die Ankündigung liegt dieser Bereich zwischen den Messquerschnitten QS1 und QS3 und für die Radarkabine zwischen QS3 und QS5. Zum Vergleich werden noch die Veränderungen für den gesamten Zufahrtbereich zwischen QS1 und QS5 angegeben.

- *Einfluss der Ankündigung*

In Tabelle 7-20 sind die Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit (V_m), sowie die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) dargestellt. Die Spalten $\Delta V_{m1/3}$ und $\Delta V_{85\%1/3}$ zeigen die jeweiligen Differenzen der entsprechenden Geschwindigkeiten zwischen den Messquerschnitten QS1 und QS3. Dieser Bereich wird direkt durch die Ankündigungstafel beeinflusst. In der oberen Hälfte der Tabelle befinden sich die Werte für Tempolimite 80 km/h jeweils unterteilt für die Messung ohne und mit Geschwindigkeitskontrolle auf Normal- und Überholfahrstreifen. Analog dazu werden in der unteren Hälfte die Ergebnisse für Tempolimite 100 km/h angeführt.

Veränderungen V_m [km/h]						Veränderungen $V_{85\%}$ [km/h]					
Tempo	FS	Radar	$\Delta V_{m1/3}$	$\Delta V_{m3/5}$	$\Delta V_{m1/5}$	Tempo	FS	Radar	$\Delta V_{85\%1/3}$	$\Delta V_{85\%3/5}$	$\Delta V_{85\%1/5}$
80	NS	ohne	11.8	5.4	17.2	80	NS	ohne	14.4	9.7	24.1
		mit	17.2	6.6	23.8			mit	22.4	9.1	31.5
	ÜS	ohne	10.7	12.5	23.2		ÜS	ohne	13.8	12.9	26.7
		mit	22.1	11.8	33.9			mit	23.9	14.4	38.3
100	NS	ohne	8.1	3.7	11.8	100	NS	ohne	10.2	4.9	15.1
		mit	13.5	4.4	17.9			mit	17.1	4.3	21.4
	ÜS	ohne	11.4	4.2	15.6		ÜS	ohne	14.3	4.8	19.1
		mit	17.5	5.0	22.5			mit	23.9	4.9	28.8

Tab. 7-20: Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit V_m (links) und der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ (rechts) im Einflussbereich von Ankündigung und Radarkabine

Im Einflussbereich der Ankündigung (QS1/QS3) ist die Reduktion der mittleren Geschwindigkeit ΔV_m deutlich zu erkennen. Unabhängig von Fahrstreifen und Tempolimite kann sowohl mit, als auch ohne Geschwindigkeitsüberwachung eine deutliche Verzögerung festgestellt werden. Für die Versuch mit Radarkontrolle fällt diese Verzögerung jedoch bis zu doppelt so stark aus (auf dem Überholfahrstreifen bei Tempolimite 80 km/h). Die Differenzen für die anderen Varianten fallen nur unwesentlich geringer aus. Ein gleichartiges Verhältnis kann für die Geschwindigkeiten der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) festgestellt werden. Auch hier findet eine überaus deutliche Verzögerung zwischen den Messquerschnitten QS1 und QS3 statt.

Analog zur Darstellung der Veränderungen der Geschwindigkeiten werden in Tabelle 7-21 die Veränderungen der Standardabweichung ΔS für die einzelnen Einflussbereiche dargestellt.

Veränderungen S [km/h]					
Tempo	FS	Radar	$\Delta S_{1/3}$	$\Delta S_{3/5}$	$\Delta S_{1/5}$
80	NS	ohne	3.9	1.3	5.2
		mit	5.5	0.8	6.3
	ÜS	ohne	2.7	0.8	3.5
		mit	1.3	2.3	3.6
100	NS	ohne	3.5	-0.3	3.2
		mit	5.4	0.2	5.6
	ÜS	ohne	1.4	1.0	2.4
		mit	2.2	-0.1	2.1

Tab. 7-21: Veränderungen der Standardabweichung im Einflussbereich von Ankündigung und Radarkabine

Im direkten Einflussbereich der Ankündigungstafel trat für alle Versuche eine Abnahme der Standardabweichung auf. Mit Ausnahme des Überholstreifens beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h war die Homogenisierung im Zustand mit Ankündigung der Radarüberwachung grösser als im Zustand ohne Ankündigung (vgl. Tabelle 7-21).

- *Einfluss der Radarkabine*

Der direkt Einflussbereich der Radarkabine beschränkt sich auf die Querschnitte QS₃ bis QS₅. Diese sind in Tabelle 7-20 in den mittleren Spalten $\Delta V_{m3/5}$ und $\Delta V_{85\%3/5}$ aufgeführt. Auch in diesem Bereich tritt eine deutliche Verminderung der mittleren Geschwindigkeit auf. Sie ist auf dem ÜS ausgeprägter als auf dem NS, vor allem beim Versuch mit Tempolimite 80 km/h. Diesmal kann jedoch kein wesentlicher Unterschied zwischen den Versuchen mit und ohne Radar beobachtet werden. Zwar treten deutlich niedrigere Geschwindigkeiten bei der Variante mit Geschwindigkeitsüberwachung auf (vgl. Tab. 5-8, 5-9), doch erfolgt die starke Verzögerung bereits in den zuvor liegenden Querschnitten. Im Bereich der Querschnitte QS₃ bis QS₅ erfolgt erwartungsgemäss eine deutliche Verzögerung für die Versuchsanordnung mit Tempolimite 80 km/h. Diese Verzögerung geschieht unabhängig von der Überwachung und ist auf die Signalisation der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h, 100 m nach QS₃, zurückzuführen. Parallel zur mittleren Geschwindigkeit nimmt auch die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ in diesem Bereich unverkennbar ab. Die Verzögerung erfolgt gleichartig zur jener der mittleren Geschwindigkeit. Lediglich in der Grösse der Differenzen weicht sie geringfügig nach oben ab.

Wie schon zuvor für den Einflussbereich kann bei der Veränderung der Standardabweichung ΔS im Bereich der Radarkabine keine systematische Veränderung festgestellt werden. Tendenziell kann jedoch auch hier eine weitere, wenn auch geringfügige Homogenisierung festgestellt werden (vgl. Tab 7-21).

Vergleicht man den Einfluss der Ankündigung und der Radarkabine, so fällt deutlich auf, dass die Radarkabine selbst einen wesentlich geringeren Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten hat. Die Geschwindigkeitsabnahme im Bereich der Querschnitte QS₁ bis QS₃ (Ankündigung) ist in den meisten Fällen doppelt so gross, wie jene im vergleichbar langen Abschnitt von QS₃ bis QS₅ (Radarkabine). Die deutlichen Ausnahmen für die Versuche mit Tempolimite 80 km/h sind auf die Position der Signalisierung (Signal „80“) ca. 230 m vor der Radarkabine zurückzuführen. Diese Erkenntnis über das Geschwindigkeitsverhalten gilt sowohl für die mittlere Geschwindigkeit, als auch für die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge.

Bezüglich der Standardabweichungen kann kein systematischer Einfluss der Überwachung festgestellt werden. Sowohl mit, als auch ohne Radar findet im Verlauf der Zufahrt eine deutliche Homogenisierung der Geschwindigkeiten auf dem Normal- und Überholfahrstreifen statt. Auch sie wird durch die Ankündigung stärker beeinflusst als durch die Radarkabine selbst.

Zusammenfassend ist ersichtlich, dass nicht die gut sichtbar aufgestellte Radarkabine, sondern die Ankündigung einer Geschwindigkeitsüberwachung die gefahrenen Geschwindigkeiten eindeutig senkt. Diese Reduktion der Geschwindigkeiten wird durch die Radarkabine unterstützt und sorgt somit für signifikant niedrigere Geschwindigkeiten im Bereich der Überleitung. Der Gesamteinfluss der Geschwindigkeitsüberwachung vor der Überleitung ist aus dem Vergleich zwischen den Querschnitten QS₁ und QS₅ (jeweils rechte Spalte in den Tabellen) ersichtlich. Es zeigt sich, dass die Überwachung sowohl für V_m als auch für $V_{85\%}$ deutlich grössere Geschwindigkeitsabnahmen bewirkt als im Zustand ohne Überwachung: Die ΔV_m liegen im Zustand mit Tempolimite 80 km/h bei ca. 38 bis 46% (bzgl. $\Delta V_{85\%}$ bei ca. 31 bis 43%) und im Zustand mit Tempolimite 100 km/h bei ca. 44 bis 52% (bzgl. $\Delta V_{85\%}$ bei ca. 42 bis 51%).

7.3.2.2. Vergleiche mit anderen Untersuchungen

Vergleichenbare Untersuchung zur Beurteilung der Wirkung von Geschwindigkeitsüberwachung im Baustellenbereich wurden Ende 90er Jahre durch die Kantonspolizei Zürich [23] auf der A1 im Bereich Umfahrung Winterthur durchgeführt (vgl. auch 6.1.1.). Dazu wurde u.a. eine Hinweistafel sowie eine gut sichtbare Radarkabinenattrappe³² installiert. Gemäss [23] traten vor der Installation deutliche Missachtungen der signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf. In der so genannten Wirkungsphase der verkehrspolizeilichen Massnahmen lagen die gemessenen Geschwindigkeiten tendenziell etwas tiefer. Gleichzeitig ergab sich während der Wirkungsphase eine deutliche Reduktion der Unfallhäufigkeit und Unfallschwere (vgl. Abbildung 6-5). Diese Verbesserung wird nicht direkt dem geringfügig niedrigeren Geschwindigkeitsniveau zugeschrieben. Die Gründe hierfür werden in der erhöhten Aufmerksamkeit der Fahrzeuglenker (u.a. um Missachtungen der Tempolimite zu vermeiden) vermutet. Insgesamt entsprechen die Ergebnisse aus der Untersuchung in [23] qualitativ den, an der Untersuchungsstrecke SG1 gewonnenen Erkenntnissen.

Eine weitere, von der Kantonspolizei Zürich im Jahr 2001 durchgeführte Untersuchung [37] umfasste eine Analyse bei Tempolimite 100 km/h. Auch hier werden durchaus positive Erfahrungen mit der im Kanton Zürich angewandten Methode der Geschwindigkeitsüberwachung erwähnt. Diese Methode beinhaltet die drei Schritte „Hinweisen“, „Warnen“ und „Büssen“ und wurde mittels der Elemente Hinweistafel, Geschwindigkeitswarnsignal und Radarkabine realisiert.

In einer Untersuchung für die Kantonspolizei Zürich [7 (1993)] wurden auf freien Strecken die Auswirkungen von Radarkabinen auf Verkehrs- und Unfallgeschehen untersucht. Ein Schwerpunkt dieser Untersuchung lag auf der räumlichen Ausdehnung des Wirkungsbereichs. Die Messstelle an einer Autobahn entsprach, bezüglich Lage der Geschwindigkeitssignalisierung, Standort und Sichtbarkeit der Radarkabine der Anordnung an der Untersuchungsstrecke SG1.

Die Überwachung wurde nicht vorher angekündigt. An der Messstelle konnte anhand der V_m und der $V_{85\%}$ eine Überreaktion auf die Radarkabine festgestellt werden: Die Geschwindigkeiten lagen deutlich unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ($V_{85\%}$ ca. 72 km/h Spitzenzeit bzw. ca. 79 km/h Zwischenzeit; V_m ca. 64 km/h Spitzenzeit bzw. ca. 76 km/h Zwischenzeit). Dieser positive Einfluss beschränkte sich jedoch auf den unmittelbaren Bereich vor und hinter der Radarkabine. Da die Überwachung im Vorfeld nicht angekündigt war, wurde erst wenige Meter vor der Kabine forschr verzögert. Bereits 150 m hinter der Radarkabine war die zulässige Geschwindigkeit wieder deutlich überschritten (um ca. 8 km/h in der Spitzenzeit und um ca. 15 km/h in der Zwischenzeit). Dieses Verhalten steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von SG1, wo nach der Radarkabine die Geschwindigkeiten gleich blieben oder weiter abnahmen. Allerdings folgte dort ca. 120 m hinter der Radarkabine die Überleitung, welche eine Anpassung der Geschwindigkeit erforderte. Wie bei SG1 trat bei der Messstelle in [7] ein deutlich homogenerer Verkehrsfluss auf, der sich jedoch nur auf den unmittelbaren Bereich der Kabine beschränkte.

7.3.2.3. Folgerungen zur Geschwindigkeitsüberwachung

Die vorangegangenen Betrachtungen zeigen, dass eine Geschwindigkeitsüberwachung überaus positive Veränderungen im Geschwindigkeitsverhalten bewirkt. Es tritt eine signifikante Verzögerung im Verlauf der Zufahrt ein. Unabhängig von Tempolimite und Fahrstreifen stellt sich besonders nach der Ankündigung der Radarüberwachung und vor der gut sichtbaren Radarkabine eine deutliche Verlangsamung ein. Zum Ende der Zufahrt wird die zulässige Geschwindigkeit auch von den schnell fahrenden Fahrzeugen ($V_{85\%}$) eingehalten. Es treten auch deutlich geringere Standardabweichungen auf, wodurch man auf eine wesentlich homogenere Geschwindigkeitsverteilung schliessen kann. Für den Normalfahrstreifen liegen die Differenzen der Varianzen grössten Teils deutlich im signifikanten Bereich.

Die Grösse der Geschwindigkeitsabnahmen in der Baustellenzufahrt infolge Radarüberwachung bei einer bestimmten Tempolimite ist mit jener vergleichbar, die mit einer Herabsetzung der Tempolimite um 20 km/h erreicht wird. Anders als bei der Geschwindigkeitssignalisation werden jedoch durch die Radarüberwachung

- das Tempolimite von 80 km/h am Ende der Zufahrt auch von den schnell fahrenden Fahrzeugen eingehalten und
- die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung deutlich verbessert.

Die obigen Aussagen beziehen sich auf eine permanente, gut sichtbare (und bei den Versuchen „unbesetzte“) Radarkabine.

³² Auch bei den Versuchen auf der Untersuchungsstrecke SG1 handelte es sich bei der aufgestellten Radarkabine um eine Attrappe.

Der positive Effekt der Radarüberwachung wird durch die Erkenntnisse der Kantonspolizei Zürich ([23], [37]) bestätigt. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten durchaus positive Erfahrungen mit verkehrspolizeilichen Massnahmen zur Geschwindigkeitsüberwachung gemacht werden. Sie haben sich auf die Verkehrssicherheit im Baustellenbereich günstig ausgewirkt.

Die Betrachtung des räumlichen Einflussbereichs der Radarkabine anhand von [7] hat gezeigt, dass sich die Auswirkungen auf den Bereich von ca. 200 m vor und hinter der Kabine beschränken. Um die positiven Effekte der Überwachung (Absenkung der Geschwindigkeit und Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung) für den Beginn der Überleitung zu erzielen, ist es somit wesentlich den Abstand von ca. 200 m zwischen Radarkabine und Beginn der Überleitung nicht zu überschreiten.

Der bei den Versuchen gewählte Abstand von 125 m vor der (sicherheitskritischen) Überleitung erwies sich als geeignet. Bei einem wesentlich grösseren Abstand könnte sich der auf offener Strecke festgestellte, negative Effekt auch vor Baustellen einstellen.

7.3.3. Einfluss weiterer Merkmale

Als weitere Merkmale sind im Bereich der Zufahrt noch die Auswirkungen der versuchsbedingten Veränderungen bezüglich Beleuchtungsverhältnisse (Tag /Nacht bei SG2) und des seitlichen Portals (bei ZG1) zu analysieren. Für die Veränderungen aus der Gegenüberstellung des Geschwindigkeitsverhaltens am Tag und bei Nacht ergaben sich aus den statistischen Tests (vgl. 7.2.2.) für die Messquerschnitten der Zufahrt (QS1 bis QS5) praktisch keine Signifikanzen. Aus diesem Grund werden die Beleuchtungsverhältnisse erst beim Verkehrsablauf im Ein- und Überleitungsbereich (in 7.4.) analysiert. Gegenstand dieses Abschnittes sind somit die Auswirkungen des seitlich angeordneten Portals. Bei diesem handelt es sich um seitlich an einem Querschnitt angeordnete, übergrosse Tafeln mit Baustellensignalen (Signal Nr. 1.14) auf gelben retroreflektierenden Hintergrund (vgl. Abb. 2-9), die auch als „gelb hinterlegte Signale“ bezeichnet werden.

Die portalartigen Tafeln waren bei zwei Versuchen³³ auf der Strecke ZG1 in einem Abstand von ca. 265 m vor der Überleitung aufgestellt. Knapp 100 m stromaufwärts stand jedoch das Geschwindigkeitssignal (permanent 80 km/h), mit dem die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h (ca. 935 vor Überleitung) herabgesetzt wurde. Bei der vorliegenden Strecke handelt es sich um eine übersichtliche Gerade, sodass die Signalisation von weitem einsehbar war. Die direkte Einwirkung ist somit aus dem Vergleich „mit / ohne Portal“ nicht ableitbar. Aus diesem Grund werden die Veränderungen in Längsrichtung in den Zuständen „ohne“ und „mit Portal“ getrennt ermittelt und anschliessend verglichen.

7.3.3.1. Einfluss des Portals auf die Geschwindigkeit

In einem ersten Teil wird die statistische Signifikanz der Veränderungen beim (direkten) Vergleich „ohne / mit Portal“ dargelegt. Dies ist für zwei Versuche (mit hohen Baken und mit Leitschiene) möglich. Im zweiten Schritt werden untersucht:

- Die Veränderungen der Geschwindigkeit V_m zwischen den Messquerschnitten QS3 und QS4, in deren Bereich sich sowohl das Geschwindigkeitssignal als auch das Portal befand
- Die Veränderungen der Geschwindigkeit V_m zwischen den Messquerschnitten QS2 und QS5, also das gesamte Ausmass der Geschwindigkeitsanpassung in der Zufahrt, bis unmittelbar vor der Überleitung. Dabei wird der Messquerschnitt QS1 ausgeblendet, weil in diesem die Geschwindigkeiten durch die vor dem Zufahrtsbeginn liegende Steigung beeinflusst waren.
- *Geschwindigkeitsveränderung zwischen den Zuständen ohne und mit Portal*
Die Veränderungen der V_m an den Messquerschnitten der Zufahrt (QS1 bis QS5) zwischen den Zuständen „ohne / mit Portal“ sind aus Tabelle 5-41 (Anordnung mit hohen Baken) bzw. 5-42 (Anordnung mit Leitschiene) ersichtlich. Die Art der Leiteinrichtung ist im vorliegenden Zusammenhang untergeordnet, sie wird erst in 7.4.2. berücksichtigt.

Die statistische Überprüfung (ANOVA- bzw. T-Test, vgl. 7.2.2.) ergab, dass auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit die Veränderungen an den folgenden Querschnitten signifikant sind:

³³ Ein Versuch erfolgte bei der Anordnung mit hohen Baken, der zweite bei der Anordnung mit Leitschiene (vgl. Tabelle 5-34). Die Auffälligkeit der Baken war – anders als bei den Strecken SG1 und SG2 – durch die blinkenden Aufsetzlichter erhöht, dafür fehlten hier am Anfang der Überleitung die blinkenden Abweispeile in erhöhter Lage.

(hohe Baken)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	(1)	2	3	4	-

(hohe Baken)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	(1)	-	3	-	-

(Leitschiene)	Querschnitt Nr.				
Normalstreifen NS	-	2	3	4	5

(Leitschiene)	Querschnitt Nr.				
Überholstreifen ÜS	-	2	3	4	5

Tab. 7-22: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m zwischen den Zuständen ohne und mit Portal, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten)

Aus Tabelle 7-22 ist ersichtlich, dass die V_m -Veränderungen bei Leitschiene auf beiden Fahrstreifen, bei hohen Leitbaken weitgehend nur auf dem Normalstreifen signifikant sind. Dies hat auch eine zweifaktorielle Berechnung (Art der Leiteinrichtung und ohne / mit Portal) bestätigt. Hingegen ergab sich zwischen Portal und Art der Leiteinrichtung keine signifikante Abhängigkeit. Wie aus den Tabellen 5-41 und 5-42 ersichtlich, haben sich die V_m -Werte bei Portalanordnung durchwegs reduziert. Die Abnahmen sind relativ klein (max. ca. 4 km/h); Differenzen von mehr als ca. 1.2 km/h (NS) bzw. mehr als ca. 2.0 km/h (ÜS) liegen im signifikanten Bereich.

In Tabelle 7-22 sind die Messquerschnitte QS3 und QS4, die sich im Bereich des Portals und des Geschwindigkeitssignals befinden grau hervorgehoben. Bei den weit entfernten Querschnitten QS1 und QS2 kann von einer Beeinflussung durch das Portal – auch bei statistisch signifikanten Veränderungen – nicht ausgegangen werden. Wie weit auf dem zweiten Teil dieser Untersuchungsstrecke im Durchschnitt (V_m) auf das Portal in signifikantem Ausmass reagiert wird, soll im folgenden Abschnitt untersucht werden.

- *Geschwindigkeitsveränderung im Bereich des Portals*

Gemäss Tabelle 7-22 sind die Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten an den Querschnitten QS3 und QS 4 weitgehend signifikant. In Tabelle 7-23 sind nun die V_m -Werte und ihre Differenzen für die Zustände ohne und mit Portal zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeiten zwischen den zwei Querschnitten in beiden Fällen (ohne und mit Portal) abnehmen. Im Falle ohne Portal handelt es sich um die Reaktion der Fahrzeuglenker auf das Signal mit herabgesetzter Tempolimit (80 statt 100 km/h). Die Unterschiede zwischen den zwei Zuständen sind klein und insofern widersprüchlich, als auf NS im Zustand mit Portal eine grössere und auf dem ÜS eine kleinere Geschwindigkeitsabnahme resultiert.

Der Beitrag des Portals zur Geschwindigkeitsanpassung lässt sich somit nicht ausweisen.

V_m [km/h] bei hohen Baken (ZG1 1a und 2a)					
Portal	QS	3	4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
ohne	NS	93.2	90.4	2.8	3.0
mit	NS	90.4	86.2	4.2	4.6
ohne	ÜS	106.5	99.2	7.3	6.9
mit	ÜS	103.0	97.4	5.6	5.4

V_m [km/h] bei Leitschiene (ZG1 1b und 2b)					
Portal	QS	3	4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
ohne	NS	93.9	90.4	3.5	3.7
mit	NS	92.2	89.0	3.2	3.5
ohne	ÜS	107.3	99.4	7.9	7.4
mit	ÜS	104.9	96.4	8.5	8.1

Tab. 7-23: Veränderung der mittleren Geschwindigkeit im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)

Analog sind in Tabelle 7-24 die Veränderungen der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten zusammengestellt. Die Aussagen zu den Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit treffen auch auf jene der $V_{85\%}$, also die Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge zu (nur kleine Unterschiede der ΔV und je nach Fahrstreifen mit Portal kleiner oder grösser).

$V_{85\%}$ [km/h] bei hohen Baken (ZG1 1a und 2a)					
Portal	QS	3	4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
ohne	NS	104.6	101.4	3.2	3.1
mit	NS	101.4	96.5	4.9	4.8
ohne	ÜS	117.5	111.0	6.5	5.5
mit	ÜS	114.2	109.4	4.8	4.2

$V_{85\%}$ [km/h] bei Leitschiene (ZG1 1b und 2b)					
Portal	QS	3	4	ΔV (km/h)	ΔV (%)
ohne	NS	106.2	101.4	4.8	4.5
mit	NS	103.0	98.1	4.9	4.8
ohne	ÜS	119.1	111.0	8.1	6.8
mit	ÜS	115.8	107.8	8.0	6.9

Tab. 7-24: Veränderung der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)

• *Geschwindigkeitsabnahme in der Zufahrt*

Die obige Aussage zur lokalen Wirkung des Portals wird auch durch die Betrachtung der Geschwindigkeitsanpassung über dem gesamten Zufahrtsbereich gestützt. In Tabelle 7-25 sind die Veränderungen der V_m und $V_{85\%}$ zwischen Beginn (QS2) und Ende (QS5), unmittelbar vor Beginn der Überleitung) der Zufahrt bei verschiedenen Versuchen zusammengestellt. Die Geschwindigkeiten nehmen auf diesem ca. 660 m langen Abschnitt um ca. 15 bis 25 km/h ab. Bei Versuchen *mit hohen Bakem* (jeweils links in der Tabelle) ist die Geschwindigkeitsabnahme im Zustand mit Portal kleiner (bzgl. $V_{85\%}$ sogar deutlich kleiner) als im Zustand ohne Portal. Bei der Anordnung *mit Leitschiene* sind die Geschwindigkeitsabnahmen im Zustand mit Portal gleich oder leicht grösser (mit Ausnahme der $V_{85\%}$ auf NS sind die Unterschiede kleiner als 1 km/h). Eine ausgeprägtere Geschwindigkeitsanpassung in der Zufahrt tritt also infolge des Portals nicht ein.

ΔV_m [km/h] Beginn / Ende Zufahrt (QS2 / QS5)						ΔV_{85} [km/h] Beginn / Ende Zufahrt (QS2 / QS5)					
Versuche:		mit hohen Bakem (ZG1 1a und 2a)		mit Leitschiene (ZG1 1b und 2b)		Versuche:		mit hohen Bakem (ZG1 1a und 2a)		mit Leitschiene (ZG1 1b und 2b)	
Portal	QS	ΔV (km/h)	ΔV (%)	ΔV (km/h)	ΔV (%)	Portal	QS	ΔV (km/h)	ΔV (%)	ΔV (km/h)	ΔV (%)
ohne	NS	16.7	17.1	14.5	14.8	ohne	NS	19.3	17.6	17.7	16.2
mit	NS	15.6	16.4	15.2	15.7	mit	NS	17.7	16.4	19.3	17.6
ohne	ÜS	19.9	17.8	16.4	14.9	ohne	ÜS	24.1	19.2	17.7	14.5
mit	ÜS	18.6	17.0	17.1	15.8	mit	ÜS	19.3	16.0	17.7	14.9

Tab. 7-25: Veränderung der Geschwindigkeit V_m und $V_{85\%}$ zwischen Beginn und Ende der Zufahrt bei Versuchen ohne und mit Portal

Die obigen Aussagen werden auch in der Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufs von V_m bestätigt. Aus Abbildung 7-2 ist ersichtlich, dass im Bereich zwischen ca. -700 m (QS2) und ca. -100 m (vor QS5) die Geschwindigkeitsverläufe bei der Anordnung mit Bakem in beiden Fällen praktisch deckungsgleich sind. Bei der Anordnung mit Leitschiene verlaufen die mittleren Geschwindigkeiten beim Versuch mit Portal leicht tiefer als beim Versuch ohne Portal, die Verläufe sind jedoch parallel.

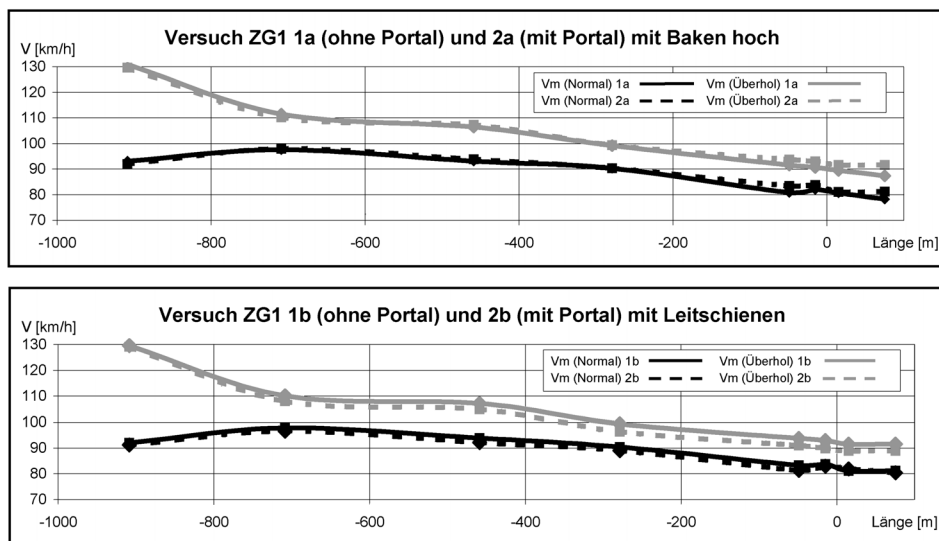


Abb. 7-2: Verlauf der V_m im Vergleich der Versuche ohne und mit Portal

7.3.3.2. *Einfluss des Portals auf die Geschwindigkeitsstreuung*

In diesem Abschnitt wird überprüft, ob die auffällige Portalanordnung einen Beitrag zur Homogenisierung der Geschwindigkeitsstreuung leistet. Dazu werden einerseits die lokalen Veränderungen der Standardabweichungen (ΔS zwischen QS3 und QS4) und andererseits jene zwischen Beginn und Ende der Zufahrt (ΔS zwischen QS2 und QS5) betrachtet. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass die querschnittswise Vergleiche der Zustände ohne / mit Portal aufgrund der durchgeführten F-Tests (vgl. 7.2.2.) praktisch keine signifikanten Unterschiede der Standardabweichungen ergaben.

In Tabelle 7-26 sind die Veränderungen im Bereich des Portals zusammengestellt. Auffallend sind die nur kleinen Unterschiede der ΔS zwischen den Zuständen ohne / mit Portal. Zudem variieren die ΔS -Werte je nach Fahrstreifen und Art der Leiteinrichtung. Eine homogenisierende Wirkung der Geschwindigkeits-

streuung ist weder im Zustand ohne Portal (bzw. nur Geschwindigkeitssignal) noch im Zustand mit Portal erkennbar.

ΔS [km/h] im Bereich des Portals (QS3 / QS4)							
Versuche:		mit hohen Baken (ZG1 1a und 2a)			mit Leitschiene (ZG1 1b und 2b)		
Portal	QS	3	4	ΔS (km/h)	3	4	ΔS (km/h)
ohne	NS	11.2	10.5	0.7	11.1	10.5	0.6
mit	NS	11.6	10.5	1.1	10.7	9.9	0.8
ohne	ÜS	10.7	12.3	-1.6	10.9	10.6	0.3
mit	ÜS	11.2	12.5	-1.3	10.3	11.3	-1.0

Tab. 7-26: Veränderung der Standardabweichungen S im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)

Analoge Situation ergibt sich bei der Betrachtung des gesamten Zufahrtsbereichs (Tabelle 7-27). Die Unterschiede zwischen den ΔS ohne und mit Portal sind hier erwartungsgemäss etwas grösser, aber wiederum uneinheitlich. Eine verstärkte Homogenisierung infolge Portalanordnung lässt sich nicht feststellen.

ΔS [km/h] Beginn / Ende Zufahrt (QS2 / QS5)							
Versuche:		mit hohen Baken (ZG1 1a und 2a)			mit Leitschiene (ZG1 1b und 2b)		
Portal	QS	3	4	ΔS (km/h)	3	4	ΔS (km/h)
ohne	NS	11.6	9.6	2.0	11.4	9.3	2.1
mit	NS	11.8	10.0	1.8	11.5	8.6	2.9
ohne	ÜS	12.7	11.7	1.0	12.8	10.0	2.8
mit	ÜS	11.2	12.0	-0.8	11.6	10.9	0.7

Tab. 7-27: Veränderung der Standardabweichungen S zwischen Beginn und Ende der Zufahrt bei Versuchen ohne und mit Portal

7.3.3.3. Vergleiche mit anderen Untersuchungen

Eine der ersten Anwendungen des Portals in Zufahrten zu Autobahnbaustellen erfolgte in Deutschland im Rahmen von Untersuchungen in [1, (1994)]. In dieser Arbeit wurden Erhebungen bei verschiedenen Versuchsanordnungen an Baustellen mit Betriebsform 3+1 durchgeführt. Dabei hat man auf dem Überholstreifen einerseits lokale Messungen im Bereich des Portals vorgenommen (in [1] wird der Portal als „Tor“ bezeichnet). Der Messquerschnitt befand sich unmittelbar vor der Überleitung (entsprechend QS5 bei Versuchen auf der Strecke ZG1). Zudem wurden Fahrversuche mit 4 Testpersonen durchgeführt.

Verglichen werden in die Versuche ohne Portal (die klassische Anordnung gemäss Richtlinien) und mit zusätzlich aufgestelltem Portal. Aus dem Vergleich der lokalen mittleren Geschwindigkeiten, die jeweils während mehreren Tagen aufgezeichnet wurden, ergab sich eine erhebliche Reduktion von etwa 10 km/h durch die Anordnung des Portals, und zwar unabhängig von der Tageszeit. Bei den Testfahrten änderte sich das Verhalten ebenfalls deutlich. Während bei der konventionellen Anordnung ohne Portal die Fahrer mit annähernd konstanter Geschwindigkeit zugefahren und erst 200m vor der Überleitung abgebremst haben, begannen sie mit der Geschwindigkeitsanpassung bei der Anordnung mit Portal bereits 500 m früher, was zu einem ruhigeren Verkehrsablauf im Zulaufbereich führte. Aus dem Vergleich ergab sich für die Testfahrten auf der Höhe des Portals eine mittlere Geschwindigkeit von 85 km/h, im gleichen Querschnitt aber ohne Portal eine solche von 96 km/h. Diese deutliche Veränderung wurde bei Versuchen an mehreren Baustellen bestätigt. Auch die Geschwindigkeitsvergleiche aus Tageszeiten während der Dunkelheit haben eine homogenisierende Wirkung des Portals tendenziell bestätigt. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Veränderung der Geschwindigkeitsverteilung an zwei Baustellenzufahrten.

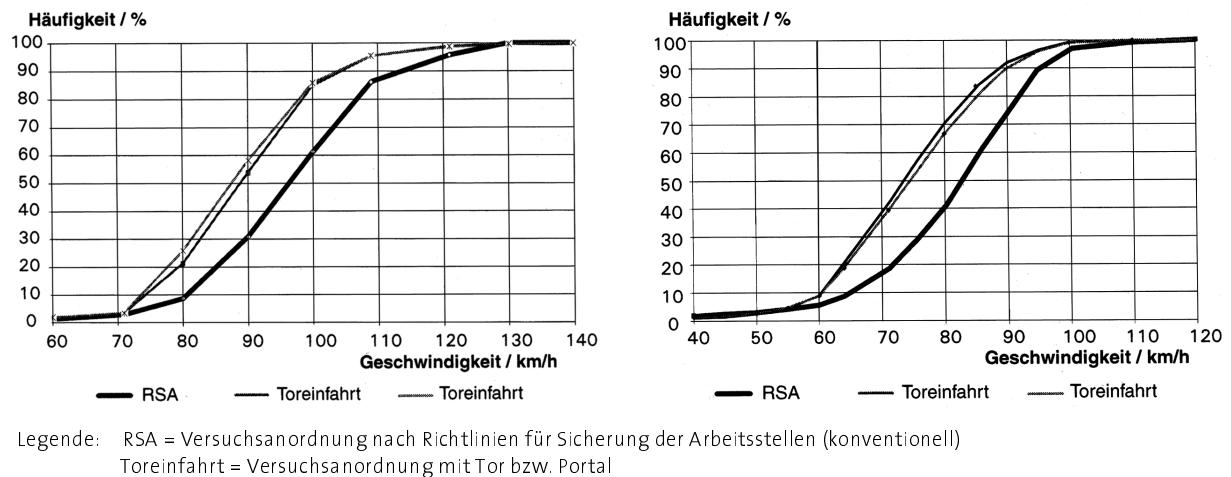


Abb. 7-3: Geschwindigkeitserteilungen im Bereich des Portals für Baustellen auf A67 (links) und A3 (rechts) aus [1]

Die obigen Erkenntnisse stehen im Widerspruch zu Ergebnissen der vorliegenden Versuche auf der Strecke ZG1. Eine nähere Durchsicht der Unterlagen in [1] hat gezeigt, dass zwischen dortiger Versuchsausgestaltung und jener bei Versuchen auf der Strecke ZG1 wesentliche Unterschiede bestehen:

Bei ZG1 war nur das Portal aufgestellt, bei gleichen Abmessungen und etwa im gleichen Abstand vor Überleitung (250 m). Bei den Versuchen in [1] befanden sich über den Portaltafeln zusätzlich Blinklichter, welche die Auffälligkeit und Erwartungshaltung (gelbes Blinksignal gleich Gefahrenhinweis) erhöhen. Zudem war die Überleitung beim Versuch ohne Portal mit hohen Baken markiert (so war es auch bei Versuchen auf der Strecke ZG1), während bei der Anordnung mit Portal andere, teilweise neuartige Leitelemente (Leitschiene mit niedrigen Baken, kombiniert mit übergrossen Baken und mit neuem Pfeilmuster) zur Verwendung kamen.

In der Zwischenzeit wurde in einer Arbeit aus der Schweiz [6] die Wirkung gelb hinterlegter Signale untersucht. Die Versuche wurden auf Strassen mit Gemischtverkehr (innerorts und ausserorts) durchgeführt. Die retroreflektierenden Flächen um die Signale hatten dabei nicht die Abmessungen eines Autobahnportals. Die Autoren kommen zur Empfehlung, auf den Einsatz solcher Signale zu verzichten. Eines der Gründe besteht in den relativ kleinen und ungleichmässigen Auswirkungen solcher Signale auf das Verkehrs- und Unfallgeschehen.

7.3.3.4. Folgerungen zum Einfluss des Portals

Der Einsatz des auffälligen Portals dient zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Fahrer und soll zur Geschwindigkeitsanpassung vor der Überleitung beitragen. Im Rahmen der vorliegenden Versuche konnte im Vergleich zum Zustand ohne Portal keine wesentliche Verbesserung festgestellt werden; dies im Gegensatz zu ausländischen Erfahrungen.

Eine der möglichen Erklärungen dieser Diskrepanz könnte darin liegen, dass auf der Untersuchungsstrecke ZG1 die Geschwindigkeitsanpassung bereits im Zustand ohne Portal weitgehend ohne abrupte Änderungen erfolgte und die Geschwindigkeitsabnahme hinreichend war. Die Betrachtung der entsprechenden Geschwindigkeitsverläufe legt diese Vermutung nahe.

Der Beitrag des Portals zur Aufmerksamkeitserhöhung kann nicht ausgeschlossen werden. Deutliche Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten sind jedoch nicht zu erwarten.

Die zweite Erklärung liegt in der Tatsache, dass bei den ausländischen Versuchen der Portal mit auffälligen, am oberen Rand der beiden Signaltafeln angebrachten Blinklichtern ergänzt wurde. Es ist somit denkbar, dass das Geschwindigkeitsverhalten auch durch das alleinige Aufstellen von Blinklichtern günstig beeinflusst werden kann.

Die positiven ausländischen Erfahrung können in Ihrem Ausmass nicht bestätigt werden. Die Wirksamkeit des Portals stellt sich vermutlich nur in Kombination mit Blinklichtern ein.

7.3.4. Zusammenhänge mit Unfallgeschehen in der Zufahrt

Die Theorie der Sicherheitsarbeit basiert u.a. auf der Hypothese, dass zwischen Unfallgeschehen und Verkehrsverhalten Zusammenhänge bestehen: Auf Strassenabschnitten, auf welchen das so genannte Fehlverhalten im Verkehrsablauf überdurchschnittlich häufig auftritt, kann eine erhöhte Unfallhäufigkeit auftreten. Im vorliegenden Abschnitt werden die angesprochenen Zusammenhänge in der Zufahrt zur Baustelle, überprüft. Als Vergleichsgrösse des Verkehrsgeschehens wird dabei das Geschwindigkeitsverhalten im Zufahrtsbereich herangezogen. Beim Unfallgeschehen wird zusätzlich zum Baustellenabschnitt B₁ (die eigentliche Zufahrt) auch die Überleitung (B₂) einbezogen. Damit sollen allfällige Ungenauigkeit bei den Unfallortangaben kompensiert werden.

Die Überprüfung erfolgt anhand der in 7.3.1. bis 7.3.3. abgeleiteten Folgerungen zum Einfluss der Tempolimite, der Geschwindigkeitsüberwachung und des Portals auf den Verkehrsablauf.

- *Überschreitung der Tempolimite / erhöhte Unfallhäufigkeit in B₁ und B₂*

Im Referenzzustand wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf den letzten 320 bis 360 m der Zufahrt mit 80 km/h signalisiert. In 7.3.1.6. wurde festgestellt, dass

- „am Ende der Zufahrt die signalisierte Höchstgeschwindigkeit bei T₈₀ von mehr als der Hälfte aller Fahrzeuglenker nicht eingehalten wird, während dies bei T₁₀₀ nur bei ca. 15% der Fall ist.“
- „unabhängig von der Höhe der Tempolimite erfolgt rund ein Drittel der gesamten Geschwindigkeitsanpassung in der Baustellenzufahrt im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung“.

Dieses Verhalten würde auf eine erhöhte Unfallhäufigkeit in den Baustellenabschnitten B₁ und B₂ sowie auf eine Häufung von Auffahrunfällen im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals hindeuten.

Die Unfallauswertungen bei *Strecken SG₁, SG₂ und ZG₁* haben diese Zusammenhänge *nicht bestätigt*: Die Häufigkeit aller Unfälle sowie jene der Auffahrunfälle war im Zustand mit Baustelle nicht grösser als jene im Zustand ohne Baustelle.

Bei der *Strecke AG₁* haben sich die Zusammenhänge *bestätigt*: Im Zustand mit Baustelle haben sich in B₁ und B₂ signifikant mehr Unfälle ereignet (4 Unfälle, davon 2 Auffahrunfälle) als im Zustand ohne Baustelle (keine Unfälle).

- *Erhöhung Tempolimite 80 auf 100 km/h / erhöhte Unfallhäufigkeit in B₁ und B₂*

Dieser Zusammenhang lässt sich infolge kurzer Betriebsdauer (jeweils ca. 1 Std.) mit Signalisierung von 100 km/h nicht überprüfen.

- *Fehlende Homogenisierung / erhöhte Häufigkeit der Schleuder-/Selbstunfälle*

In 7.3.1.6. wurde festgestellt, dass „eine örtlich homogenisierende Wirkung des Geschwindigkeitssignals bei den Versuchen nicht festgestellt werden konnte“. Damit ist insbesondere die Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge (V_{85%}) angesprochen. Überhöhte Geschwindigkeiten könnten auf erhöhte Häufung von Schleuder-/Selbstunfällen und gegebenenfalls von Unfällen bei Überholen/Fahrsteifenwechsel in der zweiten Hälfte der Zufahrt hindeuten.

Analog zu Überschreitung der Tempolimite konnte dieser Zusammenhang bei *Strecken SG₁, SG₂ und ZG₁* *nicht bestätigt* werden. Nur bei der *Strecke AG₁* hat sich der Zusammenhang *bestätigt*: Im Zustand mit Baustelle haben sich in B₁ und B₂ signifikant mehr Unfälle der erwähnten Typen ereignet (1 Schleuder-/Selbstunfall und 1 Unfall bei Überholen/Fahrsteifenwechsel) als im Zustand ohne Baustelle (keine Unfälle).

- *Geschwindigkeitsabnahme infolge Radarüberwachung / Auswirkungen auf Unfalltypen in B₁ und B₂*

In 7.3.2.3. wurde festgestellt, dass in der Baustellenzufahrt durch die Radarüberwachung eine deutliche Geschwindigkeitsabnahme (V_m) resultiert und dass die Tempolimite von 80 km/h am Ende der Zufahrt auch von den schnell fahrenden Fahrzeugen (V_{85%}) eingehalten wird. Letzteres führt zur Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung. Diese Auswirkungen müssten positiv sein für die Entstehung der Typen Schleuder-/Selbstunfälle und Unfälle bei Überholen/Fahrsteifenwechsel. Andererseits wäre die Häufung von Bremsungen auf Höhe der Radarkabine negativ für die Entstehung von Auffahrunfällen.

Diese Zusammenhänge lassen sich infolge kurzer Betriebsdauer (jeweils ca. 1 Std.) mit Geschwindigkeitsüberwachung auf der *Strecke SG₁* *nicht überprüfen*. Erfahrungen mit permanentem Einsatz der Radarkabinen bei Baustellen in Kanton Zürich (vgl. [23]) haben jedoch die positiven Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit bestätigt (vgl. 7.3.2.2.). Wie weit diese auch für gelegentlich angeordnete (jedoch permanent angekündigte) Geschwindigkeitskontrollen zutreffen, lässt sich aufgrund der Erfahrungen aus früheren Baustellen im Kanton Aargau nicht beantworten.

- *Geschwindigkeitsanpassung infolge Portalanordnung / reduzierte Unfallhäufigkeit in B1 und B2*

In 7.3.3.4. wurde festgestellt, dass der Beitrag des Portals zur Aufmerksamkeitserhöhung nicht ausgeschlossen werden kann, deutliche Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten sind jedoch nicht zu erwarten. Analog zu Radarüberwachung können allfällige Zusammenhänge infolge kurzer Betriebsdauer (jeweils ca. 1 Std.) mit Portalanordnung auf der *Strecke ZG1 nicht überprüft* werden. Objektive Erfahrungsdaten aus den Kantonen Uri und Tessin, wo die Portale eingesetzt werden liegen nicht vor.

7.4. Verkehrsablauf im Ein- und Überleitungsbereich

In diesem Abschnitt werden das Geschwindigkeits- und Spurverhalten in der Annäherung zu und im Überleitungsbereich bei den Betriebsformen 4+0 und 3+1 analysiert. Dabei wird auf die Einflüsse der Tempolimiten und deren Überwachung, der Leiteinrichtungen, der Beleuchtungsverhältnisse sowie auf weitere Einflussmerkmale eingegangen. In einem zweiten Schritt werden allfällige Zusammenhänge mit Unfallgeschehen untersucht.

7.4.1. Einfluss der Tempolimite

Analog zur Analyse im Zufahrtsbereich, wird auch der Einfluss der Tempolimite im Ein- und Überleitungsbereich anhand der Untersuchungsstrecken SG1 (2 Versuche), SG2 (4 Versuche) und AG1 (2 Versuche) untersucht. Zu beachten sind hierbei die unterschiedlichen Betriebsformen der einzelnen Untersuchungsstrecken. Es werden jeweils die Fahrstreifen betrachtet, welche auf die Gegenfahrbahn übergeleitet werden. Während an der Strecke SG1 (Betriebsform 4+0) beide Fahrstreifen übergeleitet werden, trifft dies an den Strecken SG2 (Betriebsform 3+1) und AG1 (Betriebsform 4+2 bzw. 4+1) nur für den Überholfahrstreifen zu. In die Betrachtung werden jeweils die Messquerschnitte aus dem Bereich der Überleitung, sowie der letzte Querschnitt der Zufahrt einbezogen.

Der Einfluss der Tempolimite wird im Folgenden zuerst für die einzelnen Untersuchungsstrecken, unter Berücksichtigung der statistischen Signifikanz untersucht. Daraufhin erfolgt ein Vergleich der an den Strecken gewonnenen Erkenntnisse sowie mit ausländischen Untersuchungen.

7.4.1.1. Einfluss der Tempolimite in der Überleitung auf SG1

Der Vergleich zwischen Tempolimite 80 km/h und 100 km/h wird anhand der Versuche ohne Radar (SG1 1a und SG1 2a) durchgeführt. Betrachtet werden die Querschnitte QS5 bis QS8. Der Querschnitt QS5 liegt am Ende der Zufahrt, 123 m vor Beginn der Überleitung. Querschnitt QS6 gibt den Beginn des Kreisbogens der Überleitung an, QS7 dessen Ende. Der Querschnitt QS8 befindet sich auf der Geraden deutlich vor dem Gegenbogen der Überleitung.

Die Geschwindigkeiten an einzelnen Querschnitten werden jeweils in Relation zu denen der vorhergegangenen und nachfolgenden Querschnitten, sowie in Bezug auf die Unterschiede zwischen den beiden Tempolimiten betrachtet. Des Weiteren werden die Ergebnisse aus der Untersuchung zum Spurverhalten aufgezeigt.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Auf dem *Normalfahrstreifen* tritt sowohl bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h als auch bei 80 km/h eine kontinuierliche Verzögerung auf. Wie aus Tab. 5-6 ersichtlich ist, wird vom Beginn des Kreisbogens der Überleitung (QS6) bis zum Bereich der Überleitungs-Geraden (QS8) bei Tempolimite 100 km/h mit 0.57 m/s^2 um 8.4 km/h verzögert, während bei Tempolimite 80 km/h mit 0.33 m/s^2 um 4.9 km/h deutlich weniger stark verzögert wird.

Eine kontinuierliche Verzögerung findet auch auf dem *Überholfahrstreifen* bei Tempolimite 100 km/h statt, allerdings nur mit 0.05 m/s^2 um 0.7 km/h. Im Gegensatz dazu kommt es bei Tempolimite 80 km/h auf dem Überholfahrstreifen zu einer leichten Beschleunigung. Zwar wird vom Querschnitt QS6 zum Querschnitt QS7 um 0.8 km/h verzögert, vom Ende des Kreisbogens (QS7) bis zur Mitte der Überleitungs-Gerade (QS8) findet jedoch eine Beschleunigung von 1.7 km/h statt.

Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird diese nur auf dem Normalfahrstreifen eingehalten. Die mittleren Geschwindigkeiten liegen hierbei zwischen 69.8 km/h (QS8) und 77.3 km/h (QS5). Auf dem Überholfahrstreifen liegen die Werte abgesehen von QS7 (79.3 km/h) bis zu 4.2 km/h (QS5) über der zulässigen Geschwindigkeit (vgl. Tab. 5-6). Für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von

100 km/h treten keine Überschreitungen für die mittlere Geschwindigkeit auf. Die erhobenen Geschwindigkeiten liegen sowohl auf dem Überholfahrstreifen, deutlicher noch auf dem Normalfahrstreifen unter den zulässigen 100 km/h.

Bezüglich der Differenzen zwischen den beiden Geschwindigkeitsregimes wurde eine statistische Überprüfung mittels des T-Tests (vgl. 7.2.2.) durchgeführt. In Tabelle 7-28 sind die Querschnitte mit signifikanten Differenzen, bei einer 1%igen Irrtumswahrscheinlichkeit, für den Normal- und Überholfahrstreifen angegeben.

	Querschnitt Nr.					Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	5	6	7	-	Überholstreifen ÜS	5	6	7	8

Tab. 7-28: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimiten an SG1

Tabelle 7-28 zeigt, dass abgesehen von Querschnitt QS8 des Normalfahrstreifens auf der gesamten Strecke der Überleitung sowohl auf dem Normalfahrstreifen, als auch auf dem Überholfahrstreifen signifikante Unterschiede vorliegen. An diesen Querschnitten liegen die Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 80 km/h durchschnittlich ca. 3.2 km/h für den NS und 4.9 km/h für den ÜS unter denen bei Tempolimiten 100 km/h.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Der Verlauf der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge ähnelt vor der Überleitung jenem der mittleren Geschwindigkeit. Auf ÜS und teilweise auch auf NS findet zunächst eine kontinuierliche Verzögerung statt. Im Überleitungsbereich selbst bleibt die $V_{85\%}$ annähernd konstant. Dabei wird eine zulässige Höchstgeschwindigkeit bei *Tempolimiten 80 km/h* nur auf dem Normalfahrstreifen ab dem Ende des Kreisbogens der Überleitung (QS7) knapp eingehalten. Im Bereich davor, sowie auf dem gesamten Überholfahrstreifen wird die zulässige Geschwindigkeit deutlich überschritten. Die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge liegt auf dem Überholfahrstreifen um durchschnittlich ca. 9.6 km/h über den signalisierten 80 km/h. Bei *Tempolimiten 100 km/h* können auf NS und ÜS erwartungsgemäss keine Geschwindigkeitsüberschreitungen im Überleitungsbereich festgestellt werden. Die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge liegt im Durchschnitt um ca. 16.3 km/h (NS) bzw. ca. 8.0 km/h (ÜS) unter den geforderten 100 km/h. Für beide Geschwindigkeitsregime treten deutliche höhere Geschwindigkeiten auf dem ÜS als auf dem NS auf. Die Differenz beträgt unabhängig vom Tempolimiten ca. 8 km/h. Bei der Signifikanzbetrachtung ergeben signifikante Unterschiede zwischen den zwei Tempolimiten für die gleichen Querschnitte wie zuvor bei der mittleren Geschwindigkeit. Die Differenzen sind allgemein deutlich grösser als die der V_m (vgl. Tab 5-10).

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Im Bereich der Überleitung sind die Standardabweichungen unabhängig von Tempolimiten und Fahrstreifen weitestgehend konstant (vgl. Tab 5-2). Für den Normalfahrstreifen ergeben sich Durchschnittswerte von 10.5 km/h bei Tempolimiten 100 km/h und 8.7 km/h bei Tempolimiten 80 km/h. Die Werte für den Überholfahrstreifen liegen mit 8.8 km/h bei Tempolimiten 100 km/h und 8.0 km/h bei Tempolimiten 80 km/h etwas darunter. Es treten nur geringe Differenzen bezüglich verschiedener Geschwindigkeitsregime auf. Diese Differenzen betragen im Durchschnitt 1.8 km/h auf dem NS und 1.2 km/h auf dem ÜS, wobei bei Tempolimiten 80 km/h die homogenere Geschwindigkeitsverteilung eintritt.

- *Einfluss auf das Spurverhalten*

Bezüglich des Spurverhaltens ergeben sich weder auf dem Normalfahrstreifen noch auf dem Überholfahrstreifen Einflüsse der Tempolimiten (vgl. 5.1.2.): Sowohl die Spurstreuung als auch die in Abbildungen 5-8 und 5-9 dargestellten Linien der Verschiebungen sind weitgehend identisch. Bei beiden Tempolimiten wird die Kurve auf dem Normalfahrstreifen um etwa einen halben Meter geschnitten (Gesamtverschiebung). Auf dem Überholfahrstreifen wird in beiden Fällen zuerst ca. 0.25 m ausgeholt und dann um ca. 0.20 m die Kurve geschnitten. In der Ausfahrt des Kreisbogens befinden sich die Fahrzeuge wieder ca. 0.25 m rechts der Fahrstreifenmitte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in der Überleitung bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf beiden Fahrstreifen signifikant niedrigere Geschwindigkeiten (V_m und $V_{85\%}$) auftreten als bei Tempolimiten 100 km/h. Die Differenzen von maximal ca. 4 km/h (V_m) bzw. 5 km/h ($V_{85\%}$) sind jedoch im Vergleich zum Limite-Unterschied klein. Bezüglich der Geschwindigkeitsstreuung ergibt sich für Tempolimiten 80 km/h nur ein geringfügig homogenerer Verkehrsablauf. Auf das Spurverhalten haben die Tempolimiten keinen Einfluss. Es ergeben sich im Mittel quasi identische Verläufe.

7.4.1.2. Einfluss der Tempolimite in der Überleitung auf SG2

Für den Vergleich an der Untersuchungsstrecke SG2 können die Versuche SG2 1a (80 km/h) und SG2 2a, durchgeführt mit hohen Baken, sowie die Versuche SG2 1b (80 km/h) und SG2 2b (100 km/h), durchgeführt mit Leitschienen, herangezogen werden. Da es sich bei der Untersuchungsstrecke um die Betriebsform 3+1 handelt und der Normalfahrstreifen nicht auf die Gegenfahrbahn verschwenkt wird, wird nur der Überholfahrstreifen betrachtet. Betrachtet wird der Bereich der Überleitung sowie der vorangegangene Querschnitt (QS4). Dieser Querschnitt liegt 150 m vor Beginn der Überleitung. Die Überleitung selbst setzt sich aus den Querschnitten QS5 zu Beginn des Kreisbogens, QS6 der Mitte des Kreisbogens und dem QS7 im Bereich der Überleitungsgeraden zusammen.

Es werden wiederum Unstetigkeiten im Verlauf und Differenzen zwischen den Versuchen bei verschiedenen Tempolimiten sowie der Einfluss auf das Spurverhalten untersucht. Dabei werden jeweils zuerst die Versuche mit hohen Baken und dann mit Leitschienen betrachtet

- Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m

Bei der Verwendung von *hohen Baken* tritt ein deutlicher Rückgang der Geschwindigkeiten von Querschnitt QS4 zu QS5 auf. Sowohl bei Tempolimite 100, als auch bei Tempolimite 80 km/h nimmt die Geschwindigkeit hier auf dem Überholstreifen um jeweils 10,0 km/h ab (vgl. Tab. 5-21). Hieraus resultiert auf dem ÜS eine mittlere Geschwindigkeit von 84,6 km/h (T100) bzw. 80,6 km/h (T80), welche über den gesamten Überleitungsbereich fast unverändert beibehalten wird.

Ein ähnliches Verhalten kann auch bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken beobachtet werden (vgl. Tab. 5-22.). Von Querschnitt QS4 zu QS5 wird hier auf dem Überholstreifen bei Tempolimite 100 km/h um 11,7 km/h auf 84,0 km/h verzögert und bei Tempolimite 80 km/h um 11,9 km/h auf 78,0 km/h. Auch diese Geschwindigkeiten werden im Überleitungsbereich beibehalten. Für die Ausführung mit hohen Baken und Leitschienen gilt, dass die mittlere Geschwindigkeit in der gesamten Überleitung unter der zulässige Höchstgeschwindigkeit liegt. Bei Tempolimite 80 km/h liegt jedoch die V_m im Querschnitt QS4 deutlich über der Tempolimite, obwohl die Signalisierung bereits 157 m zuvor erfolgt. Die Geschwindigkeiten im Überleitungsbereich liegen bei der Verwendung von hohen Baken im Bereich von 80 km/h, bei Leitschienen um ca. 2,3 km/h tiefer.

Die Betrachtung der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Versuchen bei Tempolimite 100 und 80 km/h erfolgte mit dem T-Test (vgl. 7.2.2.). Als Ergebnis werden in Tabelle 7-29 die Querschnitte mit signifikanten Differenzen, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 1%-Niveau, dargestellt.

(hohe Baken)	Querschnitt Nr.				(Leitschiene)	Querschnitt Nr.			
Überholstreifen ÜS	4	5	6	7	Überholstreifen ÜS	4	5	6	7

Tab. 7-29: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite an SG2

Demnach tritt an allen Querschnitten ein signifikanter Unterschied auf. Aufgrund der konstanten Verläufe der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 und 80 km/h, tritt auch eine über die Überleitung (Beginn Kreisbogen, Mitte Kreisbogen, Überleitungs-Gerade) quasi konstante Differenz auf. Diese beträgt bei der Verwendung von hohen Baken durchschnittlich ca. 4,1 km/h und beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken ca. 6,0 km/h.

- Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$

Parallel zur mittleren Geschwindigkeit verhält sich der Verlauf der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge (vgl. Tab. 5-28). Während zwischen den Querschnitten QS4 und QS5 eine markante Verzögerung auf dem Überholstreifen stattfindet, wird im Überleitungsbereich eine weitgehend konstante Geschwindigkeit gefahren. Bei *Tempolimite 100 km/h* wird mit hohen Baken zum QS5 um fast 12,0 km/h auf 93,0 km/h verzögert. Diese Geschwindigkeit wird dann in der Überleitung gehalten. Bei Leitschienen wird um fast 13,0 km/h auf 92,0 km/h verzögert. Auch hier findet keine nennenswerte Verzögerung im Verlauf der Überleitung statt. Analog dazu wird auch bei *Tempolimite 80 km/h* um ca. 13,5 km/h auf 88,0 km/h bei hohen Baken und um fast 14,0 km/h auf 86,0 km/h bei Leitschiene verzögert. Auch hier treten keine nennenswerten Veränderungen der $V_{85\%}$ in der Überleitung auf. Dies bedeutet, dass nur in der Überleitung bei Tempolimite 100 km/h die zulässige Höchstgeschwindigkeit eingehalten und um ca. 8,0 km/h unterschritten wird. Zuvor im QS4 treten mit 104,6 km/h jedoch sowohl bei hohen Baken, als auch bei Leitschienen deutliche Überschreitungen auf. Bei Tempolimite 80 km/h wird die zulässige Geschwindigkeit in keinem Querschnitt von den schnell fahrenden Fahrzeugen eingehalten. In der Überleitung wird die Geschwindigkeit um durchschnittlich 7,7 km/h bei hohen Baken und 5,7 km/h bei Leitschienen überschritten. Im Querschnitt QS4 treten sogar Überschreitungen von 21,4 km/h (Baken) bzw. 19,8 km/h (Leitschienen) auf.

Die Differenzen zwischen den Versuchen mit unterschiedlichem Geschwindigkeitsregime können auch hier im gesamten Überleitungsbereich als signifikant erachtet werden. Bei hohen Baken treten bei Tempolimiten 80 km/h durchschnittlich 4.7 km/h niedrigere Geschwindigkeiten als bei Tempolimiten 100 km/h auf. Bei Leitschienen fällt dieser Unterschied mit 6.7 km/h noch deutlicher aus.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Die Standardabweichungen im Bereich der Überleitung sind weitgehend konstant (vgl. Tab. 5-14 und 5-15). Bei der Verwendung *hoher Baken* treten bei beiden Tempolimiten annähernd die gleichen Werte auf. Auch im Querschnitt QS4, wo Werte von 10.3 km/h (T100) bzw. 10.0 km/h (T80) auftreten kann nicht auf einen erkennbaren Einfluss des Geschwindigkeitsregimes geschlossen werden. Selbiges gilt für die Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken. In der Überleitung treten hier für beide Tempolimiten Standardabweichungen von durchschnittlich ca. 8.0 km/h auf. Im Querschnitt QS4 tritt jedoch mit 8.4 km/h bei Tempolimiten 100 km/h eine deutlich geringere Streuung auf als bei Tempolimiten 80 km/h ($S = 10.6$ km/h).

- *Einfluss auf das Spurverhalten*

Allgemein vermindert sich für beide Tempolimiten die Streuung der Abweichung von der Fahrstreifenachse im Zulauf zur Überleitung und sie bleibt in der Überleitung praktisch konstant (vgl. Tab. 5-31).

Betrachtet man die mittlere Lage der Fahrzeugachsen in Relation zur Fahrstreifenachse, treten bei *Leitschienen* nur geringe Veränderungen infolge der Tempolimiten auf (Abbildung 5-20). Allgemein wird bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 100 km/h etwas weiter links (Kurveninnenseite) gefahren als bei Tempolimiten 80 km/h. So fällt auch das Ausholen mit ca. -0.24 m um ca. 0.08 m geringer aus. Im weiteren Verlauf nähern sich die Fahrzeuge der Fahrstreifenachse an und es kommt nur zu einem leichten Schneiden der Kurve.

Bei *hohen Baken* tritt bei Tempolimiten 100 km/h ein ähnlicher Verlauf auf wie bei Leitschiene. Auf ein Ausholen (-0.40 m) folgt ein leichtes Kurvenschneiden mit 0.19 m. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h fällt jedoch das Ausholen mit 0.86 m mehr als doppelt so weit aus als bei Tempolimiten 100 km/h. Im Kreisbogen nähert sich die mittlere Lage der Fahrzeuge der Fahrstreifenachse an. Die Kurve des Einleitungsbogens wird nicht geschnitten.

Für die Untersuchungsstrecke SG2 ergibt sich in der Überleitung ein ähnliches Bild wie bei SG1. Der Einfluss der Tempolimiten ist bezüglich der gefahrenen Geschwindigkeiten in allen Querschnitten signifikant: Die bei Tempolimiten 80 km/h erhobenen Geschwindigkeiten liegen in allen Bereichen der Überleitung, sowie dem vorangegangenen Querschnitt QS4 signifikant unter jenen Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 km/h. Die Tempolimiten werden im Bereich der Überleitung durch die mittlere Geschwindigkeit eingehalten, die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ liegt jedoch bei Tempolimiten 80 km/h für beide Leiteinrichtungen deutlich über der zulässigen Geschwindigkeit. Auf das Spurverhalten haben die Tempolimiten nur bei hohen Baken einen Einfluss. Hier kommt es bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h zum doppelt so weiten Ausholen wie bei Tempolimiten 100 km/h.

7.4.1.3. Einfluss der Tempolimiten in der Überleitung auf AG1

Der Einfluss der Tempolimiten kann an der Untersuchungsstrecke AG1 anhand der Versuche AG1 1a (80 km/h) und AG1 2a (100 km/h) untersucht werden. Hierzu werden die Daten der Querschnitte QS5 bis QS8 herangezogen. Der Messquerschnitt QS5 befindet sich 252 m vor Beginn der Überleitung. Die weiteren Querschnitte befinden sich im Bereich der Überleitung (Beginn Kreisbogen, Ende Kreisbogen Beginn Gegenbogen). Da der Normalfahrstreifen nicht auf die Gegenfahrbahn verschwenkt wird, wird ausschliesslich der Überholfahrstreifen in die Betrachtung einbezogen. Als Besonderheit muss für den relevanten Bereich erwähnt werden, dass 51 m vor der Überleitung in beiden Versuchen (AG 1a u. AG 2a) eine permanente Limitierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h bestand. Dies war in den zuvor betrachteten Überleitungsbereichen der Untersuchungsstecken SG1 und SG2 nicht der Fall.

Betrachtet werden der Verlauf der Geschwindigkeiten, sowie die Differenzen, welche aus den unterschiedlichen Tempolimiten bestehen. Diesbezüglich werden auch die Ergebnisse der Betrachtung des Spurverhaltens aufgeführt.

- *Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m*

Analog zur Betrachtung der Ergebnisse im Zufahrtbereich muss auf den Einfluss äusserer Bedingungen (vgl. 5.4.4.) hingewiesen werden. Aufgrund einer baustellenbedingten Staubbildung können die Ergebnisse des Versuchs AG1 2a (Tempolimiten 100 km/h) nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Nachfolgend werden jedoch die Ergebnisse des Versuchs AG1 1a (80 km/h) angeführt, um sie in den späteren Vergleich der Untersuchungsstecken einfließen zu lassen.

Bei Tempolimiten 80 km/h ergab sich eine deutliche Verzögerung von Messquerschnitt QS5 zu QS6 (vgl. Tab. 5-45). Die mittlere Geschwindigkeit wird hier um 10,5 km/h auf 77,6 km/h reduziert. Im weiteren Verlauf der Überleitung findet nur noch eine geringfügige Abnahme der Geschwindigkeit um 2,1 km/h auf 75,5 km/h statt. Demnach liegt die V_m ab dem Querschnitt QS5 unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit.

Die Ergebnisse der statistischen Überprüfung der Veränderungen zwischen den Tempolimiten 100 und 80 km/h sind in der Tabelle 7-30 nur der Vollständigkeit halber angegeben. Die Anwendung eines T-Tests (vgl. 7.2.2.) ergab keine signifikanten Differenzen für die Querschnitte QS5 bis QS8.

	Querschnitt Nr.			
Überholstreifen ÜS	-	-	-	-

Tab. 7-30: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimiten an AG1

- *Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$*

Aufgrund der oben genannten Beeinflussung werden auch bei der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge nur die Ergebnisse des Versuchs mit Tempolimiten 80 km/h angeführt.

Wie bei der mittleren Geschwindigkeit wird auch die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge zwischen Querschnitt QS5 und QS6 markant um 9,6 km/h reduziert (vgl. Tab. 5-46). Anschliessend wird die erreichte Geschwindigkeit von ca. 87,0 km/h in der Überleitung weitgehend beibehalten. Die zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h wird demnach von den schnell fahrenden Fahrzeugen in jedem Querschnitt deutlich überschritten.

- *Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung*

Auch für die Geschwindigkeitsstreuung wird kein Vergleich bezüglich der Tempolimiten durchgeführt.

Bei Tempolimiten 80 km/h eine deutliche Zunahme der Standardabweichungen zu Beginn und zum Ende der Überleitung (vgl. Tab. 5-44). Von Messquerschnitt QS5 zu QS6 steigt sie von 9,7 km/h um 1 km/h auf 10,7 km/h an. Ebenso deutlich ist der Anstieg um 0,9 km/h zwischen QS7 (10,6 km/h) und QS8 (11,5 km/h).

- *Einfluss auf das Spurverhalten*

Betrachtet wird an dieser Stelle das Spurverhalten für den Überleitungsbereich, bei Tempolimiten 80 km/h. Es fallen keine nennenswerten Veränderungen bei den Streuungen der Fahrzeuglage auf (vgl. Tabelle 5-49). Die mittlere Lage weicht jedoch von der Fahrstreifenachse ab. Die erste Kurve (Linkskurve) wird deutlich geschnitten (0,20 m). Im weiteren Verlauf nähern sich die Fahrzeuge wieder der Fahrbahnachse an, um dann die anschliessende Rechtskurve erneut zu schneiden.

Zusammenfassend lässt sich für das Verhalten bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h feststellen, dass eine markante Geschwindigkeitsreduzierung erst direkt vor der Überleitung erfolgt und erst in der Überleitung liegt die V_m unterhalb der Tempolimiten von 80 km/h. Dies gilt nicht für die schnell fahrenden Fahrzeuge, welche die Limite in jedem Querschnitt überschreiten. Auffallend ist ein Anstieg der Standardabweichungen im Überleitungsbereich gegenüber dem Ende der Zufahrt. Während die Geschwindigkeiten annähernd konstant bleiben, nimmt die Streuung zu Beginn und zum Ende der Überleitung zu. Die Zunahme der Streuung und die markante Geschwindigkeitsreduktion direkt vor der Überleitung dürften mit der Geometrie der Überleitung zusammenhängen. Die Öffnungslänge der Mittelstreifenüberfahrt betrug hier nur 86 m (vgl. ANHANG 3.4). Bei den anderen Untersuchungsstrecken war es deutlich mehr.

7.4.1.4. Vergleiche zwischen den Überleitungen bezüglich Geschwindigkeitsverhalten

Im folgenden Vergleich wird der Einfluss der Tempolimiten auf das Geschwindigkeitsverhalten im Überleitungsbereich der Untersuchungsstrecken SG1, SG2 und AG1 analysiert, mit dem Ziel, die Wirksamkeit der Signalisierung von Tempolimiten in der Überleitung vor der Baustelle abzuleiten. Dazu werden anhand der mittleren Geschwindigkeit V_m , der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ und der Geschwindigkeitsstreuung S die Veränderungen in den Bereichen vor der Überleitung und im Überleitungsbereich bei den unterschiedlichen Tempolimiten gegenüber gestellt.

Die Ergebnisse des staubeeinträchtigten Versuchs AG1 2a (Tempolimit 100 km/h) werden der Vollständigkeit halber mit angegeben, jedoch nicht in die Vergleiche einbezogen. Selbiges gilt für die Ergebnisse der Untersuchungsstrecke SG1, wo die auffallend kleinen Geschwindigkeitsdifferenzen durch die Steigung von 5% bedingt sind (vgl. 5.1.1.2.). Diese Resultate werden angegeben, fließen jedoch nicht in den gebildeten Mittelwerte ein. In den entsprechenden Tabellen sind die Werte der betroffenen Versuche grau hinterlegt.

Die Erkenntnisse für den Normalfahrstreifen der Untersuchungsstrecke SG1 (Betriebsform 4+0) werden im Folgenden nicht betrachtet. Dies hat seine Begründung zum Einen in der oben beschriebenen Steigung der Untersuchungsstrecke. Zum Anderen liegt keine Referenzstrecke mit unterschiedlichen Tempolimiten vor, bei der auch der Normalfahrstreifen auf die Fahrbahn den Gegenverkehrs verschwenkt wurde.

- *Veränderung der Geschwindigkeit infolge Tempolimit*

In Tabelle 7-31 sind die *mittleren Geschwindigkeiten* V_m für die Bereiche vor und in der Überleitung angegeben. Der Wert vor der Überleitung entspricht der erhobenen Geschwindigkeit am letzten Querschnitt *vor der Überleitung* (QS5 bei SG1 und AG1; QS4 bei SG2). Die durchschnittliche Geschwindigkeit *in der Überleitung* ergibt sich aus den Mittelwert der Querschnitte QS6 bis QS8 bei SG1 und AG1 sowie den Querschnitten QS5 bis QS7 bei SG2. Im oberen Teil der Tabelle befinden sich jeweils die Ergebnisse für die Versuch bei Tempolimit 100 km/h und im unteren Teil jene bei Tempolimit 80 km/h.

V_m [km/h]			V_m vor der Überleitung	$\bar{\varnothing} V_m$ in der Überleitung
Tempolimit	Strecke	Leiteinrichtung		
T100	SG1	hohe Baken	93.8	83.6
	SG2	hohe Baken	94.6	84.1
	SG2	Leitschiene	95.7	83.5
	AG1	hohe Baken	87.5	76.1
T80	SG1	hohe Baken	84.2	80.1
	SG2	hohe Baken	90.6	79.9
	SG2	Leitschiene	88.9	77.7
	AG1	hohe Baken	88.1	76.5
Mittelwert T100 (ohne SG1 und AG1)			95.2	83.8
Mittelwert T80 (ohne SG1)			89.2	78.0

Tab. 7-31: Mittlere Geschwindigkeiten vor und in der Überleitung auf dem Überholfahrstreifen

Die Geschwindigkeiten der einzelnen, in Tabelle 7-31 aufgeführten, Versuche weichen nur geringfügig voneinander ab. Diese Tatsache ermöglicht es, die Betrachtung anhand der Mittelwerte für die beiden Tempolimiten durchzuführen. Sie zeigen, dass die mittlere Geschwindigkeit bei Tempolimit 100 km/h deutlich über jener bei Tempolimit 80 km/h liegt. *Vor der Überleitung* beträgt die durchschnittliche Geschwindigkeit bei Tempolimit 100 km/h ca. 95.2 km/h. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h wird durchschnittlich um 6.0 km/h langsamer gefahren. *In der Überleitung* ergibt sich praktisch die gleiche Differenz (5.8 km/h). Zwar wird mit ca. 83.8 km/h bei Tempolimit 100 km/h und ca. 78.0 km/h bei Tempolimit 80 km/h deutlich langsamer gefahren, als vor der Überleitung. Die Differenz zwischen den Geschwindigkeiten ist mit 5.8 km/h jedoch nahezu unverändert geblieben. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird bei Tempolimit 80 km/h erst im Bereich der Überleitung unterschritten.

Für die *Geschwindigkeit* $V_{85\%}$ ergibt sich ein qualitativ gleiches Ergebnis. Das Geschwindigkeitsniveau liegt hierbei jedoch deutlich über dem der mittleren Geschwindigkeit. Während vor der Überleitung Geschwindigkeiten von 104 km/h (T100) bzw. 99.3 km/h (T80) gefahren werden, treten in der Überleitung mittlere Geschwindigkeiten von 92.2 km/h (T100) und 86.4 km/h (T80) auf. Die zulässige Geschwindigkeit wird demnach nur bei Tempolimit 100 km/h in der Überleitung eingehalten.

In Tabelle 7-32 wird auf die Abnahme der Geschwindigkeit im Überleitungsbereich eingegangen, Zusammengefasst ist dort zum Einen die Verzögerung direkt vor der Überleitung (Differenz zwischen dem letzten Messquerschnitt vor und dem ersten Querschnitt in der Überleitung). Des Weiteren ist auch die Verzögerung im Bereich der Überleitung angeführt. Die Summe beider Verzögerungswerte ergibt die gesamte Geschwindigkeitsabnahme (letzte Spalte).

Abnahme der V_m [km/h]			ΔV_m vor der Überleitung	ΔV_m in der Überleitung	$\Sigma \Delta V_m$
Tempolimite	Strecke	Leiteinrichtung			
T100	SG1	hohe Baken	9.9	0.7	10.6
	SG2	hohe Baken	10.0	1.0	11.0
	SG2	Leitschiene	11.7	0.7	12.4
	AG1	hohe Baken	9.5	3.5	13.0
T80	SG1	hohe Baken	4.1	-0.9	3.2
	SG2	hohe Baken	10.0	1.1	11.1
	SG2	Leitschiene	10.9	-0.2	10.7
	AG1	hohe Baken	10.5	2.1	12.6
Mittelwert T100 (ohne SG1 und AG1)			10.9	0.9	11.7
Mittelwert T80 (ohne SG1)			10.5	1.0	11.5

Tab. 7-32: Abnahme der mittleren Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen, nach Streckenabschnitten

Auch hier weichen die Ergebnisse der für die Mittelbildung einbezogenen Untersuchungsstecken nicht markant voneinander ab. Es ist deutlich zu erkennen, dass sowohl bei Tempolimite 100 km/h, als auch bei 80 km/h vor der Überleitung markant verzögert wird. Diese Verzögerung erfolgt bei beiden Tempolimiten im etwa gleichen Masse (T_{100} : ΔV_m 10.9 km/h; T_{80} : ΔV_m 10.5 km/h). In der Überleitung selber tritt nur noch eine geringe Reduktion der mittleren Geschwindigkeit auf. In diesem Bereich wird um 0.9 km/h (T_{100}) bzw. 1.0 km/h (T_{80}) praktisch gleich verzögert. Bei der Geschwindigkeitsabnahme können somit keinen Unterschiede bezüglich des Einflusses von Tempolimiten auf die mittlere Geschwindigkeit festgestellt werden. In beiden Fällen erfolgt die Geschwindigkeitsanpassung grösstenteils vor der Überleitung.

Ein fast identisches Fahrverhalten resultiert bei den schnell fahrenden Fahrzeugen. Die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ nimmt jedoch vor der Überleitung in etwas grösserem Masse ab. Im Durchschnitt findet hier eine Verzögerung um 12.1 km/h (T_{100}) bzw. 12.3 km/h (T_{80}) statt. In der Überleitung nimmt die $V_{85\%}$ nur noch unbedeutend ab (T_{100} , 0.5 km/h; T_{80} , 0.7 km/h). Ein Unterschied im Verzögerungsverhalten bezüglich der Tempolimiten kann auch bei der $V_{85\%}$ nicht festgestellt werden.

- *Veränderung der Standardabweichungen infolge Tempolimite*

Für die Geschwindigkeitsstreuung ergibt sich kein derart einheitliches Bild der vergleichbaren Untersuchungsstrecken. Sowohl im Bereich vor der Überleitung, als auch in der Überleitung treten Unterschiede zwischen den Standardabweichungen auf den Untersuchungsstrecken auf. Die Tabelle 7-33 zeigt die Standardabweichungen für die Bereiche vor der Überleitung und in der Überleitung bei den zwei Tempolimiten.

S [km/h]			S vor der Überleitung	Ø S in der Überleitung
Tempolimite	Strecke	Leiteinrichtung		
T100	SG2	hohe Baken	10.3	8.2
	SG2	Leitschiene	8.4	8.0
T80	SG2	hohe Baken	10.0	8.1
	SG2	Leitschiene	10.6	8.0
	AG1	hohe Baken	9.7	10.9
Mittelwert T100 (ohne SG1 und AG1)			9.4	8.1
Mittelwert T80 (ohne SG1)			10.1	9.0

Tab. 7-33: Mittlere Standardabweichungen S vor und in der Überleitung auf dem Überholfahrstreifen

Im Bereich *vor der Überleitung* fällt besonders der Versuch bei Tempolimite 100 km/h an der Strecke SG2 mit Leitschienen auf. Die hier auftretende Streuung von 8.4 km/h liegt um knapp 2 km/h unter den Vergleichswerten. Eine generell homogenisierende Wirkung der Leitschiene lässt sich daraus nicht ableiten, weil an gleicher Strecke bei Tempolimite 80 km/h eine erhöhte Streuung bei Leitschiene resultiert (10.6 km/h). *In der Überleitung* ist der Versuch mit Tempolimite 80 km/h an der Untersuchungsstrecke AG1, welcher mit einer Abweichung von 10.9 km/h deutlich über den Werten der anderen Versuche liegt, auffallend. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hier die hohen Baken (anders als bei SG2) linksseitig mit einer Leitschranke und mit aufgesetztem Kastenprofil ergänzt war. Die restlichen Versuche ergeben ein einheitliches Bild und lassen den Rückschluss zu, dass die Tempolimite keinen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Streuung hat.

Wie aus Tabelle 7-33 ersichtlich verringern sich die Standardabweichungen der Geschwindigkeiten in Richtung Baustelle. Die resultierenden Werte der *Streuungsabnahme* können der Tabelle 7-34 entnommen werden. Neben der Gesamtabnahme für den betrachteten Bereich sind auch hier die Werte für die Streuungsabnahme direkt vor der Überleitung, sowie im Bereich der Überleitung angeben.

Abnahme der S [km/h]			ΔS vor der Überleitung	ΔS in der Überleitung	$\Sigma \Delta S$
Tempolimite	Strecke	Leiteinrichtung			
T100	SG2	hohe Baken	2.1	0.0	2.1
	SG2	Leitschiene	0.4	-0.1	0.3
T80	SG2	hohe Baken	1.7	0.4	2.1
	SG2	Leitschiene	2.8	-0.3	2.5
	AG1	hohe Baken	-1.0	-0.8	-1.8
Mittelwert T100 (ohne SG1 und AG1)			1.3	0.0	1.2
Mittelwert T80 (ohne SG1)			1.2	-0.2	0.9

Tab. 7-34: Mittlere Abnahme der Standardabweichungen S auf dem Überholfahrstreifen, nach Streckenabschnitten

Die oben erwähnten Abweichungen der Versuche SG2, T100 mit Leitschiene und AG1, T80 führen zu auffälligen Differenzen der Standardabweichung *vor der Überleitung*. Allgemein tritt jedoch eine nur geringe Homogenisierung im Bereich vor der Überleitung auf. Die Streuung nimmt mit Ausnahme von AG1 in allen Versuchen ab. Die Abnahme ist an den Untersuchungsstrecken unterschiedlich stark ausgeprägt. *In der Überleitung* findet keine Homogenisierung mehr statt. An den Versuchen der Untersuchungsstrecke SG2 sowie AG1 nimmt die Streuung in diesem Bereich sogar wieder leicht zu. Zusammenfassend lässt sich jedoch auch für die Streuungsabnahme feststellen, dass die Tempolimite keinen Einfluss auf die Verteilung haben.

Die Vergleiche zeigen, dass die Tempolimite lediglich einen Einfluss auf die Höhe der gefahrenen Geschwindigkeit hat. Sowohl die mittlere Geschwindigkeit, als auch die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ werden durch eine Tempolimite beeinflusst (V_m -Reduktion um ca. 6 km/h bei einer Änderung der Tempolimite um 20 km/h). Es ergeben sich jedoch keine Unterschiede in der Stärke und im Ort der Verzögerung. Bei Tempolimite 80 km/h wird im gleichen Masse vor und in der Überleitung verzögert, wie bei Tempolimite 100 km/h. Auch die Veränderungen der Standardabweichungen stehen in keinem Zusammenhang mit den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. Dies gilt für den Umfang der Homogenisierung, sowie für den Verlauf im betrachteten Bereich vor und in der Überleitung.

7.4.1.5. Vergleiche zwischen den Überleitungen bezüglich Spurverhalten

Die Ergebnisse des Spurverhaltens sind wegen der unterschiedlichen Überleitungsgeometrie nur bedingt miteinander vergleichbar. Durch die verschiedenen Öffnungslängen der Mittelstreifenüberfahrten (vgl. 7.4.3. und ANHANG 5) kommt es auch zu Differenzen in den Überfahrtswinkeln und in den Radien der eingesetzten Kreisbögen. Diese haben direkten Einfluss auf die Lage der mittleren Fahrzeugachse. Die Beurteilungen anhand der vorliegen Ergebnisse können teilweise nur qualitativer Art sein.

Auf allen Untersuchungsstrecken zeigen sich deutlich Abweichungen von der Fahrstreifenachse (vgl. 5.1.2., 5.2.2. und 5.4.2.) Diese sind entweder Folge des Kurvenschneidens oder des Ausholens vor dem nächsten Kreisbogen. Die Abweichungen treten bei den Versuchen SG1, SG2 mit Leitschienen und AG1 unabhängig von der Tempolimite im gleichem Masse auf. An diesen Strecken ist kein Einfluss der Tempolimite auf das Spurverhalten ersichtlich. Lediglich beim Versuch SG2 mit hohen Baken scheint die Tempolimite einen gewissen Einfluss zu haben. Hier kommt es bei Tempolimite 80 km/h zu einem markant weiteren Ausholen vor dem ersten Kreisbogen (vgl. Abb. 5-20). Diese Differenz tritt weder bei Leitschienen noch bei Tempolimite 100 km/h auf und ist demnach das Resultat des kombinierten Einflusses der hohen Baken als Leiteinrichtung und einer Tempolimite von 80 km/h.

Die Standardabweichungen der mittleren Fahrzeugachse sind unabhängig von der Tempolimite nahezu konstant und nehmen gegen Ende der Überleitung geringfügig ab.

7.4.1.6. Vergleiche mit ausländischen Ergebnissen

Die im Bereich der Überleitung gewonnenen Ergebnisse sind nur bedingt mit den Ergebnissen aus der betrachteten Literatur vergleichbar. In den meisten Fällen findet im Bereich der Überleitung eine Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 60 km/h statt. Zum Spurverhalten konnten aus dem Literaturstudium keine Angaben gewonnen werden.

Auch bei der Untersuchung in [30, (1984)] gilt eine zulässige Geschwindigkeit von 60 km/h. Die Ergebnisse der untersuchten Überleitung mit der *Betriebsform 4+0* sind jedoch qualitativ vergleichbar mit denen der Untersuchungsstrecke SG1. Die beiden Fahrstreifen werden in dieser Untersuchung nicht getrennt betrachtet. Ausgehend von einer V_m von ca. 73.0 km/h, in einer Entfernung von ca. 171 m bis zur Überleitung (bei Tempolimite 80 km/h), wird die mittlere Geschwindigkeit bis zum Beginn der Überleitung auf ca. 67.4

km/h reduziert. Zu beachten ist, dass ca. 75 m vor der Überleitung Tempolimite 60 km/h signalisiert wurde. Zum Vergleich bei SG1: im QS5, ca. 125 m bis zur Überleitung (bei Tempolimite 80 km/h) $V_m = 77.3$ km/h, zum Beginn der Überleitung in QS6 (bei Tempolimite 80 km/h) $V_m = 74.7$ km/h. In der Überleitung aus [30] findet keine nennenswerte Geschwindigkeitsänderung mehr statt (bei SG1 wurde noch um ca. 5 km/h verzögert).

Parallel dazu wird in [30] auch die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ reduziert. Im Bereich vor der Überleitung verzögern die schnell fahrenden Fahrzeuge deutlich um ca. 10 km/h auf ca. 79 km/h. In der Überleitung sinkt die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ weiter um ca. 2 km/h. Dieses Verhalten hat eine deutliche Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung zu Folge. Im Betrachteten Abschnitt verringern sich die Standardabweichungen von ca. 16.1 km/h auf 10.0 km/h. Die geforderten 60 km/h wurden zu keiner Zeit, weder durch die mittlere Geschwindigkeit, noch durch die Geschwindigkeit $V_{85\%}$, eingehalten. Auch an der Untersuchungsstrecke SG1 kommt es zu einer deutlichen Abnahme der Standardabweichungen, wenn auch nicht in ganz so markanter Form. Die grössere Differenz kann jedoch mit den, durch Tempolimite 60 km/h bedingten, deutlich niedrigeren Geschwindigkeiten in der Überleitung begründet werden.

Eine Untersuchung der Betriebsform 3+1 wurde in [1, (1994)] durchgeführt. Diese ist qualitativ mit den Versuchen an SG2 und AG1 vergleichbar. Eine Betrachtung findet nur für den Überholfahrstreifen statt, welcher auf die Fahrbahn des Gegenverkehrs verschwenkt wird. Bei 22 Testfahrten ergab sich, im Bereich von 200 m vor der Überleitung bis zu ihrem Beginn, eine Abnahme der mittleren Geschwindigkeit von ca. 104 km/h auf ca. 81 km/h. Im weiteren Verlauf der Überleitung wurde die Geschwindigkeit im Durchschnitt um 6 km/h auf ca. 75 km/h reduziert. Wiederum muss beachtet werden, dass ca. 90 m vor der Überleitung die zulässige Geschwindigkeit von 80 km/h auf 60 km/h begrenzt wurde. Die in der Überleitung und in ihrem Vorfeld zulässigen Höchstgeschwindigkeiten wurden auch hier weit überschritten. Der Vergleich mit den Untersuchungsstrecken SG2 und AG1 zeigt, dass auch hier der Hauptteil der Geschwindigkeitsreduktion vor der Überleitung vollzogen wird.

7.4.1.7. Folgerungen zum Einfluss der Tempolimite

In den Folgerungen zum Einfluss der Tempolimite im Zufahrtsbereich (vgl. 7.1. und 7.3.1.6.) sind entsprechende Anforderungen an die Gestaltung angegeben. Für den Überleitungsbereich selbst sind folgende Überlegungen zu berücksichtigen:

Im Einleitungsbereich der Baustelle treten infolge Verschwenkung/Überleitung der Fahrstreifen Querbeschleunigungen und entsprechende Reibungsbeanspruchungen in radialer Richtung auf. Fahrzeugverzögerungen und -beschleunigungen in Längsrichtung erhöhen die Reibungsbeanspruchung zusätzlich.

- Die Geschwindigkeitsanpassung sollte deshalb bereits vor diesem kritischen Bereich weitgehend abgeschlossen sein, die Geschwindigkeiten sollten nicht weiter absinken, abrupte Bremsungen sind zu vermeiden.
- Das Geschwindigkeitsniveau sollte an die signalisierte Tempolimite und an die Geometrie der Überleitung angepasst sein.
- Zudem sollten die Geschwindigkeiten homogen verteilt und entlang der Überleitung ähnlich gross sein. Erhöhung der Streuung gegenüber jener am Ende der Zufahrt deuten auf Unklarheiten in der optischen Führung hin.

Die Forderung nach Homogenität gilt sinngemäss auch für die Spurverteilung. Demgegenüber ist das Einschneiden der Fahrzeugbahnen auf die Innenseite des Einleitungsbogens der Mittelstreifenüberfahrt - in an betracht der kleinen Überleitungswinkel und kurzer Kreisbogen - in einem gewissen Ausmass üblich³⁴. Bei der Fahrt entlang der Überleitung ist die Spurtreue bzgl. Fahrstreifenmitte von Bedeutung. Grössere und in der Richtung wechselnde Abweichungen vom „idealen“ Spurverlauf weisen (vor allem auf überbreiten Fahrstreifen) auf sogenannten Schwimmeffekt hin und können als Unsicherheiten in der Linienführung gedeutet werden. Hierzu bietet sich als Quantifizierungsgrösse die in 5.1.2. beschriebene Gesamtverschiebung der gemittelten Fahrzeugachsen an.

Unter Berücksichtigung obiger Überlegungen führt die Analyse des Geschwindigkeits- und Spurverhaltens im Überleitungsbereich zu folgenden Folgerungen:

³⁴ Ungünstig und auf Unsicherheiten der Spurführung hindeutend ist das Abdriften zur Aussenseite des Einleitungsbogens. In solchen Fällen wären anschliessende Korrekturen, verbunden mit deutlicher Erhöhung der Querbeschleunigung nötig [35]. Bezüglich der gemittelten Fahrzeuglagen wurden solche Fahrvorgänge auf keiner Untersuchungsstrecke festgestellt.

Geschwindigkeiten im Überleitungsbereich

Die mittleren Geschwindigkeiten V_m in den Überleitungen liegen bei Tempolimiten 100 km/h (T100) bei ca. 84 km/h, bei Tempolimiten 80 km/h (T80) bei ca. 78 km/h. Die Geschwindigkeitsabnahme gegenüber dem Ende der Zufahrt beträgt in beiden Fällen etwas mehr als 11 km/h. Bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) liegen die Werte in der Überleitung ca. 8,5 km/h höher, die Geschwindigkeitsabnahme ist dabei mit ca. 12 km/h (T100) bzw. 13 km/h (T80) ausgeprägter. In der Überleitung bleiben die V_m - als auch die $V_{85\%}$ - Geschwindigkeiten praktisch unverändert. Dies wird auch in ausländischen Untersuchungen bestätigt. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsstrecken sind klein und dürften primär mit der örtlichen Geometrie der Überleitung zusammenhängen.

Dies bedeutet, dass in der Überleitung die signalisierte Höchstgeschwindigkeit bei T80 von ca. 30% aller Fahrzeuginsassen nicht eingehalten, während sie bei T100 weitgehend eingehalten wird.

Hinsichtlich des Verzögerungsverhaltens bei der Geschwindigkeitsanpassung hat die Tempolimiten keinen Einfluss. Die Geschwindigkeitsabnahme erfolgt bei beiden Tempolimiten grösstenteils vor der Überleitung.

Relative Veränderung der Geschwindigkeiten infolge Tempolimiten

Mit Ausnahme der für die Mittelwertbildung nicht einbezogenen Strecke AG1 haben sich die Veränderungen an allen Messquerschnitten des Überleitungsbereichs als statistisch signifikant erwiesen. Die Herab- oder Heraufsetzung der Tempolimiten bewirkt in der Überleitung eine mittlere Veränderung der Geschwindigkeiten (V_m und $V_{85\%}$) um knapp 6 km/h.

Auch in der Überleitung trifft die Folgerung zu, wonach die erwähnten Veränderungen in keinem Verhältnis zur Differenz der signalisierten Tempolimiten von 20 km/h liegen. Eine überproportionale Beeinflussung der schnell fahrenden Fahrzeuge durch die Änderung der Limite wurde nicht festgestellt.

Die Höhe der Fahrgeschwindigkeiten ist zu einem bedeutenden Teil von der Geometrie der Überleitung abhängig.

Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung

Die Geschwindigkeitsstreuung in der Überleitung ist in der Regel nur noch leicht kleiner als am Ende der Zufahrt. Die Differenz beträgt bei beiden Tempolimiten ca. 1 km/h. Entlang der Überleitung bleiben die Standardabweichungen praktisch konstant. Der Mittelwert der Standardabweichungen in der Überleitung beträgt bei Tempolimiten 80 km/h ca. 9 km/h. Bei Tempolimiten 100 km/h ist er um knapp 1 km/h kleiner. Das lässt den Rückschluss zu, dass die Tempolimiten keinen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Geschwindigkeitsstreuung hat.

In der Überleitung findet unabhängig von der Tempolimiten praktisch keine Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung mehr statt. Verglichen mit anderen Einflussgrössen (z.B. die Art der Leiteinrichtung) ist der Einfluss der Tempolimiten auf die Geschwindigkeitsstreuung untergeordnet.

In ausländischen Untersuchungen wird auch von einer deutlichen Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung in der Überleitung, im Zusammenhang mit überproportionaler Abnahme der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) berichtet. Diese Erkenntnis bezieht sich allerdings auf Überleitungen, die auf 60 km/h herabsignalisiert waren.

Homogenität der Spurverteilung

Auf allen Untersuchungsstrecken zeigen sich deutliche Abweichungen von der Fahrstreifenachse (Kurvenschneiden oder Ausholen). Die Abweichungen bzw. die aufsummierten Gesamtverschiebungen der mittleren Fahrzeugachse treten unabhängig von der Tempolimiten etwa im gleichem Masse auf. Dort wo dieser Grundsatz nicht zutrifft, werden die Abweichungen primär durch die Art der Leiteinrichtung und die örtliche Geometrie beeinflusst.

Die Standardabweichungen der mittleren Fahrzeugachse sind unabhängig von der Tempolimiten nahezu konstant und nehmen gegen Ende der Überleitung geringfügig ab.

Die Spurstreuung und die Abweichungen von der Fahrstreifenmitte in der Überleitung sind von der Tempolimiten nicht abhängig. Die Messergebnisse deuten jedoch auf Einflüsse der Leiteinrichtungen hin.

7.4.2. Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung

Der Einfluss einer stationären Geschwindigkeitsüberwachung bei Tempolimiten 80 und 100 km/h kann anhand der Ergebnisse der Untersuchungsstrecke SG1 analysiert werden. Die Radarkabine wurde gut sichtbar auf Höhe des Messquerschnitts QS5, ca. 120 m vor der Überleitung aufgestellt und ca. 520 m zuvor angekündigt. Analysiert werden die Veränderungen im Geschwindigkeits- und Spurverhalten im Vergleich der Zustände ohne und mit Überwachung. Bei Geschwindigkeiten werden die drei Messquerschnitte in der Überleitung sowie der letzte Messquerschnitt der Zufahrt (QS5 bis QS8) betrachtet. Beim Spurverhalten ist es der Überleitungsbereich (0 m bis 90 m).

7.4.2.1. Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m

Die Beurteilung der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den Versuchen ohne und mit Geschwindigkeitsüberwachung erfolgte für die beiden Tempolimiten mit dem T-Test (vgl. 7.2.2.). Als Ergebnis sind in Tabelle 7-35 die Querschnitte mit signifikanten Differenzen, bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit auf dem 1%-Niveau zusammengestellt.

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				(Tempo 80)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	5	6	7	8	Überholstreifen ÜS	5	6	7	8
(Tempo 100)	Querschnitt Nr.				(Tempo 100)	Querschnitt Nr.			
Normalstreifen NS	5	6	7	-	Überholstreifen ÜS	5	6	7	8

Tab. 7-35: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung, infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)

Die obige Tabelle zeigt, dass die Differenzen mit einer Ausnahme signifikant sind. In Tabelle 7-36 sind die mittleren Geschwindigkeiten V_m an den Querschnitten QS5 (Ende Zufahrt) und QS6 bis QS8 (Überleitung) für die beiden Tempolimiten zusammengestellt. Die Geschwindigkeiten liegen auch in der Überleitung im Zustand „mit Radar“ deutlich tiefer als im Zustand „ohne Radar“. Die Differenzen ΔV zwischen den beiden Zuständen liegen im Bereich zwischen ca. 1 und 7 km/h, wobei sie auf dem Überholstreifen etwas ausgeprägter sind als auf dem Normalstreifen.

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] bei Tempo 80							
<i>(SG1 1a und 1b)</i>							
Radar	QS	5	6	7	8	$\Delta V_{5/6}$	$\Delta V_{6/8}$
ohne	NS	77.3	74.7	72.1	69.8	2.6	4.9
mit	NS	72.4	72.4	68.7	68.9	0.0	3.5
	ΔV	4.9	2.3	3.4	0.9		
ohne	ÜS	84.2	80.1	79.3	81.0	4.1	-0.9
mit	ÜS	76.7	75.4	74.9	74.3	1.3	1.1
	ΔV	7.5	4.7	4.4	6.7		

V_{mittel} [km/h], ΔV [km/h] bei Tempo 100							
<i>(SG1 1a und 1b)</i>							
Radar	QS	5	6	7	8	$\Delta V_{5/6}$	$\Delta V_{6/8}$
ohne	NS	82.2	77.8	73.8	69.4	4.4	8.4
mit	NS	77.9	73.7	72.4	69.7	4.2	4.0
	ΔV	4.3	4.1	1.4	-0.3		
ohne	ÜS	93.8	83.9	83.6	83.2	9.9	0.7
mit	ÜS	88.0	80.8	78.4	79.1	7.2	1.7
	ΔV	5.8	3.1	5.2	4.1		

Tab. 7-36: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts)

Die Wirkung der Radarkabine in der Längsrichtung manifestiert sich darin, dass die Geschwindigkeitsanpassung bereits 120 m vor der Überleitung (QS5) vollzogen wird. Dementsprechend sind die Geschwindigkeitsabnahmen vor der Einfahrt in die Überleitung ($\Delta V_{5/6}$) deutlich kleiner als im Zustand ohne Radar. Diese Unterschiede sind bei den Versuchen mit Tempolimite 80 km/h ausgeprägter. In der Überleitung wird auf Normalstreifen noch weiter verzögert, im Zustand mit Radar etwas weniger stark als im Zustand ohne Radar; auf dem Überholstreifen ist die Geschwindigkeitsreduktion nur noch geringfügig.

7.4.2.2. Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$

Auch bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge liegen die Geschwindigkeiten im Bereich der Überleitung bei beiden Tempolimiten im Zustand „mit Radar“ deutlich tiefer als im Zustand „ohne Radar“ (vgl. Abbildung 7-4). Die Differenzen ΔV zwischen den beiden Zuständen sind bei $V_{85\%}$ ausgeprägter als bei V_m und liegen im Bereich zwischen ca. 1 und 10 km/h, wobei sie auf dem Überholstreifen wiederum etwas grösser sind als auf dem Normalstreifen.

Die Verläufe der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ sind in der Abbildung 7-4 dargestellt. Bei *Tempolimite 80 km/h* fällt auf, dass im Zustand ohne Radar die zulässige Höchstgeschwindigkeit vor allem auf dem Überholstreifen

massiv überschritten wird. Sie wird nur auf dem Normalstreifen und erst in der zweiten Hälfte der Überleitung eingehalten. Im Zustand mit Radar hingegen liegt die $V_{85\%}$ nur leicht über der Tempolimite (Überholstreifen) oder am bzw. unter Tempolimite (Normalstreifen).

Bei Tempolimite 100 km/h sind die Verläufe weitgehend parallel. Am Ende des Überleitungsbereichs liegen die $V_{85\%}$ -Werte nur ca. 3 bis 5 km/h höher als bei Tempolimite 80 km/h. Auffallend ist bei Tempolimite 100 km/h die starke Verzögerung gegen Ende der Überleitung auf dem Normalstreifen im Zustand ohne Radar. Im Zustand mit Radar wird hier demgegenüber gleichmässig verzögert.

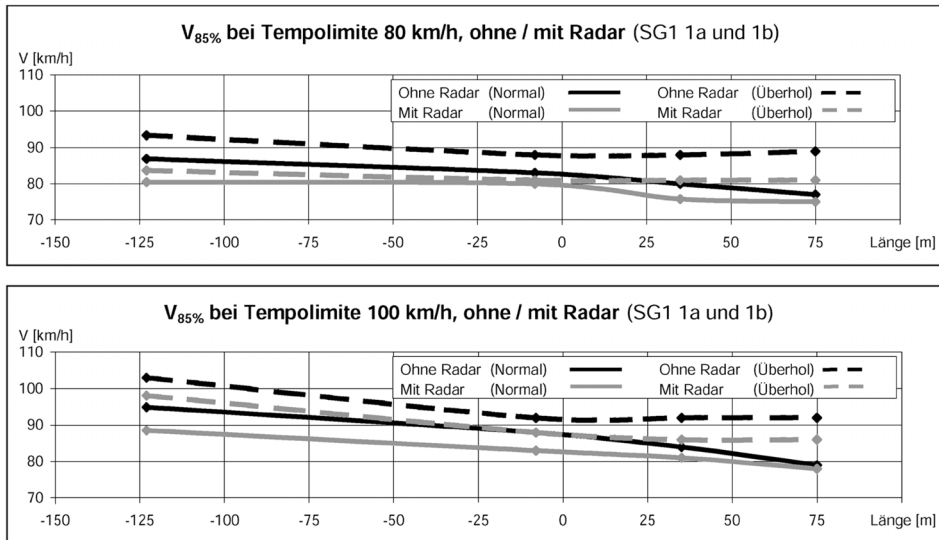


Abb. 7-4: Vergleich des Verlaufs der $V_{85\%}$ im Bereich der Überleitung in den Zuständen ohne und mit Geschwindigkeitsüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten)

7.4.2.3. Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung

In 7.3.2. wurde festgestellt, dass die Radarüberwachung in der Zufahrt zu einer deutlichen Homogenisierung der Geschwindigkeiten führt. Wie aus Tabelle 7-37 ersichtlich, sind die Standardabweichungen im Zustand „mit Radar“ auch im Überleitungsbereich grundsätzlich kleiner als im Zustand „ohne Radar“. Allerdings sind die Unterschiede ΔS deutlich kleiner als in der Zufahrt (in QS5 bis QS8 zwischen 0.2 und 2.3 km/h). Aus Tabelle 7-37 geht auch hervor, dass zwischen Normal- und Überholstreifen Unterschiede bestehen:

Auf dem Normalstreifen erfolgt eine deutliche Homogenisierung noch am Ende der Zufahrt (ΔS im QS5 von 2.7 bzw. 2.4 km/h), danach in der Überleitung sind die Unterschiede deutlich kleiner. Auf dem Überholstreifen ist diese Tendenz nicht vorhanden. Dort nehmen die Unterschiede ΔS gegen Ende der Überleitung eher zu (Tempo 80) oder bleiben etwa gleich (Tempo 100)

Im Bezug auf die Veränderung der Standardabweichungen entlang der Überleitung bestehen zwischen den Zuständen ohne und mit Radar keine wesentlichen Unterschiede: Die S-Werte in den Querschnitten QS6 bis QS8 sind in beiden Fällen und bei beiden Tempolimiten praktisch gleich. Damit wird offensichtlich, dass hier die Geometrie der Überleitung massgebend für die Höhe der Geschwindigkeitsstreuung ist.

Standardabweichung S [km/h] bei Tempo 80 (SG1 1a und 1b)							
Radar	QS	5	6	7	8	$\Delta S_{5/6}$	$\Delta S_{6/8}$
ohne	NS	12.3	8.4	8.5	9.2	3.9	-0.8
mit	NS	9.6	8.2	7.5	7.4	1.4	0.8
	ΔS	2.7	0.2	1.0	1.8		
ohne	ÜS	9.4	7.5	7.8	8.7	1.9	-1.2
mit	ÜS	8.1	6.2	6.4	6.4	1.9	-0.2
	ΔS	1.3	1.3	1.4	2.3		

Standardabweichung S [km/h] bei Tempo 100 (SG1 1a und 1b)							
Radar	QS	5	6	7	8	$\Delta S_{5/6}$	$\Delta S_{6/8}$
ohne	NS	13.2	10.7	10.4	10.3	2.5	0.4
mit	NS	10.8	9.6	9.2	10.6	1.2	-1.0
	ΔS	2.4	1.1	1.2	-0.3		
ohne	ÜS	9.2	8.8	9.0	8.7	0.4	0.1
mit	ÜS	9.6	7.3	7.6	7.4	2.3	-0.1
	ΔS	-0.4	1.5	1.4	1.3		

Tab. 7-37: Gegenüberstellung der Standardabweichungen im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts)

7.4.2.4. Einfluss auf das Spurverhalten

Wie in 5.1.2. dargelegt können bezüglich der Geschwindigkeitsüberwachung (ohne / mit Radar) bei beiden Tempolimiten keine Unterschiede in der mittleren Lage der Fahrzeugachse festgestellt werden (vgl. Abbildungen 5-8 und 5-9).

Die folgende Tabelle zeigt, dass auch die Unterschiede (Δ) bei den Standardabweichungen der Spurverteilung auf beiden Fahrstreifen und unabhängig vom Tempolimit weitgehend unter der Messgenauigkeit liegen. Ein Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung auf die Spurtreue kann also nicht festgestellt werden.

Standardabweichungen [m] bei Tempo 80 (Versuche SG1 1a und 1b)					
Radar	QS	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Δ Abw.
	FS-Breite [m]	3.90	3.95	4.05	
ohne	NS	0.27	0.27	0.23	0.26
mit	NS	0.25	0.26	0.22	0.24
	Δ	0.02	0.01	0.01	0.01
	FS-Breite [m]	4.00	4.00	4.00	
ohne	ÜS	0.23	0.23	0.31	0.26
mit	ÜS	0.23	0.22	0.29	0.25
	Δ	0.00	0.01	0.02	0.01

Standardabweichungen [m] bei Tempo 100 (Versuche SG1 2a und 2b)					
Radar	QS	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Δ Abw.
	FS-Breite [m]	3.90	3.95	4.05	
ohne	NS	0.28	0.30	0.25	0.28
mit	NS	0.27	0.30	0.27	0.28
	Δ	0.01	0.00	-0.02	0.00
	FS-Breite [m]	4.00	4.00	4.00	
ohne	ÜS	0.27	0.28	0.33	0.29
mit	ÜS	0.25	0.24	0.31	0.27
	Δ	0.02	0.04	0.02	0.03

Tab. 7-38: Gegenüberstellung der Standardabweichungen der Spurverteilung im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts)

7.4.2.5. Folgerungen zum Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung

Die für den Zufahrtbereich festgestellte positive Wirkung der Geschwindigkeitsüberwachung (vgl. 7.3.2.3) ist auch in der Überleitung vorhanden:

Die mittleren Geschwindigkeiten liegen signifikant tiefer als im Zustand ohne Radarüberwachung (auf Normalstreifen um ca. 2.0 km/h, auf Überholstreifen um ca. 4.5 km/h). Zum Vergleich bewirkt die Senkung der Tempolimite um 20 km/h auf beiden Fahrstreifen eine Geschwindigkeitsreduktion in der Überleitung um knapp 6 km/h.

Die Radarüberwachung bewirkt auch bei der Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge die Einhaltung der signalisierten Tempolimite von 80 km/h in der Überleitung.

Von Bedeutung ist auch,

dass die Radarüberwachung zu einer frühzeitigeren und (aufgrund der Erkenntnisse in [23] eher überraschend) auch gleichmässigeren Geschwindigkeitsanpassung führt.

Bei den Versuchen ergab sich auch bis zum Ende des Messbereichs (also ca. 200 m nach der Radarkabine) kein Anstieg der Geschwindigkeiten. Dies hängt auch mit der Geometrie der Überleitung (Verschwenkungsradien, Breiten usw.) zusammen.

Die Standardabweichungen der Geschwindigkeitsstreuung sind im Zustand mit Radarüberwachung auch im Überleitungsbereich grundsätzlich kleiner als im Zustand ohne Überwachung. Allerdings ist der Homogenisierungseffekt deutlich kleiner als in der Zufahrt.

Hinsichtlich des Spurverhaltens konnte keine Wirkung der Geschwindigkeitsüberwachung ausgewiesen werden.

7.4.3. Einfluss der Leiteinrichtungen

In diesem Abschnitt erfolgt die Analyse des Einflusses der verschiedenen Leiteinrichtungen anhand der Ergebnisse der Untersuchungsstrecken SG2, ZG1 sowie als Referenz SG1 und AG1. Bei ZG1 und SG2 sind direkte Vergleiche möglich, weil dort bei den Versuchen die Leiteinrichtungen variierten.

Bei SG2 (Betriebsform 3+1) wurden hohe Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken verwendet und zusätzlich kamen blinkende Abweispfeile in Hochlage zum Einsatz (vgl. Abbildungen 2-4 bis 2-6). Einbezogen werden die Daten auf dem Überholfahrstreifen.

In ZG1 wurden die hohen Baken zusätzlich mit Lauflichtern versehen, dafür fehlten die blinkende Abweispfeile. Da es sich bei ZG1 um eine Baustelle mit der Betriebsform 4+0 handelt, werden sowohl die Daten für den Überhol-, als auch für den Normalfahrstreifen betrachtet.

Bei SG1 (Betriebsform 4+0) waren die Baken beidseitig aufgestellt und die optische Führung war durch eine, hinter den Baken verlegte Baustellenleitschranke aus Metall sowie durch blinkende Abweispfeile in Hochlage (aber ohne Lauflichter auf den Baken) unterstützt (vgl. Abbildung 2-7). Hier können die Daten für den Überhol- und für den Normalfahrstreifen betrachtet werden.

Bei AG1 (Betriebsform 4+2 bzw. 4+1) waren die hohen Baken nur auf der rechten Seite der Überleitung aufgestellt, links befand sich eine niedrige Baustellenleitschranke aus Metall mit aufgesetztem Kastenprofil in Hochlage (vgl. Abbildungen im ANHANG 3.4). Zusätzlich kamen blinkende Abweispfeile in Hochlage (aber keine Lauflichter auf den Baken) zum Einsatz. Hier werden nur Daten für den Überholfahrstreifen einbezogen.

Die Versuche wurden in SG1 und SG2 mit den Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h durchgeführt; in AG1 und ZG1 können lediglich Versuche mit 80 km/h berücksichtigt werden. Für die erwähnten, im Vordergrund stehenden, direkten Vergleiche zwischen SG2 und ZG1 ist eine Betrachtung nur bei Tempolimit 80 km/h möglich. Aus diesem Grund konzentrieren sich die Betrachtungen auf den einzelnen Strecken sowie der Vergleich zwischen den Strecken auf Versuche mit dieser Tempolimit.

In Tabelle 7-39 befindet sich eine Übersicht der für die Analyse einbezogenen Versuche. Die für Direktvergleiche im Vordergrund stehenden Leiteinrichtungen sind dabei grau unterlegt.

Versuch	Merkmale										
	Tempolimit 80 km/h	Tempolimit 100 km/h	Normal- fahrstreifen	Überhol- fahrstreifen	hohe Baken, beidseitig	hohe Baken, einseitig	Leitschiene mit niedrigen Baken	blinkende Abweispfeile	Lauflichter auf Baken	zusätzliche Leitschranke	Leitschranke mit Kastenprofil
SG1 1a	x		x	x	x					x	
SG2 1a	x			x	x			x			
SG2 1b	x			x			x	x			
SG2 2a		x		x	x			x			
SG2 2b		x		x			x	x			
ZG1 1a	x		x	x	x				x		
ZG1 1b	x		x	x			x				
AG1 1a	x			x			x	x			x

Tab. 7-39: Merkmale der für die Analyse einbezogenen Überleitungsbereiche

Im Folgenden findet zuerst eine Untersuchung der einzelnen Strecken unter Berücksichtigung der statistischen Signifikanz (SG2 und ZG1) statt. Anschliessend werden die gewonnenen Ergebnisse miteinander sowie mit ausländischen Untersuchungen verglichen.

7.4.3.1. Einfluss der Leiteinrichtungen in der Überleitung auf SG1

Für die Überleitung in SG1 werden die Verläufe der mittleren Geschwindigkeit und der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge, die Geschwindigkeitsstreuung sowie das Spurverhalten beurteilt. Einbezogen sind die Ergebnisse für den Überholfahrstreifen im Versuch mit hohen Baken bei Tempolimit 80 km/h (SG1 1a). Betrachtet werden die Querschnitte der Überleitung (QS6 bis QS8) sowie der Querschnitt QS5, ca. 123 m vor Beginn der Überleitung. Die Öffnungslänge der Mittelstreifenüberfahrt hat eine Länge von 100 m.

- Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m

Im betrachteten Streckenabschnitt treten deutliche Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit auf (vgl. Tab. 5-6). Vor der Überleitung findet eine markante Verzögerung statt. Die mittlere Geschwindigkeit sinkt zwischen den Messquerschnitten QS5 und QS6 von 84.2 km/h um 4.1 km/h auf 80.1 km/h. In der Überleitung variiert die Geschwindigkeit nur geringfügig (Mittelwert von ca. 80.1 km/h). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird im Querschnitt QS5 deutlich und in den Querschnitten QS6 und QS8 geringfügig überschritten. Nur im Messquerschnitt QS7 liegt die mittlere Geschwindigkeit knapp unter 80 km/h.

- Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$

Analog dazu nimmt auch die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge noch stärker ab. Während im Querschnitt QS5 die $V_{85\%}$ noch 93.3 km/h beträgt, treten im Vorderen Bereich der Überleitung konstant 88.0 km/h auf. Zum letzten Messquerschnitt wird leicht beschleunigt. Die schnell fahrenden Fahrzeuge halten die zulässige Höchstgeschwindigkeit in keinem Querschnitt ein.

- Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung
Parallel zu den Geschwindigkeiten nehmen auch die Standardabweichungen deutlich ab (vgl. Tab. 5-2). Von 9.4 km/h reduziert sich die Streuung auf 7.5 km/h zu Beginn der Überleitung. Im weiteren Verlauf steigt sie jedoch wieder leicht auf 8.7 km/h an.
- Einfluss auf das Spurverhalten
Im Spurverhalten ergeben sich Abweichungen von der Fahrstreifenmitte (vgl. Abb. 5-9). Es wird im Mittel um 0.22 m ausgeholt und die anschließende Kurve um 0.14 m geschnitten. Zum Ende der Untersuchungsstrecke befindet sich die mittlere Lage der Fahrzeuge wieder 0.27 m rechts der Fahrstreifenmitte. Die Gesamtverschiebung der mittleren Fahrzeugachse entlang der Überleitung beträgt somit 0.77 m.
Die Standardabweichung von der mittleren Fahrzeuglage beträgt im Mittel 0.23 m und nimmt zum Ende leicht zu.

Für die Untersuchungsstrecke SG1 bleibt somit festzuhalten, dass eine markante Verzögerung vor der Überleitung stattfindet und dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit durch die Mehrheit der Fahrer nicht eingehalten wird. In der Überleitung ändern sich die Geschwindigkeiten nur noch geringfügig. Neben dem Schneiden des Kreisbogen tritt auch ein deutliches Ausholen auf.

7.4.3.2. Einfluss der Leiteinrichtungen in der Überleitung auf SG2

An der Untersuchungsstrecke SG2 werden die Einflüsse der Leiteinrichtung für Tempolimit 80 km/h (SG2 1a und SG2 1b) und 100 km/h (SG2 2a und SG2 2b) getrennt betrachtet. Der analysierte Streckenabschnitt erstreckt sich von Messquerschnitt QS4 (ca. 160 m vor der Überleitung) über QS5 (Beginn Kreisbogen) und QS6 (Mitte Kreisbogen) bis zu QS7 (Überleitungs-Gerade).

Verglichen werden jeweils die baulichen Ausführung mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken. In allen Versuchen waren blinkende Abweispfeile in Hochlage im Bereich der Überleitung zwischen den beiden Fahrstreifen vorhanden. In einem nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Untersuchung des Spurverhaltens beurteilt. Da der Normalfahrstreifen im Bereich der Überleitung des Überholfahrstreifens in Ausbauzustand und Lage unverändert bleibt, werden die Betrachtungen nur für den Überholfahrstreifen angestellt. Die Öffnungslänge der einstreifigen Mittelstreifenüberfahrt betrug 120 m.

- Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m
Bei *Tempolimit 80 km/h* tritt sowohl bei hohen Baken, als auch bei Leitschienen eine ausgeprägte Verzögerung im betrachteten Bereich auf. Ausgehend von 90.6 km/h im Querschnitt vor der Überleitung, wird *bei hohen Baken* um 10.0 km/h bis zum Querschnitt QS5 verzögert (vgl. Tab. 5-23). In der Überleitung findet eine geringe Reduktion der Geschwindigkeit um 1.1 km/h von 80.6 auf 79.5 km/h statt. Ähnlich verhalten sich die Geschwindigkeiten *bei Leitschienen*. Im Querschnitt QS4 beträgt die mittlere Geschwindigkeit 88.9 km/h. Diese wird bis zum Überleitungsbeginn um 10.9 km/h auf 78.0 km/h verringert. Vom Querschnitt QS5 zu QS6 wird nochmals um 1.0 km/h verzögert. Zum letzten Messquerschnitt der Überleitung wird geringfügig beschleunigt (78.2 km/h). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird bei beiden Leiteinrichtungen erst im Bereich der Überleitung eingehalten.

Die Verläufe ergeben, bei einer 1%igen Irrtumswahrscheinlichkeit (vgl. 7.2.2.), für alle analysierten Querschnitte signifikante Abweichungen des Geschwindigkeitsniveaus der Versuche mit unterschiedlichen Leiteinrichtungen. Die Differenzen liegen zwischen 1.3 und 2.6 km/h, wobei die niedrigeren Geschwindigkeiten ausnahmslos bei der Verwendung von Leitschienen auftreten. Die signifikanten Querschnitte sind in der Tabelle 7-40 im linken Teil dargestellt.

(Tempo 80)	Querschnitt Nr.				(Tempo 100)	Querschnitt Nr.			
Überholstreifen ÜS	4	5	6	7	Überholstreifen ÜS	4	-	-	-

Tab. 7-40: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Leiteinrichtungen an SG2

Für *Tempolimit 100 km/h* ergibt sich ein qualitativ vergleichbarer Geschwindigkeitsverlauf auf einem etwas höheren Geschwindigkeitsniveau (vgl. Tab. 5-24). *Bei hohen Baken* wird zu Beginn der Überleitung, ausgehend von 94.6 km/h, um 10.0 km/h auf 84.6 km/h verzögert. In der Überleitung nimmt die mittlere Geschwindigkeit weiter um 1.0 km/h ab. Analog dazu tritt auch *bei Leitschienen* direkt vor der Überleitung ein Geschwindigkeitsreduktion um 11.7 km/h, von 95.7 auf 84.0 km/h, auf. Zwischen den Querschnitten QS5 bis QS7 wird auch hier nur geringfügig (um 0.7 km/h) verzögert. Bei hohen Baken und Leitschienen wird in jedem Querschnitt die zulässige Geschwindigkeit von 100 km/h eingehalten.

Ein Vergleich der Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 km/h ergab in der Überleitung beim Einsatz von Leitschienen geringfügig kleinere Geschwindigkeiten als bei hohen Baken. Hingegen trat mit einer Differenz von 1.1 km/h im Querschnitt vor der Überleitung (QS4) eine auf dem Niveau 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit (vgl. 7.2.2) signifikant niedrigere Geschwindigkeit bei hohen Baken auf. Die nach T-Test signifikanten Querschnitte sind im rechten Teil der Tabelle 7-40 dargestellt.

- Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$

Auch bei den schnell fahrenden Fahrzeugen findet eine markante Verzögerung vor der Überleitung statt (vgl. Tab. 5-29). Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird bei hohen Baken vor dem Querschnitt QS5 von 101.4 km/h auf 88.0 km/h verzögert. Diese Geschwindigkeit wird auch am letzten Messquerschnitt festgestellt. Bei Leitschienen erfolgt vor der Überleitung eine Geschwindigkeitsreduktion von 99.8 auf 86.0 km/h. In der Überleitung wird abermals um 1.0 km/h verzögert. Die erlaubten 80 km/h werden bei beiden Versuchen ohne Ausnahme überschritten. Ein Vergleich der gefahrenen Geschwindigkeiten zeigt in allen Querschnitten deutlich niedrigere Werte bei der Verwendung von Leitschienen. Die Differenzen steigen von 1.6 km/h im Messquerschnitt QS4 auf 3.0 km/h im Querschnitt QS7 an. Abgesehen vom Wert des letzten Messquerschnitts sind sie demnach ähnlich gross, wie die der mittleren Geschwindigkeit.

Bei Tempolimiten 100 km/h wird die Geschwindigkeit $V_{85\%}$ vor der Überleitung weniger stark reduziert als bei Tempolimiten 80 km/h (vgl. Tab. 5-29). Bei hohen Baken tritt 160 m vor der Überleitung im Querschnitt QS4 noch eine Geschwindigkeit von 104.6 km/h auf. Zu Beginn der Überleitung (QS5) wurde ein Wert von 93.0 km/h und in den Querschnitten QS6 und QS7 jeweils Werte von 93.0 km/h erhoben. Abgesehen von Querschnitt QS5, wo 92.0 km/h gemessen wurden, treten beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken identische Werte auf. Die Tempolimiten von 100 km/h wurden im Messquerschnitt QS4 bei beiden Leiteinrichtungen deutlich überschritten. Logische Folge der grösstenteils identischen Geschwindigkeiten sind keine erkennbaren Differenzen im Verlauf der Untersuchungsstrecke, als Folge der Leiteinrichtungsart, bei Tempolimiten 100 km/h.

- Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung

Unabhängig von Tempolimiten und Leiteinrichtung treten in der Überleitung bei allen Versuchen nahezu gleiche Standardabweichungen von zwischen 7.9 bis 8.3 km/h auf (vgl. Tab. 5-16 und 5-17). Im Vergleich zum Querschnitt direkt vor der Überleitung (QS4) treten unterschiedliche Differenzen auf. Bei Tempolimiten 80 km/h beträgt die Standardabweichung bei hohen Baken 10.0, bei Leitschiene 10.6 km/h. Die Streuung reduziert sich im ersten Querschnitt der Überleitung (QS5) bei Leitschiene deutlicher (-2.8 km/h) als bei hohen Baken (-1.7 km/h). Bei Tempolimiten 100 km/h ist die Situation umgekehrt: Bei Leitschiene erfolgt praktisch keine Homogenisierung (-0.4 km/h), bei hohen Baken tritt sie auf (-2.1 km/h). Dies hängt mit dem Umstand zusammen, dass die Streuung vor der Überleitung bei hohen Baken ($S = 10.3$ km/h) deutlich grösser ist als bei Leitschiene ($S = 8.4$ km/h).

Insgesamt deuten die Ergebnisse in der Überleitung auf einen tendenziell homogeneren Verkehrsablauf bei Leitschienen hin.

- Einfluss auf das Spurverhalten

Die Standardabweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachse nehmen im Verlauf der betrachteten Strecke deutlich ab (vgl. Tabelle 5-31). Sie sind bei der Anordnung mit Leitschiene leicht kleiner als bei hohen Baken.

Auch bei der Abweichung der gemittelten Fahrzeuglage fallen Differenzen auf. Während bei Tempolimiten 100 km/h und beim Einsatz hoher Baken ca. 0.40 m weit ausgeholt wird, fällt das Ausholen bei der Verwendung von Leitschienen mit ca. 0.24 m deutlich geringer aus. Dieser Einfluss ist noch deutlicher bei Tempolimiten 80 km/h ersichtlich: Das Mass des Ausholens fällt bei Leitschienen um mehr als 0.50 m geringer aus als bei hohen Baken. Auch im weiteren Verlauf befinden sich die Fahrzeuge bei Leitschienen ca. 0.26 m näher an der Fahrstreifenachse. Diese Unterschiede fallen auch bei der Betrachtung der Gesamtverschiebung auf. Die Verschiebungen betragen bei hohen Baken 0.89 m bei Tempolimiten 80 km/h und 0.8 m bei Tempolimiten 100 km/h. Bei Leitschienen mit niedrigen Baken ergeben sich Werte von 0.6 m (T80) bzw. 0.73 m (T100).

Zusammenfassend fallen bei Tempolimiten 80 km/h in den Vergleichen die signifikant niedrigeren mittleren Geschwindigkeiten sowie Geschwindigkeiten $V_{85\%}$ bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken auf. Die Differenzen betragen im Durchschnitt ca. 2.0 km/h (V_m) bzw. ca. 2.2 km/h ($V_{85\%}$). Bei Tempolimiten 100 km/h kann für die mittlere Geschwindigkeit im Bereich der Überleitung tendenziell ein vergleichbares Ergebnis festgestellt werden. Es treten jedoch nur geringe Differenzen zwischen den Versuchen auf. Für die schnell fahrenden Fahrzeugen kann bei Tempolimiten 100 km/h kein Einfluss der Leiteinrichtung beobachtet werden. Bei der Betrachtung des Spurverhaltens fallen jedoch geringere Abweichungen beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken, als bei der Verwendung von hohen

Baken auf. Dieser positive Effekt ist bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h besonders deutlich.

7.4.3.3. Einfluss der Leiteinrichtungen in der Überleitung auf ZG1

Anders als bei der Untersuchungsstrecke SG2 (Betriebsform 3+1) kann bei der Strecke ZG1 (Betriebsform 4+0) auch der Normalfahrstreifen in den Vergleich mit einbezogen werden. Dies geschieht anhand der Ergebnisse der Versuche mit hohen Baken (ZG1 1a) und Leitschienen mit niedrigen Baken (ZG1 1b). Im Versuch ZG1 1a waren die hohen Baken zusätzlich mit Lauflichtern versehen.

Die analysierten Messquerschnitte befinden sich kurz vor der Überleitung (QS5), zu Beginn des Kreisbogens (QS6), in der Mitte des Kreisbogens (QS7) und in der Mitte der Überleitungs-Geraden (QS8). Der Querschnitt QS5 befindet sich nur 49 m vor der Überleitung und ist bzgl. seiner Lage mit jenem bei der Strecke SG2 (160 m vor der Überleitung) nicht vergleichbar.

Es werden die Einflüsse der Leiteinrichtungen untersucht, indem jeweils die mittleren Geschwindigkeiten, die Geschwindigkeiten $V_{85\%}$, die Standardabweichungen sowie das Spurverhalten in den Versuchen mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken verglichen werden. In allen Versuchen galt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.

- Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m

Die an anderen Untersuchungsstrecken festgestellte markante Verzögerung vor der Überleitung findet auch an der Strecke ZG1 statt. Sie tritt jedoch nicht zwischen dem letzten Querschnitt vor der Überleitung (QS5) und dem Beginn der Überleitung (QS6) auf, sondern aufgrund der Lage der Querschnitte zwischen den Messquerschnitten QS4 und QS5. Analog zu den übrigen Messstrecken findet die Untersuchung an dem Querschnitt vor der Überleitung und den Messquerschnitten in der Überleitung statt.

Nachdem bereits vor dem Querschnitt QS5 markant verzögert wurde, tritt *auf dem Normalfahrstreifen* zwischen QS5 und dem ersten Querschnitt der Überleitung (QS6) eine leichte Beschleunigung (1.2 km/h bei hohen Baken; 0.4 km/h bei Leitschienen) auf (vgl. Tab. 5-39). In der Überleitung selbst wird bei hohen Baken deutlicher verzögert (von 82.1 km/h auf 78.3 km/h) als bei Leitschienen (von 83.8 km/h auf 81.2 km/h). Im gesamten Betrachtungsraum treten bei Leitschiene höhere Geschwindigkeiten als bei hohen Baken auf. Die Differenzen variieren zwischen 0.3 km/h im QS7 und 2.9 km/h im QS8. Ein T-Test basierend auf einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% (vgl. 7.2.2.) hat ergeben, dass abgesehen von Querschnitt QS7 alle Querschnitte signifikante Differenzen aufweisen. Diese sind für den Normalfahrstreifen in der Tabelle 7-41 links dargestellt.

Normalstreifen NS	Querschnitt Nr.				Überholstreifen ÜS	Querschnitt Nr.			
	5	6	-	8		5	6	7	8

Tab. 7-41: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Leiteinrichtungen an ZG1

Auf dem Überholfahrstreifen findet eine markante Verzögerung vor dem betrachteten Streckenabschnitt statt. Direkt vor der Überleitung (QS5 bis QS6) wird bei hohen Baken um 0.9 km/h und bei Leitschiene um 0.8 km/h leicht verzögert. In der Überleitung wird die mittlere Geschwindigkeit weiter reduziert. Bei hohen Baken sinken die Werte um 4.2 km/h auf 87.4 km/h und bei Leitschienen um 2.2 km/h auf 91.6 km/h. Bei der Verwendung von hohen Baken treten deutlich niedrigere Geschwindigkeiten als bei Leitschiene auf. Die Differenzen nehmen gegen Ende der Überleitung stark zu und können bei 1%iger Irrtumswahrscheinlichkeit in allen Querschnitten als signifikant erachtet werden (Tabelle 7-41 rechts). Bei beiden Anordnungen liegt die V_m deutlich über der zulässigen Tempolimite, vor allem auf dem Überholstreifen.

- Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Geschwindigkeiten der schnell fahrenden Fahrzeuge. Wie bei den mittleren Geschwindigkeiten, tritt auch hier bereits vor dem betrachteten Bereich eine markante Verzögerung auf (vgl. Tab. 5-43). So kommt es *auf dem Normalfahrstreifen* zwischen den Querschnitten QS5 und QS6 erneut zu einer leichten Beschleunigung, um 2.9 km/h bei hohen Baken bzw. 2.8 km/h bei Leitschienen. In der Überleitung tritt eine Verzögerung von 93.0 km/h auf 90.0 km/h bei hohen Baken und von 94.5 km/h auf 92.0 km/h bei Leitschienen auf. Die Geschwindigkeiten der schnell fahrenden Fahrzeuge sind bei der Verwendung von hohen Baken in den Querschnitten QS5, QS6 und QS8 wiederum deutlich geringer als bei Leitschienen. Die Differenz beträgt in diesen Querschnitten im Mittel ca. 1.7 km/h.

Noch deutlicher fallen die Unterschiede *auf dem Überholfahrstreifen* aus. Ausgehend von 101.4 km/h bei hohen Baken und 104.6 km/h bei Leitschienen, findet eine kontinuierliche Abnahme der Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge auf. Lediglich von QS7 zu QS8 bei Leitschienen wird leicht beschleunigt. Zum Ende des betrachteten Bereichs resultieren Geschwindigkeiten von 98.0 km/h bei hohen Baken und 103.0 bei Leitschienen. Der Einfluss der Leiteinrichtung ergibt Differenzen von durchschnittlich 3.3 km/h.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit wird durch die schnell fahrenden Fahrzeuge massiv überschritten. Die Abweichungen betragen im Mittel 11.9 km/h auf dem Normalfahrstreifen und 21.8 km/h auf dem Überholfahrstreifen. Insgesamt hält sich weit mehr als die Hälfte aller Fahrzeuglenker nicht an die signalisierte Tempolimit.

- Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung

Anders als bei SG1 und SG2 nehmen bei ZG1 die Streuungen der Geschwindigkeit *auf dem Normalfahrstreifen* im Verlauf der Strecke zu (vgl. Tabelle 5-35). Treten im Querschnitt vor der Überleitung noch Standardabweichungen in Höhe von 9.6 km/h bei Baken und 9.3 km/h bei Leitschienen auf, werden im Messquerschnitt QS8 mit 11.8 km/h bei Baken und 11.0 km/h bei Leitschienen erreicht. Die Differenz zwischen den Versuchen mit unterschiedlichen Leiteinrichtungen schwankt zwischen 0.1 und 0.8 km/h. Hierbei treten bei Leitschienen stets die kleineren Standardabweichungen auf.

Auf dem Überholfahrstreifen ist die Situation anders. Hier variieren die Standardabweichungen um die jeweiligen Mittelwerte von 10.8 km/h bei Baken und 10.1 km/h bei Leitschienen nur wenig und es kann weder eine Abnahme, noch eine Zunahme im Verlauf der Strecke festgestellt werden. Die Werte für den Versuch mit Leitschienen liegen stets unter denen des Versuchs mit hohen Baken, eine signifikante Differenz kann jedoch nur im Querschnitt QS5 ($S = 1.7$ km/h) festgestellt werden.

- Einfluss auf das Spurverhalten

Im betrachteten Bereich treten konstant hohe *Standardabweichungen* von der mittleren Achslage auf (vgl. 5.3.2.). Auf dem Normalfahrstreifen betragen sie im Mittel 0.47 m und sind in der Mitte des Einleitungsbogens auffallend erhöht (hohe Baken 0.53 m, Leitschiene 0.57 m). Auf dem Überholfahrstreifen sind die Standardabweichungen im Mittel kleiner (0.34 m) und nehmen entlang der Überleitung deutlich zu (von ca. 0.28 bis 0.45 m). Dabei ist von Bedeutung, dass in der Überleitung die Breite des Normalstreifens (4.50 m) deutlich grösser war als jene des Überholstreifens (3.80 m). Der Vergleich der Versuche mit unterschiedlichen Leiteinrichtungen ergibt auf dem Normalstreifen niedrigere Standardabweichungen bei der Verwendung von Leitschienen, auf dem Überholstreifen besteht kein Unterschied.

Hinsichtlich *der Abweichung der gemittelten Fahrzeuglage* ergeben sich zwischen den Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede.

Auf dem *Normalfahrstreifen* ist mit beiden Leiteinrichtungen ein deutliches Schneiden und vorheriges Ausholen zu erkennen. Das Schneiden fällt jedoch bei Leitschienen um ca. 0.15 m geringer aus. Allgemein kann eine deutliche Abweichung von der Fahrstreifenachse nach links beobachtet werden. Dies kann durch die bis zu 1.0 m breite Sperrfläche links neben dem Normalfahrstreifen erklärt werden, welche die Fahrer dazu verleitet, weiter links zu fahren. Das Mass der Gesamtverschiebung fällt mit 0.79 m bei Leitschienen um ca. 0.23 m deutlich geringer aus als bei hohen Baken (1.02 m). Anders ausgedrückt: die Führungsfunktion wird durch Leitschiene besser erfüllt als durch hohe Baken.

Entgegengesetzt zum Normalfahrstreifen findet *auf dem Überholstreifen* eine deutliche Abweichung von der Fahrstreifenachse nach rechts statt. Dadurch bleiben die Fahrzeuge trotz Kurvenschneidens immer rechts der Fahrstreifenachse. Die Gesamtverschiebung beträgt bei hohen Baken 0.68 m und bei Leitschienen 0.48 m. Auch für den Überholstreifen kann also ein homogenere Spurtreue bei der Verwendung von Leitschienen festgestellt werden.

Die Ausführung der Leiteinrichtung beeinflusst sowohl den Geschwindigkeitsverlauf, als auch die Geschwindigkeitsverteilung. So treten bei der Verwendung von Leitschienen höhere Geschwindigkeiten auf, bei hohen Baken wird jedoch stärker verzögert. Dies gilt für beide Fahrstreifen sowie für die mittlere Geschwindigkeit und die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge. Darüber hinaus bewirken Leitschienen eine geringere Geschwindigkeitsstreuung. Demnach wird bei der Verwendung von Leitschienen zwar schneller gefahren, es kommt jedoch zu einem homogenen Verkehrsfluss.

Die relativ grosse Fahrraumbreite (beide Fahrstreifen und Trennstreifen dazwischen) in der Überleitung hat eine ungewöhnlich grosse Spurstreuung zur Folge. Zudem kommt es zu einer deutlichen Gesamtverschiebung, vor allem auf dem (überbreiten) Normalstreifen. Allgemein ergeben sich bei Leitschienen kleinere Abweichungen von der Fahrstreifenachse als bei hohen Baken.

7.4.3.4. Einfluss der Leiteinrichtungen in der Überleitung auf AG1

Für die Untersuchungsstrecke AG1 werden die Ergebnisse auf dem Überholfahrstreifen (Versuch AG1 1a) einbezogen. Ein direkter Vergleich kann nicht vorgenommen werden, weil hier wie bei Strecke SG1 nur eine Art der Leiteinrichtung vorlag. Es werden die Querschnitte 252 m vor der Überleitung (QS5), zu Beginn des Kreisbogens (QS6), am Ende des Kreisbogens (QS7) und zu Beginn des Gegenbogens (QS8) betrachtet und zwar bei der Anordnung mit Tempolimit 80 km/h. Als Leiteinrichtung waren auf der rechten Seite hohe Baken mit Lauflichtern und auf der linken Seite eine Metallleitschranke mit aufgesetztem Kastenprofil installiert. Zusätzlich kamen blinkende Abweispfeile in Hochlage zum Einsatz. Die Öffnungslänge der Mittelstreifenüberfahrt betrug an dieser Untersuchungsstrecke nur 86,0 m.

- Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m
Im Verlauf der mittleren Geschwindigkeit kann man eine kontinuierliche Abnahme der Geschwindigkeit feststellen (vgl. Tab. 5-47). Ausgehend von 88,1 km/h im QS5 vor der Überleitung findet bis zum QS6 eine markante Verzögerung um 10,5 km/h auf 77,6 km/h statt. Im weiteren Verlauf der Überleitung wird die mittlere Geschwindigkeit noch um 2,1 km/h auf 74,5 km/h reduziert. Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird demnach erst in der Überleitung unterschritten.
- Einfluss auf die Geschwindigkeit $V_{85\%}$
Ein ähnliches Verhalten tritt bei den schnell fahrenden Fahrzeugen auf (vgl. Tab. 5-48). Auch hier findet eine markante Reduzierung der Geschwindigkeit vor der Überleitung statt. Die Fahrzeuge bremsen von 96,6 km/h um 9,6 km/h auf 87,0 km/h ab. Die Geschwindigkeitsabnahme in der Überleitung beträgt nur noch 1,0 km/h. Die zulässige Geschwindigkeit wird somit in jedem Querschnitt überschritten.
- Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung
Gegenläufig zu den Geschwindigkeiten, nimmt die Streuung im Verlauf der betrachteten Strecke zu (vgl. Tab. 5-46). Im Bereich direkt vor der Überleitung kann eine Zunahme um 1,0 km/h von 9,7 km/h auf 10,7 km/h verzeichnet werden. Innerhalb der Überleitung wächst die Standardabweichung um weitere 0,8 km/h auf 11,5 km/h.
- Einfluss auf das Spurverhalten
Die *Standardabweichungen* der mittleren Fahrzeugachse weichen im Verlauf der Strecke nur gering vom Mittel (0,32 m) ab. Es kann jedoch ein deutliches schneiden sowohl des ersten, als auch des beginnenden, zweiten Kreisbogens beobachtet werden. Der erste Kreisbogen wird dabei um ca. 0,32 m (nach links) geschnitten. Am Anfang des zweiten Kreisbogens befinden sich die Fahrzeuge 0,18 m rechts der Fahrstreifenachse. Es kommt somit zu einer *Gesamtverschiebung* von 0,50 m. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass in der Überleitung nur ein schmaler Mittelstreifen überfahren werden musste.

An der Untersuchungsstrecke AG1 tritt eine markante Verzögerung vor der Überleitung auf. In der Überleitung wird die Geschwindigkeit nur noch geringfügig reduziert. Dies gilt sowohl für die mittlere Geschwindigkeit, als auch für die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge. Nur die mittlere Geschwindigkeit in der Überleitung liegt unter den signalisierten 80 km/h. Beim Spurverhalten kommt es sowohl am ersten Kreisbogen, als auch am anschließenden Gegenbogen zu deutlichem Kurvenschneiden. Die Spurstreuung in der Überleitung ist nur geringfügig kleiner als vor der Überleitung.

7.4.3.5. Vergleiche zwischen den Überleitungen bezüglich Geschwindigkeitsverhalten

Der Vergleich erfolgt in erster Linie zwischen den Versuchen mit gleicher Betriebsform und Geschwindigkeitsregime. Es wird zuerst der Einfluss auf die gefahrenen Geschwindigkeiten und anschließend der Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung betrachtet.

Bei diesen Vergleichen müssen auch die geometrischen Unterschiede in der Gestaltung der Überleitung einbezogen werden. Hierzu zählen insbesondere die Öffnungslänge der Überleitung leitschrankenfreier Raum im Mittelstreifen), sowie die jeweilige Fahrstreifenbreite. Diese Daten sind in der Tabelle 7-42 dargestellt.

Überleitungsgeometrie			
Strecke	Länge der Überleitungsöffnung [m]	Fahrstreifenbreite in der Überleitungsmitte [m]	
		NS	ÜS
SG1	100	4.05	4.00
SG2	120		4.20
ZG1	135	4.50	3.78
AG1	86		3.65

Tab. 7-42:
Geometriedaten der Überleitungen der Untersuchungsstrecken

Die Geometriedaten weichen vor allem für die Untersuchungsstrecke AG1 deutlich ab. Die Länge der Überleitung beträgt hier nur 86 m. Dies ist auf die dort vorhandene reduzierte Mittelstreifenbreite zurückzuführen. Hinsichtlich des Überfahrwinkels ist die Überleitung vergleichbar mit jenen auf den anderen Strecken. Auch bei den Fahrstreifenbreiten treten Unterschiede auf. Die Breite der Überholfahrstreifen (ÜS) liegt bei den Strecken ZG1 und AG1 deutlich unter 4.00 m, bei ZG1 mit zweistreifiger Überleitung verjüngt sich die Breite im ÜS noch vor dem Ausleitungsbogen auf 3,35 m. Die Breiten bei AG1 und ZG1 entsprechen nicht den Normempfehlungen in [32]. Nach diesen soll die Überleitung die gleiche Breite aufweisen wie in der Zufahrt und die allfällig notwendige Verjüngung soll erst im Bereich des Ausleitungsbogens erfolgen.

- *Veränderungen der Geschwindigkeit infolge der Leiteinrichtung Betriebsform 4+0, Normalfahrstreifen*

Für den Vergleich auf dem Normalfahrstreifen (NS) der zweistreifigen Überleitungen werden die Versuche SG1 1a (hohe Baken vor niedriger Leitschranke) sowie ZG1 1a (hohe Baken) und ZG1 1b (Leitschiene mit niedrigen Baken) herangezogen.

Der Vergleich der beiden Versuche an der Strecke ZG1 hat ergeben, dass im Überleitungsbereich bei Leitschienen durchgehend und grösstenteils auch signifikant höhere Geschwindigkeiten als bei hohen Baken auftreten (vgl. 7.4.3.3.). Bei Leitschiene ergibt sich jedoch ein wesentlich gleichmässigerer Verlauf, als bei hohen Baken.

Beim Vergleich der Versuche der Strecken SG1 und ZG1 mit hohen Baken muss berücksichtigt werden, dass der letzte Messquerschnitt vor der Überleitung nur bedingt in den Vergleich mit einbezogen werden kann. Die Distanz bis zum Überleitungsbeginn variiert bei den Strecken stark. Beträgt der Abstand des Messquerschnitts QS5 bei SG1 123 m, so befindet sich der Querschnitt QS5 bei ZG1 nur 49 m vor der Überleitung. Für den Vergleich stehen somit die drei Messquerschnitte in der Überleitung im Vordergrund.

In der Überleitung wird in beiden Versuchen gleichförmig verzögert. Es fällt jedoch das wesentlich niedrigere Niveau der *mittleren Geschwindigkeiten* auf der Strecke SG1 auf ($\bar{V}_m = 72.2$ km/h), in der Überleitung also durchschnittlich 8.2 km/h langsamer als auf der Strecke ZG1 (vgl. Tab. 7-43). Diese Geschwindigkeitsdifferenz kann nur teilweise durch die in SG1 vorliegende Steigung begründet werden. Einen wesentlichen Einfluss haben ausserdem die grössere Öffnungslänge der Überleitung (135 m gegenüber 100 m) sowie die daraus resultierenden grösseren Kreisbogenradien und der um 0.45 m breitere Fahrstreifen (vgl. Tab. 7-42). Die Kombination dieser Faktoren bewirkt ein deutlich schnelleres Befahren der Überleitung. Ein Einfluss der niedrigen Baustellen-Leitschranke hinter den hohen Baken bei SG1 ist nicht ersichtlich.

V_m [km/h]			QS vor der Überleitung	Querschnitte in der Überleitung			
Strecke	Leiteinrichtung	Tempo		1. QS	2. QS	3. QS	$\bar{\varnothing}$
SG1 NS	hohe Baken	80	77.3	74.7	72.1	69.8	72.2
	ÜS hohe Baken	80	84.2	80.1	79.3	81.0	80.1
SG2 ÜS	hohe Baken	100	94.6	84.6	84.0	83.6	84.1
	hohe Baken	80	90.6	80.6	79.5	79.5	79.9
	Leitschiene	100	95.7	84.0	83.3	83.3	83.5
	Leitschiene	80	88.9	78.0	77.0	78.2	77.7
ZG1 NS	hohe Baken	80	80.9	82.1	80.8	78.3	80.4
	Leitschiene	80	83.4	83.8	81.1	81.2	82.0
ÜS	hohe Baken	80	91.6	90.7	89.5	87.4	89.2
	Leitschiene	80	93.8	93.0	91.6	91.6	92.1
AG1 ÜS	hohe Baken	80	88.1	77.6	76.3	75.5	76.5

Tab. 7-43: Mittlere Geschwindigkeiten im Bereich vor und in der Überleitung

Bei den *Geschwindigkeiten* $V_{85\%}$ können die gleichen Einflüsse wie bei V_m beobachtet werden (SG1 $\bar{V}_{85\%} = 80.0$ km/h; ZG1 $\bar{V}_{85\%} = 91.7$ km/h), auf einem entsprechend höheren Geschwindigkeitsniveau. Im Mittel beträgt die Differenz zwischen den Geschwindigkeiten im Versuch SG1 1a und ZG1 1a knapp 12.0 km/h, wobei die niedrigeren Geschwindigkeiten erneut auf der Strecke SG1 gefahren werden.

Betriebsform 4+0, Überholfahrstreifen

Für den Überholfahrstreifen (ÜS) bei der Betriebsform 4+0 werden erneut die Ergebnisse der Untersuchungsstrecken SG1 und ZG1 verglichen. Der direkte Vergleich der beiden Leiteinrichtungen an der Untersuchungsstrecke ZG1 hat gezeigt, dass auch auf dem ÜS in der Überleitung bei hohen Baken signifikant niedrigere Geschwindigkeiten als bei der Verwendung von Leitschienen auftreten (vgl. 7.4.3.3.).

Vergleicht man die Ergebnisse für die Versuche *mit hohen Baken* der Untersuchungsstrecken SG1 und ZG1 so, fallen wiederum markant grössere *mittlere Geschwindigkeiten* bei der Strecke ZG1 auf. Diese liegen mit durchschnittlich 89.2 km/h um 9.1 km/h über dem Mittel der Geschwindigkeiten der Strecke ZG1 (vgl. Tab. 7-43). Die Differenzen zwischen den Untersuchungsstrecken nehmen zum Ende der Überleitung ab. Aus den oben bereits angeführten Gründen konzentriert sich der Vergleich auch auf dem ÜS auf die drei Querschnitte der Überleitung. Während bei SG1 die Werte der mittleren Geschwindigkeit zwischen 79.3 km/h und 81.0 km/h schwanken, kann bei ZG1 eine geringfügige Reduktion von 90.7 km/h auf 87.4 km/h beobachtet werden. Wie schon bei der Analyse des Normalfahrstreifens können auch hier die deutlichen Unterschiede zum Einen auf die Steigung in SG1 zum Anderen jedoch auf die geometrische Gestaltung der Strecken zurückgeführt werden, allerdings ist die Fahrstreifenbreite in ZG1 diesmal nicht grösser, sondern um 0.22 m geringer als bei SG1.

Für die *Geschwindigkeit* $V_{85\%}$ ergibt sich eine ähnliche Situation wie bei V_m . Auf der Strecke SG1 ergeben sich mit durchschnittlich 88.3 km/h um 11.4 km/h geringere Geschwindigkeiten als in der Überleitung der Strecke ZG1. Der Verlauf der Geschwindigkeit schnell fahrender Fahrzeuge ist qualitativ gleich dem der mittleren Geschwindigkeit.

Betriebsform 3+1

Für die Betriebsform 3+1 mit einstreifiger Überleitung erfolgt die Analyse anhand der Versuche an den Untersuchungsstrecken SG2 und AG1. In den entsprechenden, in Tabelle 7-43 aufgeführten Versuchen galt Tempolimit 80 km/h. Bei SG2 hatte der direkte Vergleich gezeigt, dass bei der Verwendung von Leitschienen signifikant niedrigere Geschwindigkeiten auftreten als beim Einsatz von hohen Baken (vgl. 7.4.3.2.).

Beim Vergleich der Versuche mit hohen Baken an den Untersuchungsstrecken SG2 und AG1 gibt es Differenzen bei der Höhe der *mittleren Geschwindigkeiten* V_m . Auf beiden Strecken wird vor der Überleitung markant und in der Überleitung nur noch geringfügig verzögert. Im Mittel liegen die V_m in der Überleitung der Strecke AG1 um 3.4 km/h niedriger als auf der Strecke SG2 (vgl. Tabelle 7-43). Wie bei den vorangegangenen Vergleichen kann auch hier diese Differenz durch die unterschiedlichen geometrischen Bedingungen erklärt werden (vgl. Tab. 7-42). Die um 0.55 m geringere Fahrbahnbreite und die mit 86 m vergleichsweise kurze Überleitungsöffnung haben eine niedrigere Geschwindigkeit zur Folge. Diesen Einfluss kann man auch anhand der *Geschwindigkeit* $V_{85\%}$ nachvollziehen. Hier fällt die Differenz der in der Überleitung gefahrenen Geschwindigkeiten, mit durchschnittlich 1.3 km/h, jedoch wesentlich geringer aus.

Zusammenfassend ergibt der Vergleich der einzelnen Untersuchungsstrecken keinen einheitlichen Einfluss der Leiteinrichtungen. Bei ZG1 traten sowohl auf dem Normalfahrstreifen, als auch auf dem Überholfahrstreifen durchgehend und weitgehend signifikant niedrigere Geschwindigkeiten bei der Verwendung von hohen Baken auf als beim Einsatz von Leitschienen. Dafür sind die Geschwindigkeitsverläufe beim Einsatz von Leitschiene gleichmässiger. Im Gegensatz dazu ergeben sich auf der Untersuchungsstrecke SG2 für den Überholfahrstreifen signifikant niedrigere Geschwindigkeiten beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken.

Diese Diskrepanz kann zurückgeführt werden auf

- die in ZG1 verwendeten Lauflichter auf den hohen Baken (SG1 ohne Lauflichter) und
- die wesentlich grössere Fahrraumbreite in der zweistreifigen Überleitung in ZG1 (bis ca. 10.00 m) als jene bei der einstreifigen Überleitung in SG1 (ca. 4.50 m).

Beim Einsatz von Lauflichtern auf hohen Baken hat vermutlich im Vergleich zu hohen Baken ohne Lauflichter eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung. Ein direkter Nachweis hierfür lässt sich in dieser Untersuchung nicht erbringen. Umgekehrt wird die bei der Strecke SG2 nachgewiesene, geschwindigkeitsdämpfende Funktion der Leitschiene bei grösseren Fahrraumbreiten beeinträchtigt.

Ferner zeigt sich auch ein Einfluss unterschiedlicher Überleitungsgeometrie: Sowohl die Länge der Überleitungsöffnung, als auch die Breite der Fahrstreifen beeinflussen die gefahrenen Geschwindigkeiten. Bei schmaleren Fahrstreifen und kürzeren Überleitungsöffnungen ergeben sich jeweils geringere Geschwindigkeiten.

- *Veränderungen der Standardabweichungen infolge der Leiteinrichtung*

Auch beim Vergleich der Versuche in Bezug auf die Standardabweichungen (S) der Geschwindigkeiten treten wesentliche Differenzen auf. Die entsprechenden Werte sind analog zu den mittleren Geschwindigkeiten in Tabelle 7-44 dargestellt.

S [km/h]			QS vor der Überleitung	Querschnitte in der Überleitung				
Strecke	Leiteinrichtung	Tempo		1. QS	2. QS	3. QS	∅	
SG1 NS	hohe Baken	80	12.3	8.4	8.5	9.2	8.7	
	ÜS	hohe Baken	80	9.4	7.5	7.8	8.7	8.0
SG2 ÜS	hohe Baken	100	10.3	8.2	8.3	8.2	8.2	
	hohe Baken	80	10.0	8.3	8.0	7.9	8.1	
	Leitschiene	100	8.4	8.0	8.0	8.1	8.0	
	Leitschiene	80	10.6	7.8	8.0	8.1	8.0	
ZG1 NS	hohe Baken	80	9.6	10.9	11.2	11.8	11.3	
	Leitschiene	80	9.3	10.4	11.1	11.0	10.8	
	ÜS	hohe Baken	80	11.7	10.3	10.4	10.6	10.4
		Leitschiene	80	10.0	10.3	9.9	10.3	10.2
AG1 ÜS	hohe Baken	80	9.7	10.7	10.6	11.5	10.9	

Tab. 7-44: Standardabweichungen im Bereich vor und in der Überleitung

Betriebsform 4+0

Für die Betriebsform 4+0 werden für den *Normalfahrstreifen* die Ergebnisse der Versuche SG1 und ZG1 gegenübergestellt. Aufgrund der Lage des Messquerschnitts QS5 an der Strecke ZG1, welche einen direkten Vergleich nicht erlaubt, konzentriert sich auch im Folgenden die Analyse auf die Überleitung. Auf der Strecke ZG1 haben sich stets kleinere Streuungen bei der Verwendung von Leitschienen ergeben als bei hohen Baken (vgl. 7.4.3.3.). Beim Vergleich zwischen den Untersuchungsstrecken SG1 und ZG1 kann in beiden Versuchen mit hohen Baken eine leichte Zunahme der Streuung entlang der Überleitung verzeichnet werden (vgl. Tab. 7-44). Im Vorfeld kommt es bei SG1 jedoch zu einer markanten Abnahme der Standardabweichungen, während in ZG1 eine Zunahme festgestellt werden kann. In der Überleitung ergeben sich für SG1 mit einem Mittelwert von 8.7 km/h um durchschnittlich 2.6 km/h geringere Werte. Dies hängt mit den niedrigeren Geschwindigkeiten auf SG1, als Folge der Steigung und der Überleitungsgeometrie (vgl. Tab. 7-42) zusammen.

Ein ähnliches Verhalten kann für den *Überholfahrstreifen* beobachtet werden. Für die *Betriebsform 4+0* werden auch hier die Ergebnisse der Untersuchungsstrecken SG1 und ZG1 in der Überleitung betrachtet. Die Analyse in 7.4.3.3. hatte auch auf dem Überholfahrstreifen niedrigere Werte bei der Verwendung von Leitschienen aufgezeigt als bei hohen Baken. Beim Vergleich der Versuche mit hohen Baken an den Strecken SG1 und ZG1 tritt erneut eine leichte Zunahme der Streuung in beiden Versuchen im Bereich der Überleitung auf. Vor der Überleitung ist diesmal jedoch in beiden Fällen eine Abnahme zu verzeichnen (vgl. Tab. 7-44). Die Differenzen der Standardabweichungen zwischen den zwei Strecken variieren um einen Mittelwert von 2.4 km/h. Geringere Standardabweichungen ergeben sich wiederum für die Untersuchungsstrecke SG1. Die Ursache hierfür ist diesmal vor allem die um 35 m kürzere Länge der Überleitung (vgl. Tab. 7-42) und entsprechend kleinere Kreisbogenradien.

Betriebsform 3+1

Analog kann der Vergleich für den Überholstreifen bei Betriebsform 3+1 anhand der Ergebnisse der Versuche mit hohen Baken an den Strecken SG2 und AG1 durchgeführt werden. Der Vergleich der Leiteinrichtungen an der Strecke SG2 in 7.4.3.2. hat einen tendenziell homogeneren Verlauf bei Leitschienen ergeben. Vergleicht man die Ergebnisse mit hohen Baken der Strecken SG2 und AG1 fällt bei SG2 eine Abnahme der Streuung vor der Überleitung auf (vgl. Tab. 7-44). In der Überleitung kann eine weitere, wenn auch geringe, Reduktion festgestellt werden. Anders gibt sich der Verlauf bei AG1. Hier kommt es sowohl vor der Überleitung, als auch in der Überleitung zu einer geringen Zunahme. Die Differenz zwischen den Versuchen der beiden Strecken beträgt zu Beginn der Überleitung 2.4 km/h und wächst bis zu deren Ende auf 3.6 km/h an. Die geringeren Werte treten hierbei für die Untersuchungsstrecke SG2 auf. In diesem Vergleich ergeben sich demnach die niedrigeren Streuungen für die Untersuchungsstrecke mit dem um 0.55 m breiteren Fahrstreifen und einer um 34 m längeren Überleitung.

Vergleiche der Ergebnisse der einzelnen Untersuchungsstrecken lassen insgesamt erkennen, dass es bei der Verwendung von Leitschienen zu einer etwas homogeneren Geschwindigkeitsverteilung kommt. Dies zeigen die Versuche mit verschiedenen Leiteinrichtungen an den Strecken ZG1 (NS, ÜS) und SG2 (ÜS). Neben der Art der Leiteinrichtung hat auch die Überleitungsgeometrie Einfluss auf die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung. Dieser Einfluss ist jedoch beim Vergleich der Strecken nicht einheitlich. Während die Analyse der Ergebnisse von SG1 und ZG1 (zweistreifige Überleitungen) für den Normalfahrstreifen sowie für den Überholfahrstreifen grössere Abweichungen bei grossen Überleitungslängen ergab, traten beim Vergleich für den Überholfahrstreifen an SG2 und AG1 (einstreifige Überleitungen) gegensätzliche Einflüsse auf. Hier konnten kleinere Streuungen bei langen Überleitungsöffnungen und breiten Fahrstreifen beobachtet werden. Hier sind die Einflüsse der bei ZG1 verwendeten Baken mit aufgesetzten Lauflichtern und der stark unterschiedlichen Fahrtraumbreite nicht

auszuschliessen. Diese führen möglicher Weise zu einer Abnahme der Homogenität und ändern somit das Verhältnis der zum Vergleich herangezogenen Standardabweichungen.

7.4.3.6. Vergleiche zwischen den Überleitungen bezüglich Spurverhalten

Ein Vergleich des Spurverhaltens kann zwischen den Versuchen der Betriebsformen 4+0 und 3+1 bei gleicher Tempolimit durchgeföhrt werden. Bei der Betriebsform 4+0 können die Einflüsse der Leiteinrichtungen anhand der Versuche SG1 1a und ZG1 1a für beide Fahrstreifen betrachtet werden. Die Versuche SG2 1a und AG1 1a liefern die entsprechenden Ergebnisse für den Vergleich des Spurverhaltens auf dem Überholfahrstreifen bei der Betriebsform 3+1. Neben den verschiedenen Leiteinrichtungen und Zusatzelementen muss auch für das Spurverhalten die jeweilige Überleitungsgeometrie mit einbezogen werden. Die charakteristischen Daten können der Tabelle 7-42 entnommen werden.

- *Betriebsform 4+0*

Der direkte Vergleich des Spurverhaltens bei hohen Baken und Leitschienen mit der Betriebsform 4+0 hat für den *Normalfahrstreifen* der Strecke ZG1 bei der Anwendung von Leitschienen kleinere Abweichungen von der Fahrstreifenachse ergeben als bei hohen Baken (vgl. 7.4.3.3.). Zwar findet bei beiden Versuchen ein deutliches Ausholen und Schneiden statt, jedoch ist das Gesamtmass der Verschiebung bei Leitschienen wesentlich geringer. Im Vergleich zu hohen Baken, welche zusätzlich mit Lauflichtern versehen waren, traten bei Leitschienen auch etwas geringe Standardabweichungen der Spurverteilung auf. Leitschienen bewirken demnach eine besser Führung der Fahrzeuge. Der Vergleich der Versuche mit hohen Baken, ZG1 1a und SG1 1a zeigt, dass bei SG1 wesentlich geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse auftreten. Die Gesamtverschiebung ist bei ZG1 1a mit 1.02 m mehr als doppelt so hoch wie bei SG1 (0.45 m). Auch die Standardabweichung von der mittleren Fahrzeugachse fällt im Versuch SG1 1a (\emptyset 0.26 m) wesentlich geringer aus als im Versuch ZG1 1a (\emptyset 0.49 m). Die Gründe für diese deutlichen Differenzen dürften vor allem in der Überleitungsgeometrie zu finden sein: Bei SG1 ist der Normalfahrstreifen um 0.45 m schmaler, die Trennfläche zwischen Normal- und Überholfahrstreifen ist nicht vorhanden (bei ZG1 ist sie 1.00 m breit) und die gesamte Fahrraumbreite zwischen den Leiteinrichtungen ist bei SG1 um ca. 1.50 m kleiner. Dies bewirkt wesentlich geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse. Unterstützt wird dieser Effekt durch die bei SG1 beidseitig aufgestellte niedrige Metallleitschranke hinter den Baken.

Für den *Überholfahrstreifen* ergaben sich in der Überleitung gleichartige Ergebnisse in der *Betriebsform 4+0*. Der direkte Vergleich der Leiteinrichtungen zeigte ebenfalls deutlich geringere Abweichungen von der Fahrstreifenmitte bei der Verwendung von Leitschienen als bei hohen Baken (vgl. 7.4.3.3.). Die Differenz der Gesamtverschiebung beträgt 0.20 m. Auch die durchschnittliche Standardabweichung von der mittleren Fahrzeugachse fällt mit Leitschienen geringer aus. Der Vergleich der Versuche SG1 1a und ZG1 1a mit hohen Baken bestätigt die, bereits für den Normalfahrstreifen festgestellte, Abhängigkeit von der Fahrstreifen- und Fahrraumbreite. Diesmal tritt auf dem um 0.22 m schmaleren Fahrstreifen bei ZG1 eine um 0.09 m geringe Gesamtverschiebung auf. Die durchschnittliche Standardabweichung von der mittleren Fahrzeugachse ist, wie schon am Normalfahrstreifen beobachtet, im Versuch SG1 1a geringer als in ZG1 1a. Neben der Überleitungsgeometrie dürfte dies auf den Einfluss der hinter den Baken befindlichen niedrigen Metallleitschranke zurückgeföhrt werden.

- *Betriebsform 3+1*

Die Analyse für diese Betriebsform erfolgt anhand der Versuche an den Untersuchungsstrecken SG2 und AG1. Die Betrachtung des direkten Einflusses der Leiteinrichtung in 7.4.3.2. in SG2 hat gezeigt, dass es beim Einsatz von Leitschienen mit niedrigen Baken sowohl zu niedrigeren Standardabweichungen, als auch zu einer um 0.29 m geringeren Gesamtverschiebung kommt. Dies ist vor allem auf das weite Ausholen bei hohen Baken zurückzuführen. Bedingt durch dieses Ausholen kommt es auch beim Vergleich der Versuche mit hohen Baken an den Strecken SG2 und AG1 zu deutlichen Differenzen. Erneut kann beobachtet werden, dass es aufgrund der um 0.55 m schmaleren Fahrbahn zu geringeren Abweichungen von der Fahrbahnachse kommt. Quantitativ können wegen der stark differierenden Längen der Überleitung und Messquerschnittspositionen nur bedingt Aussagen gemacht werden. Die Standardabweichungen sind mit 0.28 m in SG2 und 0.32 m in AG1 vergleichsweise klein und lassen ob ihrer geringen Differenzen keine Beeinflussung erkennen. Auch über den möglichen Einfluss der in AG1 aufgesetzten Lauflichter und der einseitig eingesetzten Leitschiene mit Kastenprofil können bei diesem Vergleich keine Aussagen gemacht werden.

- *Veränderungen infolge Tempolimite*

Einzubeziehnen ist auch der kombinierte Einfluss von zulässiger Höchstgeschwindigkeit und Leiteinrichtung auf das Spurverhalten. Verglichen werden die Gesamtverschiebungen bei den Versuchen auf der Strecke SG2 mit beiden Leiteinrichtungen auf dem Überholfahrstreifen für Tempolimite 80 und

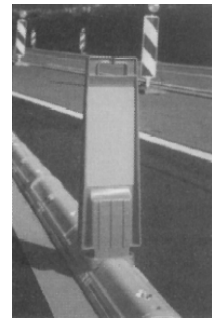
100 km/h (vgl. 7.4.3.2.). Es fällt auf, dass die Differenzen zwischen den Leiteinrichtungen bei Tempolimiten 100 km/h mit 0,07 m deutlich unter den bei Tempolimiten 80 km/h eintretenden Unterschieden von 0,29 m liegen. Die kleineren Abweichungen von der Fahrstreifenachse ergeben sich jeweils für die Versuche mit Leitschienen mit niedrigen Baken. Der positive Einfluss der Leitschienen auf das Spurverhalten tritt demnach bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h deutlich ausgeprägter auf.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Art der Leiteinrichtung einen bedeutenden Einfluss auf das Spurverhalten hat. Bei der Verwendung von Leitschienen mit niedrigen Baken entstehen geringere Standardabweichungen von der mittleren Fahrzeuglage, sowie kleinere Abweichungen von der Fahrstreifenachse. Diese positive Auswirkung tritt sowohl bei Tempolimiten 80 km/h, als auch bei 100 km/h auf. Bei einer zulässigen Geschwindigkeit von 80 km/h ist die positive Beeinflussung jedoch wesentlich stärker. In diesem Zusammenhang wird auch ein deutlicher Einfluss der Überleitungsgeometrie festgestellt. In erster Linie hat die Fahrstreifenbreite einen zu erwartenden Effekt auf die mittlere Lage der Fahrzeugachsen. Bei Fahrstreifen mit geringerer Breite entstehen deutlich kleinere Abweichungen von der Fahrstreifenachse und geringere Spurstreuung.

7.4.3.7. Vergleiche mit ausländischen Ergebnissen

Auch bei Vergleich des Einflusses der Leiteinrichtung ergibt sich für die ausländischen Ergebnisse nur eine bedingte Vergleichbarkeit aufgrund der unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeit in der Überleitung. In den zur Analyse herangezogenen Untersuchungen aus [1, (1994)] gilt in der Überleitung Tempolimiten 60 km/h. Im Folgenden werden die Auswirkungen modifizierter Leiteinrichtungen qualitativ dargestellt und verglichen. Zum Spurverhalten liegen vergleichbare Untersuchungen nicht vor.

In [1] wurden zwei Baustellen an Bundesautobahnen mit der Betriebsform 3+1 betrachtet. In beiden Fällen wurden die Geschwindigkeiten für die Ausführung nach den Richtlinien RSA ([26]) mit hohen Baken und in der modifizierten Form erhoben. Für die erste Untersuchungsstrecke wurde die Gestaltung um ein beidseitiges Portal mit Blinklichter, Pfeilbaken und Leitschienen mit gelben Sichtzeichen (Abmessungen: 0,75 x 0,22 m; vgl. Foto) ergänzt. Die Sichtzeichen entsprechen in der Grösse den niedrigen Baken, die bei den Versuchen auf den Strecken SG2 und ZG1 eingesetzt wurden. Die an beiden Fahrstreifenrändern montierten Leitschienen wurden bis 30 m vor die Überleitung gezogen. Bedingt durch die auffällige Toreinfahrt kam es zu einer zusätzlichen Geschwindigkeitsreduktion von ca. 10,0 km/h. In [1] wird von einem deutlich verbesserten Fahrverhalten in der Zufahrt zur Überleitung berichtet. Die Fahrer gehen früher vom Gas und fahren langsamer an die Baustelle heran. Versuche mit vier Testfahrten ergaben für die Überleitung geringere Geschwindigkeiten und eine deutlich homogenere Geschwindigkeitsverteilung als bei der konventionellen Anordnung nach [26].



An der zweiten Untersuchungsstrecke bestanden die Modifikationen zum Einen aus einer Adaptivstrecke, welche die Fahrzeuglenker mittels eines Portals, seitlich angeordneten Sichtzeichen und einer Markierungsdoppellinie, als Trennung zwischen Normalfahrstreifen und Überholfahrstreifen, auf die bevorstehende Überleitung vorbereiten sollte. Zum Anderen wurden in der Überleitung installiert:

- auf der linken Seite eine niedrige Metallleitschranke auf der in der Längsrichtung Doppelstreifen aus retroreflektierendem Material angebracht war, sowie vor der Leitschranke eine gelbe Leitschiene ohne Sichtzeichen und ohne Reflektorbügel
- auf der rechten Seite war eine gelbe Leitschiene mit gelben, reflektierenden Sichtzeichen und mit Reflektorbügel verwendet
- Grossformatige Pfeilbaken in den Kurvenaussenseiten.

Als Auswirkung der Toreinfahrt (Portal mit Gelbblinker) tritt bereits im Zufahrtsbereich eine Geschwindigkeitsreduktion von 10,0 bis 15,0 km/h auf. Neben der Abhängigkeit der Geschwindigkeit vom Verkehrsaufkommen wird auch eine niedrigere Geschwindigkeit in der Überleitung festgestellt.

Zusammenfassend traten neben dem geschwindigkeitsreduzierenden Effekt des beidseitigen Portals, positive Auswirkungen bei den modifizierten Anwendungen auf. Hervorzuheben ist insbesondere die Abnahme der Geschwindigkeitsstreuung, die auch an den vorliegenden Untersuchungsstrecken festgestellt werden konnte. Die Ergebnisse aus [1] bestätigen qualitativ die Erkenntnisse auf den Untersuchungsstrecken SG2 und ZG1.

7.4.3.8. Folgerungen zum Einfluss der Leiteinrichtungen

Die Forderung nach einem möglichst homogenen Verkehrsablauf bedeutet, dass im Überleitungsbereich eine, den geometrischen Gegebenheiten angepasste, Geschwindigkeit gefahren wird. Diese Geschwindigkeit sollte bereits zu Beginn der Überleitung erreicht sein. In der Überleitung selber sollten keine markanten Verzögerungen mehr stattfinden und eine homogene Geschwindigkeitsverteilung resultieren. Anzustreben ist auch eine möglichst homogene Spurverteilung. Grosse Streuungen und Abweichungen der Fahrzeuge von der Fahrstreifenachse deuten auf Unklarheiten in der Linienführung hin.

Aus der Analyse des Einflusses der Leiteinrichtung auf die Geschwindigkeit und das Spurverhalten im Bereich der Überleitung ergeben sich nachstehende Folgerungen:

Geschwindigkeiten im Überleitungsbereich

Für die mittleren Geschwindigkeiten sowie für die Geschwindigkeiten der schnell fahrenden Fahrzeuge konnte kein einheitlicher Einfluss durch die Art der Leiteinrichtung festgestellt werden. Während bei ZG1 grösstenteils signifikant niedrigere Geschwindigkeiten bei hohen Baken auftraten, war es in SG2 bei den Leitschienen der Fall. Ebenso konnte kein Einfluss der Leiteinrichtung auf die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beobachtet werden. Bei Tempolimiten 100 km/h traten im betrachteten Bereich keine Überschreitungen auf. Dahingegen wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h bei SG2 erst im Überleitungsbereich und bei den Versuchen an ZG1 nur in einem einzigen Querschnitt eingehalten. Ausgeprägt waren die Überschreitungen auf dem Überholfahrstreifen.

Weder auf das Geschwindigkeitsniveau noch auf die Einhaltung der Tempolimiten kann ein einheitlicher Einfluss der Leiteinrichtungen festgestellt werden.

Relative Veränderung der Geschwindigkeiten infolge der Leiteinrichtungen

Bei allen hier einbezogenen Versuchen fällt die markante Verzögerung kurz vor der Überleitung auf. Unabhängig von der Leiteinrichtung findet an den Strecken mit vergleichbaren Randbedingungen (AG1, SG2) eine Verzögerung von über 10.0 km/h statt.

Die massgebliche Geschwindigkeitsanpassung erfolgt bei allen Versuchen unabhängig von der Leiteinrichtung direkt vor der Überleitung.

In der Überleitung wird deutlich weniger verzögert. An den Untersuchungsstrecken SG2, ZG1 und AG1 treten vom ersten bis zum letzten Querschnitt der Überleitungen im Mittel Verzögerungen von 2.2 km/h bei hohen Baken und lediglich 0.6 km/h bei Leitschienen auf. Trotz der geringfügig höheren Geschwindigkeit bei Leitschienen entsteht ein homogenerer Verkehrsfluss als bei der Anordnung mit hohen Baken. Diese Beobachtung trifft sowohl für die mittlere Geschwindigkeit als auch für die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge zu.

Für die Ausführung mit Leitschienen in Kombination mit niedrigen Baken ergeben sich homogenere Geschwindigkeitsverläufe in der Überleitung. Die relativ gesehen stärkere Geschwindigkeitsabnahme bei hohen Baken bewirkt einen inhomogeneren Verkehrsfluss.

Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung

Trotz der in der Regel grossen Geschwindigkeitsabnahme kurz vor der Überleitung ist hier der Homogenisierungseffekt uneinheitlich. Neben der Abnahme (SG1 und SG2) nehmen die Standardabweichungen vor der Überleitung auch zu (ZG1 und AG1). Bei der Anordnung mit Leitschienen ist die Homogenisierung geringfügig grösser als bei hohen Baken. In der Überleitung verändert sich die Geschwindigkeitsstreuung nur unwesentlich.

Die Art der Leiteinrichtung hat auf die Geschwindigkeitsstreuung bei normalen Sichtverhältnissen (am Tag) keinen wesentlichen Einfluss. Tendenziell liegt bei Leitschienen ein etwas homogener Verkehrsfluss vor.

Homogenität der Spurverteilung

Bedingt durch das Kurvenschneiden und vorheriges Ausholen, kommt es in der Überleitung an allen Untersuchungsstrecken zu deutlichen Abweichungen der Fahrzeuge von der Fahrstreifenachse. Die bauliche Ausführung der Leiteinrichtung hat grossen Einfluss auf diese Abweichungen. Die Analyse hat gezeigt, dass bei der Verwendung von Leitschienen sowohl geringere Standardabweichungen von der mittleren Fahrzeuglage als auch geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse auftreten. Dieser positive Effekt trat am deutlichsten bei der Kombination von Leitschienen und Tempolimiten 80 km/h auf.

Im Vergleich zu den hohen Baken kann bei der Anordnung mit Leitschienen und niedrigen Baken eine wesentlich bessere Fahrzeugführung in der Überleitung erzielt werden.

Einflüsse aus der Überleitungsgeometrie und zusätzlichen Elementen in der Überleitung

Die Untersuchungsstrecken weisen unterschiedliche Geometriedaten auf (vgl. Tab. 7-42). Neben der Ausführung der Leiteinrichtung haben auch die Öffnungslängen der Überleitungen (und somit die Überfahrtswinkel), die Fahrstreifenbreiten sowie zusätzliche Ausstattungselemente Einfluss auf das Fahrverhalten im Überleitungsbereich.

Sowohl der Vergleich der Versuchsstrecken mit der Betriebsform 4+0 (2-streifige Überleitung), als auch jener mit den Strecken der Betriebsform 3+1 (1-streifige Überleitung) zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Ergebnisse von der Öffnungslänge der Überleitung. Bei beiden Betriebsformen treten höhere Geschwindigkeiten bei grösseren Öffnungslängen auf, weil diese grössere Kreisbogenradien aufweisen.

Situativ ermöglichen grössere Öffnungslängen ein schnelleres Befahren der Überleitungen. Die Erhebungen haben gezeigt, dass die Fahrzeuglenker dies auch ausnützen.

Dabei ist auch von Bedeutung, dass die Öffnungslängen bei einigen Untersuchungsstrecken deutlich grösser waren als in der Norm [32] für eine Überfahrgeschwindigkeit von 80 km/h empfohlen wird.

Bei Öffnungslängen von über 100 m wird eine Tempolimite von 80 km/h auch am Ende der Überleitung von ca. 50 bis 70% aller Fahrer nicht eingehalten.

Die Fahrstreifen- und damit auch die gesamte Fahrraumbreite zwischen den Leiteinrichtungen wirkt sich ebenfalls auf die Geschwindigkeiten aus. Abgesehen vom Vergleich der Überholfahrstreifen in SG1 und ZG1 ergeben sich in der Überleitung einheitliche Differenzen der Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite:

Je grösser die Fahrstreifen- und Fahrraumbreiten in der Überleitung, desto schneller werden sie in der Regel auch befahren.

Ein einheitlicher Einfluss der Öffnungslängen und Fahrstreifenbreiten auf die Geschwindigkeitsstreuung konnte jedoch nicht festgestellt werden. Während bei der Betriebsform 4+0 niedrigere Streuungen bei kürzeren Öffnungslängen auftreten, können bei der Betriebsform 3+1 geringere Streuungen bei langen Überleitungsöffnungen und breiten Fahrstreifen beobachtet werden. In diesem Zusammenhang ist ein Einfluss der in ZG1 verwendeten zusätzlichen Lauflichter und der erhöhten Fahrraumbreite nicht auszuschliessen. Es kann angenommen werden, dass die auf hohe Baken montierten Lauflichter auf einige Fahrzeuglenker eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung haben, was sich in den höheren Standardabweichungen niederschlagen kann.

Neben dem Einfluss auf die Geschwindigkeiten hat die Fahrstreifen- und Fahrraumbreite auch einen deutlichen Einfluss auf das Spurverhalten. Je mehr Raum für Fahrmanöver dem Fahrzeuglenker zur Verfügung steht, desto grössere Abweichungen von der Fahrstreifenachse und desto grössere Spurstreuung treten auf. Dieser Aspekt ist bei zweistreifigen Überleitungen, die zwangsläufig grosse Fahrraumbreite aufweisen wesentlich.

Für eine straffe Spurführung sind überbreite Fahrstreifen zu vermeiden. Bei Fahrstreifenbreiten von deutlich mehr als 4.0 m und Fahrraumbreiten zwischen den Leiteinrichtungen von gegen 10.0 m entsteht im Spurverhalten ein Schwimmeffekt.

Als zusätzliches Element in der Überleitung war die in SG1 hinter den hohen Baken montierte niedrige Baustellenleitschranke zu betrachten. Der Vergleich mit den Versuchen der Strecke ZG1 ohne eine zusätzliche Leitschranke lässt keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten erkennen. Allerdings ergaben sich im Spurverhalten bei SG1 geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse auf als bei ZG1. Wie weit dies auf die Anordnung der Leitschranke bei SG1 oder aber die bei ZG1 deutlich grössere Fahrstreifen- und Fahrraumbreite zurückzuführen sei, kann nicht schlüssig beantwortet werden. Im Ausland, wo die kombinierte Anordnung hohe Baken und Leitschranke ebenfalls angewendet wurde [1], waren die Leitbaken hinter und nicht vor der Leitschranke aufgestellt.

Ein Einfluss der zusätzlichen Baustellenleitschranke hinter Leitbaken auf das Geschwindigkeitsverhalten konnte nicht festgestellt werden. Es fallen jedoch positive Einwirkungen auf das Spurverhalten auf.

7.4.4. Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse

In verschiedenen Untersuchungen (z.B. [1], [16], [38]) wird oft auf die erhöhte Unfallgefahr in Baustellenbereichen bei Dunkelheit hingewiesen. Diese Hinweise betreffen vor allem den Annäherungsbereich zur Baustelle auf schnell befahrenen Strassen. Die Auswirkungen der Beleuchtungsverhältnisse auf das Fahrverhalten im Überleitungsbereich hängen eng mit den Leiteinrichtungen (vgl. 7.4.3.) und mit weiteren optischen Führungshilfen zusammen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde dies bei den Versuchen auf der Strecke SG2 untersucht. Zu vergleichen gilt es jeweils zwei Versuche, die am Tag durchgeführt wurden mit zwei Versuchen, durchgeführt bei nächtlicher Dunkelheit. Da es sich bei dieser Strecke um die Betriebsform 3+1 handelt, wird sich die Analyse auf den Überholfahrstreifen im Bereich der Überleitung konzentrieren.

Wie bei den vorstehenden Abschnitten werden nachfolgend die Auswirkungen der Beleuchtungsverhältnisse auf die Geschwindigkeiten V_m und $V_{85\%}$, die Geschwindigkeitsverteilung sowie das Spurverhalten beurteilt. In den einbezogenen Versuchen galt eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h.

7.4.4.1. Einfluss auf die mittlere Geschwindigkeit V_m

Die V_m -Verläufe in der Überleitung *bei Nacht* sehen bei der Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene ähnlich aus. Charakteristisch ist das deutlich Verzögern vor der Überleitung, mit dem anschliessenden Beschleunigen und Wiederverzögern in der Überleitung. Aus Abbildung 7-5 ist ersichtlich, dass dieses, auf Unsicherheiten hinweisende, Verhalten bei der Anordnung mit hohen Baken deutlich ausgeprägter als bei Leitschiene ist. Die Geschwindigkeiten liegen zudem bei der Anordnung mit Leitschiene wesentlich tiefer als bei hohen Baken; die Unterschiede betragen vor der Überleitung ca. 6.0 km/h, in der Überleitung durchschnittlich 3.3 km/h. Die statistische Prüfung dieser V_m -Differenzen ergab auf Basis einer 1%igen Irrtumswahrscheinlichkeit (vgl. 7.2.2.) für alle analysierten Querschnitte signifikante Abweichungen (vgl. Tabelle 7-45). Bei beiden Leiteinrichtungen liegen die Werte in der Überleitung weitgehend unter der Tempolimite, allerdings befand sich das Geschwindigkeitssignal bereits 320 m vor der Überleitung.

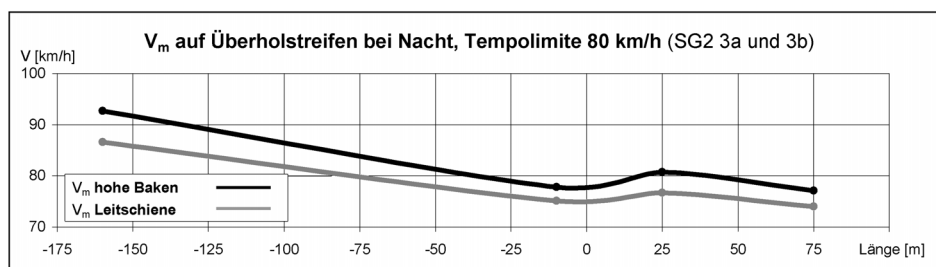


Abb. 7-5: Verlauf der mittleren Geschwindigkeit im Überleitungsbereich nachts bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene

(bei Nacht und Tempo 80)	Querschnitt Nr.			
Überholstreifen ÜS	4	5	6	7

Tab. 7-45: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung bei Nacht, zwischen hohen Baken und Leitschiene

Die oben erwähnte Ungleichmässigkeit der Geschwindigkeitsverläufe bei Nacht manifestiert sich im Vergleich mit jenen am Tag eindrucklich. Wie aus Abbildung 7-6 ersichtlich, zeichnet sich bei beiden Leiteinrichtungen der V_m -Verlauf bei Tagesverhältnissen durch eine Verzögerung vor und eine praktisch konstante Geschwindigkeit in der Überleitung aus. Die bei Dunkelheit aufgetretenen Schwankungen treten am Tag nicht auf. Während bei hohen Baken nachts stärker verzögert wird als am Tag, ist dies bei Leitschiene nicht der Fall. Dort sind die Verzögerungen praktisch gleich, wobei die Geschwindigkeiten nachts niedriger liegen als am Tag.

Die statistische Überprüfung in Tabelle 7-46 zeigt auch, dass dort wo die Kurven in Abbildung 7-6 deutlich auseinander liegen, die Differenzen auch signifikant sind.

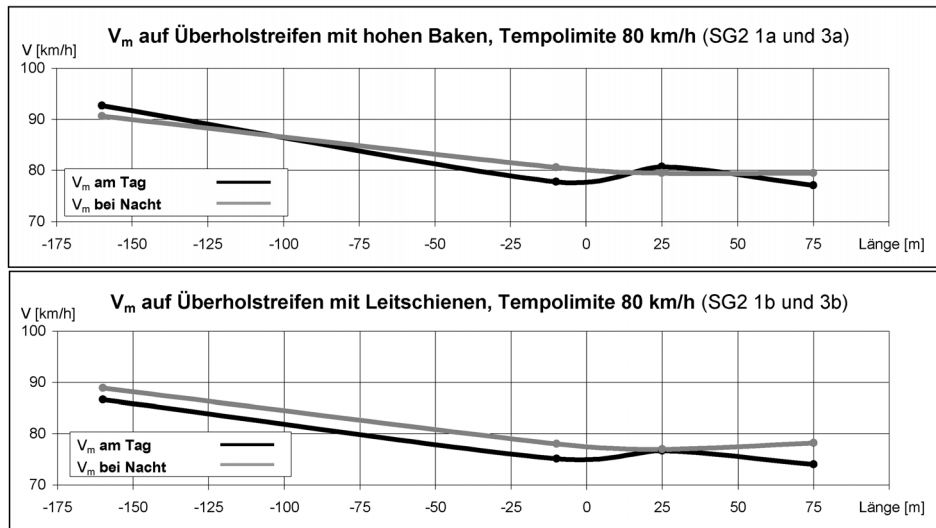


Abb. 7-6: Vergleich der mittleren Geschwindigkeit im Überleitungsbereich am Tag und bei Nacht für die Anordnungen mit hohen Baken (oben) und mit Leitschiene (unten)

(bei hohen Baken und Tempo 80)	Querschnitt Nr.				(bei Leitschiene und Tempo 80)	Querschnitt Nr.			
Überholstreifen ÜS	-	5	-	7	Überholstreifen ÜS	4	5	-	7

Tab. 7-46: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung zwischen Tag und Nacht, bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)

Wie in 7.4.3.2. bereits festgestellt, liegen die Geschwindigkeiten auf der Strecke SG2 *am Tag* bei der Anordnung mit Leitschiene und niedrigen Baken tiefer als jene bei der Anordnung mit hohen Baken. Die in diesem Abschnitt gewonnene Erkenntnis, dass Leitschiene mit niedrigen Baken *bei Dunkelheit* eine bessere und frühzeitigere Geschwindigkeitsanpassung und eine gleichmässige Fahrweise in der Überleitung bewirkt, ist insofern überraschend als die grossformatigen Baken bei Dunkelheit aus grösserer Entfernung sichtbar sind (bzw. reflektieren) als die kleinformatigen Baken auf der Leitschiene. In den zwei folgenden Aufnahmen ist dies veranschaulicht. Im Bild rechts ist auch der Höhenunterschied der Baken sichtbar (die grossformatigen Baken sind im Bild links zusammengehäuft). Auf dieser Aspekt wird deshalb in 7.4.4.5. weiter eingegangen.



Abb. 7-7: Aufnahmen von Leiteinrichtungen bei Dunkelheit: links hohe Baken, rechts Leitschiene mit niedrigen Baken

7.4.4.2. Einfluss auf die Geschwindigkeit V_{85%}

Die Geschwindigkeitsverläufe der schnell fahrenden Fahrzeuge (V_{85%}) in der Überleitung *bei Nacht* sind analog zu jenen der mittleren Geschwindigkeiten, allerdings auf einem höheren Niveau. Auch hier ergeben sich die charakteristischen Verzögerungen vor der Überleitung, mit dem anschliessenden Beschleunigen und Wiederverzögern in der Überleitung. Diese Ungleichmässigkeiten sind wiederum bei der Anordnung mit hohen Baken deutlich ausgeprägter als bei Leitschiene. Aus Tabelle 7-47 ist ersichtlich, dass die Unterschiede vor der Überleitung ca. 8.0 km/h betragen, in der Überleitung liegen sie zwischen 1.0 und 3.0 km/h.

Auffallend gross ist auch der Unterschied in der Verzögerung vor der Überleitung (QS4 zu QS5): Bei hohen Leitbaken um knapp 18 km/h, bei Leitschiene um knapp 11 km/h. Aus der Tabelle geht auch hervor, dass die zulässige Tempolimite (80 km/h) bei beiden Leiteinrichtungen an keinem Messquerschnitt eingehalten wird.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h]					
Tempolimite 80 km/h, Nacht (SG2 3a und 3b)					
Leiteinrichtung	QS	4	5	6	7
Baken	ÜS	102.7	85.0	90.0	85.0
Leitschiene	ÜS	94.9	84.0	87.0	82.0
	ΔV	7.8	1.0	3.0	3.0

Tab. 7-47: Vergleich der V-Geschwindigkeiten während der Nacht, bei Anordnung mit hohen Leitbaken und mit Leitschiene

Wie beim V_m -Verlauf bewirkt die Anordnung mit Leitschiene und niedrigen Baken *bei Dunkelheit* eine insgesamt bessere und frühzeitigere Geschwindigkeitsanpassung und eine etwas gleichmässige Fahrweise in der Überleitung.

Bezüglich dem Tag-Nacht-Vergleich (vgl. Tabelle 7-48) ergeben sich bei beiden Leiteinrichtungen die gleichen Unterschiede wie beim V_m -Verlauf: Gleichmässige Anpassung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeit am Tag, ungleichmässige Anpassung bei Dunkelheit. Positiv ist bei Anordnung mit Leitschiene ist die Tatsache, dass die Ausgangsgeschwindigkeit (am QS4) nachts um ca. 5.0 km/h niedriger liegt als am Tag. Demgegenüber wird bei hohen Leitbaken nachts mit einer um ca. 1.5 km/h höheren Geschwindigkeit zugefahren als am Tag.

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h]					
hohe Baken (SG2 1a und 3a)					
Tageszeit	QS	4	5	6	7
Tag	ÜS	101.4	88.0	87.0	88.0
Nacht	ÜS	102.7	85.0	90.0	85.0
	ΔV	-1.3	3.0	-3.0	3.0

Veränderungen der $V_{85\%}$ [km/h]					
Leitschiene (SG2 1b und 3b)					
Tageszeit	QS	4	5	6	7
Tag	ÜS	99.8	86.0	85.0	85.0
Nacht	ÜS	94.9	84.0	87.0	82.0
	ΔV	4.9	2.0	-2.0	3.0

Tab. 7-48: Vergleich der V-Geschwindigkeiten bei Anordnung mit hohen Leitbaken (links) und mit Leitschiene (rechts) am Tag und während der Nacht

7.4.4.3. Einfluss auf die Geschwindigkeitsstreuung

Differenzierter ist die Situation bei der Geschwindigkeitsverteilung. Wie aus Tabelle 5-18 ersichtlich ist die Streuung vor der Überleitung bei Leitschiene deutlich kleiner als bei hohen Baken ($S = 8.2$ gegenüber 11.4 km/h), was auch der niedrigeren Geschwindigkeitshöhe entspricht. In der Überleitung ergeben sich bei Leitschiene etwas höhere Werte (Mittelwert 9.2 km/h) als bei als bei hohen Baken (Mittelwert 8.4 km/h), obwohl dort die Geschwindigkeiten bei Leitschiene niedriger sind als bei hohen Baken. Obwohl die Unterschiede in der Überleitung nicht signifikant sind, bleibt die Frage offen, warum bei Leitschiene die vor der Überleitung niedrige Streuung ($S = 8.2$ km/h) in der Mitte des Einleitungsbogens bis auf $S = 9.9$ km/h zunimmt.

Diese Diskrepanz bleibt bestehen, wenn man die Versuche am Tag mitberücksichtigt: Bei beiden Leiteinrichtungen nehmen die Standardabweichungen in Richtung Überleitung ab (vgl. Tabellen 5-19 und 5-20), und dies ist wie erwähnt auch bei hohen Baken in der Nacht der Fall. Nur bei Leitschienen nachts ist der Trend umgekehrt.

7.4.4.4. Einfluss auf das Spurverhalten

Anders als die Geschwindigkeiten wird das Spurverhalten nur in der Überleitung (QS5 bis QS7) erfasst. In der *Spurverteilung nachts* bestehen zwischen den zwei Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede. Die Standardabweichungen S sind bei der Anordnung mit Leitschiene durchschnittlich um 8 cm kleiner als jene bei hohen Baken (vgl. Tabelle 5-32). Die Werte sind kurz vor der Überleitung deutlich grösser ($S = 0.30$ m bei Leitschiene, $S = 0.38$ bei hohen Baken), in der Überleitung sind sie ca. 10 cm kleiner und praktisch konstant. Demgegenüber ergeben sich beim Vergleich Tag / Nacht praktisch keine Unterschiede in der Streuung der Fahrzeugspuren, wenn die zwei Arten von Leiteinrichtungen separat betrachtet werden.

Auch bei der Spurwahl durch die Überleitung resultieren zwischen den zwei Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede (vgl. Abbildung 5-21). Die *Gesamtverschiebung* ($\Sigma\Delta$) der mittleren Fahrzeugachse von der Fahrstreifenachse *bei Nacht* ist bei der Anordnung mit hohen Baken (0.96 m) deutlich grösser als bei

Leitschiene (0.75 m). Dies bedeutet, dass das Ausmass des Ausholens zu Beginn und des Schneidens in der Überleitung bei hohen Baken stärker ausgeprägt ist. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 7-49 zusammengestellt.

Abweichung von der Fahrstreifenachse [m]							
Nacht, Tempo 80 (SG2 3a und 3b)							
Leiteinrichtung	QS	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Ø Abw.	ΣΔ
	FS-Breite	3.80	3.80	3.85	4.20		
Baken	ÜS	-0.72	-0.15	0.10	-0.05	0.25	0.96
Leitschiene	ÜS	-0.43	0.03	0.12	-0.09	0.17	0.75
	Δ	-0.29	-0.18	-0.02	0.04	0.09	0.21

Tab. 7-49: Vergleich der Abweichungen von der Fahrstreifenachse nachts bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene

Die Erhebungen haben zudem gezeigt, dass die Aussagen zum Vergleich der Leiteinrichtungen bei Nacht auch für den *Vergleich am Tag* zutreffen (vgl. Tabelle 7-50). Sowohl bzgl. der Spurstreuung (S) als auch bzgl. der Gesamtverschiebung (ΣΔ) der mittleren Fahrzeugachse von der Fahrstreifenachse resultieren bei der Anordnung mit Leitschiene niedrigere Werte als bei hohen Baken. Die erwähnten Unterschiede sind in Tabelle 7-50 hervorgehoben.

Tag, Tempo 80 (SG2 1a und 1b)							
Abweichung von der Fahrstreifenachse [m]							
Leiteinrichtung	QS	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Ø Abw.	ΣΔ
	FS-Breite	3.80	3.80	3.85	4.20		
Baken	ÜS	-0.86	-0.20	-0.01	-0.04	0.28	0.89
Leitschiene	ÜS	-0.32	0.06	0.07	-0.15	0.15	0.60
	Δ	-0.54	-0.26	-0.07	0.11	0.13	0.29
Standardabweichung [m]							
Leiteinrichtung	QS	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Ø Abw. S	
	FS-Breite	3.80	3.80	3.85	4.20		
Baken	ÜS	0.34	0.26	0.27	0.23	0.28	
Leitschiene	ÜS	0.27	0.19	0.21	0.20	0.22	
	Δ	0.07	0.07	0.06	0.03	0.06	

Tab. 7-50: Vergleich der Abweichungen von der Fahrstreifenachse und der Standardabweichungen am Tag bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene

7.4.4.5. Vergleiche mit anderen Untersuchungen

Die optische Führung im Überleitungsbereich wurde auch in einer Untersuchung der Kantonspolizei Zürich [38] untersucht. Eines der Fragepunkte war die Vermutung, dass die an Baustellen häufig angewendeten grossformatigen Leitbaken in Bereichen mit s-förmiger Fahrstreifenverschwenkung zu Verdeckungen des Fahrstreifenverlaufs führen, was vor allem bei Dunkelheit eine Beeinträchtigung der optischen Führung bewirken kann. Diese Vermutung basiert auf Erkenntnissen zum Blickverhalten bei Befahren von Kurven [8]. Das Blickverhalten beim Befahren der Überleitung zeichnet sich durch folgendes Muster aus: Im Anfahrbereich (Einleitungsbogen = Linkskurve) fixiert der Fahrzeuglenker den linken Rand und wechselt dann im Gegenbogen (= Rechtskurve) seine Blickzuwendung auf den rechten Rand. Bei den Mittelstreifenüberfahrten muss deshalb im Einleitungsbereich der Überleitung der Gestaltung des linken Fahrstreifenrandes und im Ausleitungsbogen jener des rechten Fahrstreifenrandes besondere Beachtung geschenkt werden.

Im Bereich einer Mittelstreifenüberfahrt wurden in [38] Testfahrten bei verschiedenen Versuchsanordnungen der Leiteinrichtungen durchgeführt. Neben der Aufzeichnung der Geschwindigkeiten wurden die Testfahrer auch hinsichtlich der Führungsqualität der jeweils eingesetzten Leiteinrichtungen befragt. Bei jeder Versuchsanordnung haben die Testfahrten am Tag und während der Nacht stattgefunden.

Bei den Versuchen wurden als Leitelemente kleinformatige Baken (wie jene auf der Leitschiene, ca. 0.70 m hoch), niedrige Reflektoren (reflektierende Sichtzeichen ca. 0.30 m hoch, vgl. Abbildung 7-8) und niedrige Leuchten (ca. 0.30 m hoch). In der Überleitung wurden sie entweder durchgehend oder so kombiniert angeordnet, dass im Ein- und Ausleitungsbogen auf der Aussenseite höhere Leitelemente (kleinformatige Baken), auf der Innenseite keine oder niedrige Leitelemente (Reflektoren, Leuchten) aufgestellt waren. Der linienförmige Element „Leitschiene“ wurde hier nicht eingesetzt.

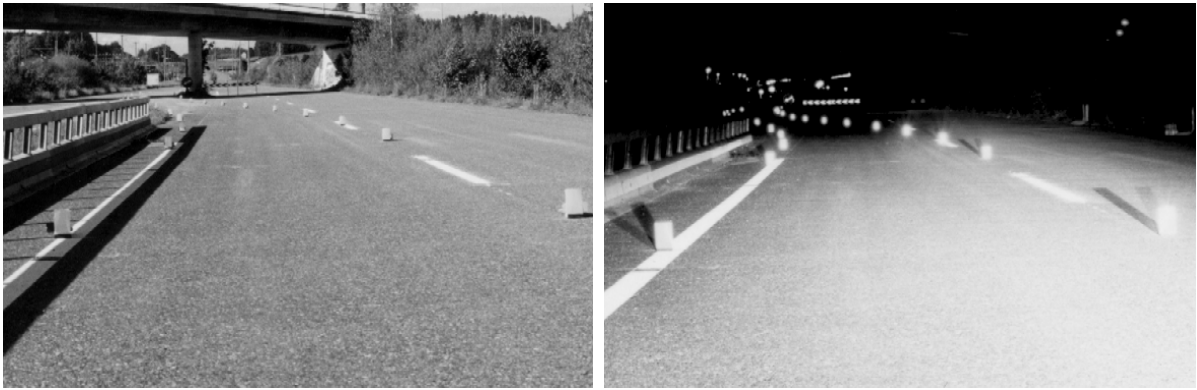


Abb. 7-8: Überleitung bei Versuchen in [38] mit Einsatz von niedrigen Reflektoren durchgehend, Ansicht am Tag und bei Nacht

Aus Sicht des Geschwindigkeitsverhaltens (homogener Verlauf auf möglichst hohem Niveau) erwiesen sich am Tag die Anordnung mit niedrigen Reflektoren links und in den Kurveninnenseiten und kleinformatigen Baken in den Kurvenaussenseiten sowie jene mit durchgehender Anwendung von niedrigen Reflektoren als am besten. Bei Nacht waren es wiederum die zwei erwähnten Anordnungen und zusätzlich die durchgehende Anwendung von kleinformatigen Baken. Aus der Befragung der 12 Testfahrer ergab sich, dass die Führungshilfen beidseitig angeordnet und möglichst tief sein sollen. Links und rechts soll das gleiche System verwendet werden.

In den Schlussfolgerungen in [38] wird folgendes festgehalten (vgl. auch Abbildung 7-9):

Die Leiteinrichtungen im Überleitungsbereich sollen beidseitig (1) mit demselben Material erfolgen und schon früh im Annäherungsbereich (2) aufgestellt werden. Dies bewirkt eine straff kanalisierte Fahrweise. Die Führungshilfen müssen vor allem am Innenrand der Kurven möglichst tief liegen (3), damit kein Verdeckungseffekt des Gegenbogens entsteht und dass vor allem der Kurvenbeginn von weitem erkennbar wird (4). Die Leitschranken und die Bepflanzung im Mittelstreifen sind deshalb möglichst früh zu unterbrechen (5). Zusätzlich wird auf gute Erfahrungen mit dem gelbblinkenden Abweispfeil (6) hingewiesen.

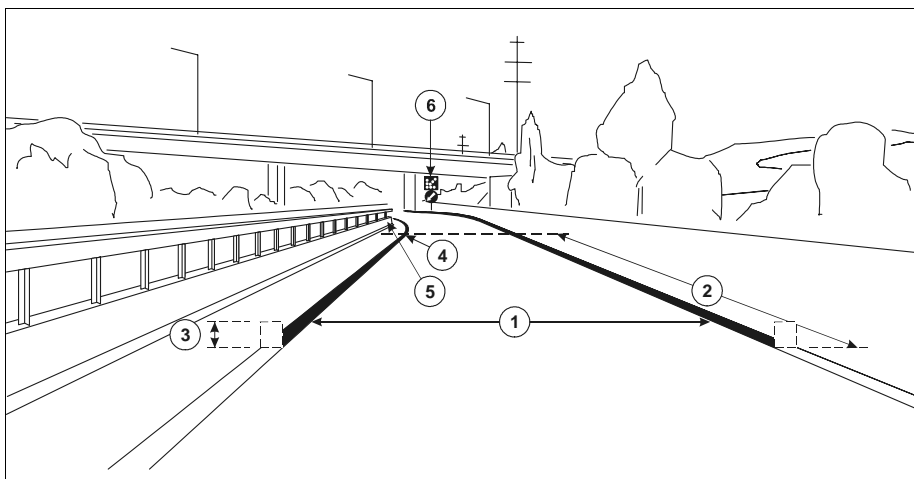


Abb. 7-9: Veranschaulichung der Schlussfolgerungen aus [38]

Die Schlussfolgerungen in [38] bestätigen die Erkenntnisse aus vorliegenden Untersuchungen, wonach bei der Anordnung mit Leitschiene und niedrigen Baken ein strafferes Spurverhalten und angepasstere und gleichmässiger Geschwindigkeitsverläufe resultieren als bei der Anordnung mit hohen Baken.

Auch in der Untersuchung von AULBACH ([1]) wurden die Einflüsse der Beleuchtungsverhältnisse bei verschiedenen Leiteinrichtungen analysiert. Grundsätzlich hat sich herausgestellt, dass durch die schlechtere Erkennbarkeit der Verkehrsführung bei Dunkelheit und auch während der Dämmerung zu einem Abfall der mittleren Geschwindigkeiten kommt. Dies entspricht den Erkenntnissen aus vorliegender Untersuchung. Bei den in [1] durchgeführten Versuchen findet eine Unterscheidung zwischen der Ausführung nach den Richtlinien RSA ([26]) und einer modifizierten Variante der Überleitungsausführung statt. Die Modifikationen bestehen in erster Linie aus gelben Leitschienen mit bügelförmig aufgesetzten Glasreflektoren („Katzenaugen“) und einer Kombination von grossformatigen Pfeilbaken, die nur auf der Kurvenaussenseite aufgestellt waren sowie niedrigen, reflektierenden Sichtzeichen (vgl. 7.4.3.7).

Bei Dunkelheit kommt es bei der modifizierten Gestaltung zu niedrigeren Geschwindigkeiten in der Zufahrt. Dies hat sich auch in vorliegenden Untersuchung gezeigt. Während bei der Ausführung nach RSA (nur grossformatige Baken) bei Dunkelheit erst kurz vor der Überleitung markant verzögert wird, ergibt sich für die modifizierte Variante eine homogenere Geschwindigkeitsanpassung und in der Überleitung treten geringfügig höhere mittlere Geschwindigkeiten auf. Dies wird auf die bessere optische Führung mit Leitschienen und Sichtzeichen zurückgeführt.

Die Abbildung 7-10 zeigt die beiden Varianten am Beispiel einer Rückleitung nach der Baustelle. Die Fahrbahnmarkierung in der Überleitung ist ausserhalb des Abblendlichtes in der Ausführung nach RSA (links) nicht mehr zu erkennen. Dahingegen kann man bei der Gestaltung mit Leitschienen und Sichtzeichen (rechts) den Verlauf der Markierung in der gesamten Überleitung erkennen. Diese Wahrnehmung hat nach [1] einen deutlichen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten bei Nacht. Neben dem homogenen Geschwindigkeitsverlauf, wurde auch eine wesentlich homogenere Geschwindigkeitsverteilung ermittelt.



Abb. 7-10: Rückleitung nach RSA (links) und in modifizierter Ausführung (rechts) [1]

7.4.4.6. Einfluss auf die Geschwindigkeiten auf dem Normalstreifen

Bei dieser Untersuchungsstrecke mit einstreifigen Überleitung wurden (anders als bei der Strecke AG1) die Geschwindigkeiten auch auf dem rechten, nicht übergeleiteten Fahrstreifen (Normalfahrstreifen) gemessen. Bei Messungen am Tag ergaben sich auf diesem Fahrstreifen auf der Höhe der Überleitung gleichmässige Geschwindigkeitsverläufe (vgl. Abbildungen 5-14 und 5-15). Bei Nachtmessungen resultierten hingegen bei beiden Arten von Leiteinrichtungen auffällige Ungleichmässigkeiten. Der Verlauf der mittleren Geschwindigkeit (V_m) auf dem Normalfahrstreifen ist in einem Ausschnitt auf der Höhe der Überleitung (QS4 bis QS7) in Abbildung 7-11 dargestellt. Die hier auftretende mittlere Verzögerungen sind für eine offene Strecke ausserordentlich stark (zwischen dem QS5 und QS6 im Mittel 1.8 m/s^2 bei hohen Baken, 1.3 m/s^2 bei Leitschienen). Bei den $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten sind die Verzögerungen entsprechend dem höheren Niveau noch ausgeprägter.

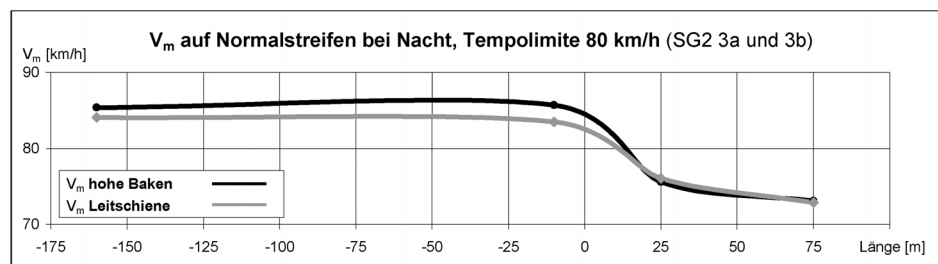
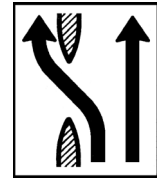


Abb. 7-11: Verlauf der V_m auf Normalstreifen bei Nacht, auf Höhe der Überleitung

Wie in 5.2.1.2. erwähnt wird die starke Verzögerung auf die, kurz nach dem letzten Messquerschnitt beginnende Verschwenkung des Normalfahrstreifen (NS) nach links zurückgeführt. Den Fahrzeugen auf dem NS steht zunächst die normale Fahrstreifenbreite (4.00 m und Standstreifen rechts), in der Verschwenkung wird sie auf 3.50 m reduziert. Dabei entspricht die Länge der Verschwenkung den Normempfehlungen. Das Auftreten der starken Verzögerungen nur bei Dunkelheit kann mit den geometrischen Gegebenheiten allein nicht erklärt werden. Wie aus Abbildung 5-16 ersichtlich, ist der Beginn der Verschwenkung auch aus der Ferne gut einsehbar.

Im vorliegenden Fall sind die auftretenden Unsicherheiten vermutlich eine Folge der Kombination von mehreren Einwirkungen:

- ca. 130 m vor der Verschwenkung befindet sich der letzte drei Hinweissignalen (Nr. 4.77, Anzeige der Fahrstreifen, vgl. Skizze), mit welchen die Betriebsform der Baustelle verdeutlicht wird. Darin wird die Überleitung korrekt veranschaulicht, das Signal enthält jedoch keinen Hinweis auf die Verschwenkung des rechten Fahrstreifens. Da der gerade Pfeil der tatsächlichen Linienführung widerspricht, könnte die bei Dunkelheit erst spät einsehbare Fahrstreifenverschwenkung auf die Fahrzeuglenker verwirrend wirken.



- ca. 400 m vor der Verschwenkung wird mit einem auffälligen Wegweiser die nächste Ausfahrt in 500m (also kurz nach der Verschwenkung) angezeigt. Erfahrungsgemäss erfolgt die Ausfahrt in einem Autobahnanschluss aus dem rechten Fahrstreifen. Die Verschwenkung des Normalfahrstreifens nach links widerspricht der Erwartungshaltung der Fahrzeuglenker.
- Die Mittelstreifenüberfahrt wird nachts beleuchtet. Die zwei Beleuchtungsmasten befinden sich am Anfang und am Ende der Überleitung. Der starke Kontrast zwischen der beleuchteten Überleitung und der dahinter liegenden, unbeleuchteten Verschwenkung kann bewirken, dass die Verschwenkung bzw. die Änderung der Fahrstreifenführung zu spät erkannt wird.

7.4.4.7. Folgerungen zum Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse

Baustellenbereiche müssen auch bei Dunkelheit und anderen Sichtbeeinträchtigungen betrieben werden. Bei den vorliegenden Versuchen wurde deutlich, dass sich die Beleuchtungsverhältnisse (Tag / Nacht), aber auch die Art der Leiteinrichtungen auf das Fahrverhalten im Überleitungsbereich stark auswirken. Sowohl bzgl. der mittleren- als auch der $V_{85\%}$ -igen Werte zeigen die Geschwindigkeitsverläufe bei Dunkelheit eine Verzögerung vor der Überleitung und in der Überleitung eine Beschleunigung und anschliessende Wiederverzögerung. Dieser Verlaufsmuster ist bei hohen Leitbaken ausgeprägter als bei Leitschiene mit niedrigen Baken. Dabei liegen die Geschwindigkeitswerte bei der Anordnung mit Leitschiene signifikant tiefer als bei hohen Baken.

Die für den Überleitungsbereich signalisierte Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird auch nachts schlecht eingehalten. Die Geschwindigkeiten der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) lagen an allen Messquerschnitten sowohl am Tag als auch nachts deutlich über der Tempolimit.

Die Beleuchtungsverhältnisse beeinflussen das Geschwindigkeitsverhalten im Überleitungsbereich massgeblich. Anders als am Tag treten bei Nacht ungleichmässige Geschwindigkeitsverläufe auf. Diese, auf Unsicherheiten in der optischen Führung hinweisende Ungleichmässigkeiten resultieren bei beiden Arten von Leiteinrichtungen, sind jedoch bei der Anordnung mit hohen Baken wesentlich ausgeprägter als bei Leitschiene mit niedrigen Baken.

Auch im Spurverhalten nachts bestehen zwischen den zwei Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede. Bei der Anordnung mit Leitschiene waren in der Überleitung sowohl die Spurstreuung als auch die Gesamtverschiebung der Fahrzeuglage auffallend kleiner als bei hohen Baken.

Die Führungsfunktion der (linienförmigen) Leitschiene mit niedrigen Baken ist sowohl am Tag als auch bei Dunkelheit besser als jene der (punktförmigen) hohen Baken. Die Linienförmigkeit der in der Überleitung markierten Randlinien, entlang denen die grossformatigen Baken aufgestellt werden, können den erwähnten Führungsnachteil nicht hinreichend kompensieren.

Aus dem in dieser Arbeit untersuchten Geschwindigkeits- und Spurverhalten lässt sich folgern:

Die Anordnung mit Leitschiene und niedrigen Baken bewirkt bei Dunkelheit eine insgesamt bessere und frühzeitigere Geschwindigkeitsanpassung und eine etwas gleichmässiger Fahrweise in der Überleitung.

In anderen Untersuchungen ([38], [1]) wird auf den Verdeckungseffekt grossformatiger Leitbaken, der sich aus der Fahrerperspektive in einem Personenwagen ergibt, hingewiesen. Demnach sollten vertikale Leiteinrichtungen vor allem am Innenrand der Kurven möglichst tief liegen, damit keine Verdeckung des Gegenbogens entsteht und damit vor allem der Kurvenbeginn von weitem erkennbar wird. Dieser Effekt besteht auch am Tag, er wird nachts durch das Reflektieren des Fahrzeuglichts akzentuiert. Die grossformatiger Leitbaken reflektieren aus einer grösseren Entfernung als niedrige Baken. Das bedeutet:

Das „Hindernis“ Baustelle wird nachts bei hohen Leitbaken früher wahrgenommen (und ist vermutlich die Ursache für die deutlich stärkere Verzögerung vor der Überleitung als bei niedrigen Baken). Die Linienführung der Überleitung kann jedoch wegen Verdeckungs- und Blendeffekten in Augenhöhe der Fahrzeuglenker nicht immer rechtzeitig eingeschätzt werden.

Die ausgeprägte Verzögerung vor der Überleitung bei der Anordnung mit hohen Baken wird auch in ausländischen Untersuchungen bestätigt [1]. Empfohlen wird dort den Einsatz hoher Baken nur auf die Kurvenaussenseiten zu beschränken. Für die Dunkelheit wird die Notwendigkeit linienförmiger Leiteinrichtungen in niedriger Höhe hervorgehoben. Damit werden die Erkenntnisse aus vorliegender Untersuchung bestätigt.

In [38] wird u.a. gefordert, dass Leiteinrichtungen schon früh im Annäherungsbereich der Überleitung aufgestellt werden sollen. Bei dortigen Versuchen waren sie gegenüber dem Überleitungsbeginn um ca. 30 m vorgezogen. Bei den Versuchen auf der Strecke SG2 war die Leitschiene erst ab dem Anfang des Einleitungsbogens installiert. Es kann angenommen werden, dass die erwähnte, positive Wirkung der Leitschiene mit niedrigen Baken durch die Vorverlegung in den Zufahrtbereich verstärkt wird.

Die vorliegende Untersuchung hat zudem gezeigt, dass auch vermeintlich unbedeutende Widersprüche zwischen Linienführung und Strassensignalisation (Anzeige des Fahrstreifenverlaufs) bei eingeschränkten Beleuchtungsverhältnissen zu ausgeprägten Unsicherheiten im Fahrverhalten führen.

7.4.5. Zusammenhänge mit Unfallgeschehen im Überleitungsbereich

Analog zur Betrachtung der Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen in der Zufahrt (vgl. 7.3.4.) wäre auch für den Bereich der Überleitung, in welchem neben dem Geschwindigkeits- auch das Spurverhalten untersucht wurde, zu überprüfen,

- ob Hinweise auf Fehlverhalten im Verkehrsablauf vorliegen und
- ob sie auf Zusammenhänge mit der Häufigkeit und Art des Unfallgeschehens hindeuten.

Da im Bereich der Überleitung (B2) der vier Untersuchungsstrecken während der mehrmonatigen Bauarbeiten keine Unfälle registriert wurden (vgl. 6.2.), können die angesprochenen Zusammenhänge nicht überprüft bzw. nachgewiesen werden. Dies bedeutet nicht, dass im Verkehrsablauf kein Fehlverhalten im Überleitungsbereich auftritt, und dass Veränderungen im Geschwindigkeits- und Spurverhalten nicht festgestellt wurden. Diesbezügliche Erkenntnisse sind in den Folgerungen zu 7.4.1. bis 7.4.4. zusammengestellt.

8. Folgerungen und Empfehlungen

8.1. Folgerungen aus Erhebungen

Im Rahmen der durchgeführten Felderhebungen wurden für die vier Untersuchungsstrecken das Unfallgeschehen detailliert ausgewertet und der Verkehrsablauf erhoben und analysiert. Die wichtigsten Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Folgerungen sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst. Sie werden zur Ableitung von Empfehlungen verwendet.

8.1.1. Unfallgeschehen in Baustellenbereichen

- Untersuchungsstrecken

- *Veränderungen im Unfallgeschehen*

Für die vier Untersuchungsstrecken ergab sich im Zustand mit Baustelle nur bei einer Strecke eine signifikant höhere Unfall- und Verunfalltenhäufigkeit als im Zustand ohne Baustelle. Bei den drei übrigen Strecken war dies nicht der Fall. Bei den Gegenüberstellungen mit den zum Vergleich herangezogenen, benachbarten Strecken ergab sich bei einer Strecke keine Veränderung, bei drei Untersuchungsstrecken mit Baustellen haben sich mehr Unfälle als auf den jeweiligen Vergleichsstrecken ereignet. Allerdings waren die Vergleichsstrecken nicht in allen Fällen geeignet. Bei drei Strecken ist zudem zu berücksichtigen, dass ihre relative Unfallhäufigkeit auch im Zustand mit Baustelle beim oder unter dem Durchschnitt für Schweizer Autobahnen lag.

- *Räumliche Unfallverteilung*

Hinsichtlich räumlicher Unfallverteilung auf die Baustellenabschnitte hat sich gezeigt, dass die Anschlussbereiche (B3a) sowohl bei der Unfall- als auch bei der Verunfalltenhäufigkeit klare Schwerpunkte im Unfallgeschehen darstellen. Dies trifft bzgl. Unfallhäufigkeit auch für die Betriebsform 4+0 zu. Bei anderen Betriebsformen sind neben den Anschlussbereichen teilweise auch die Zufahrten (B1) auffällig. Auffallend klein sind sowohl die Unfall- als auch die Verunfalltendichte in Überleitungen (B2) und im (baulich getrennten) Innenbereich der Baustellen (B3i).

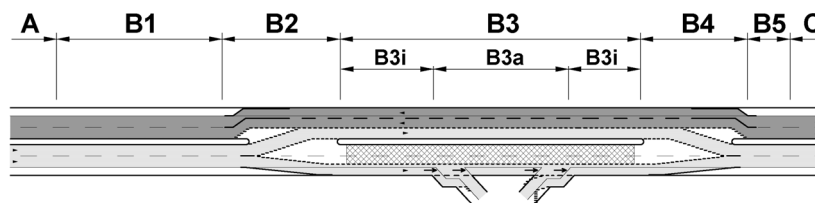


Abb. 8-1: Gliederung in Baustellenabschnitte

Im Gesuch zum vorliegenden Forschungsauftrag (vgl. 1.3.) wurde festgestellt: „Bisherige Untersuchungen an HLS-Baustellen deuten darauf hin, dass die Hauptprobleme der Verkehrssicherheit (Unfallentstehung) im Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und der Baustelle liegen. Dementsprechend zeigen die Auswertungen des Unfallgeschehens, dass die Unfallhäufigkeit im Zufahrtsbereich in der Regel höher liegt als im eigentlichen Baustellenbereich“. Diese Feststellung konnte bei den hier untersuchten Baustellen für die Betriebsform 4+0 (Baustellenbereiche B1 und B2) und für die Betriebsformen 3+1 und 4+2/4+1 (Baustellenbereich B2) nicht bestätigt werden.

- *Struktur nach Unfalltypen*

Bezüglich aller Strecken ergaben sich die Auffahrunfälle (über 1/3), sowie die Selbst/Schleuderunfälle und Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel (je 1/4) als die häufigsten Unfalltypen im Baustellenbereich. Die Aufteilung nach Betriebsformen zeigt, dass in der Verteilung der Unfalltypen bedeutende Unterschiede bestehen: Bei der Betriebsform 4+0 geschahen nur Selbst/Schleuderunfälle, die sich vorwiegend auf der freien Strecke des Baustellen-Innenbereichs (B3i) ereigneten. Bei den anderen Betriebsformen (alle mit einstreifiger Überleitung) dominieren Auffahrunfälle (44% aller Unfälle), die in der Regel auch folgenschwer sind (57% aller Verunfallten). Häufig sind auch Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel (31%), die sich auf die freie Strecke des Baustellen-Innenbereichs (B3i) konzentrieren.

Unabhängig von Betriebsform ereigneten sich überdurchschnittlich viele Unfälle bei Nacht, und zwar im Baustellen-Innenbereich (B3). Ausgeprägt viele Nachtunfälle geschahen auf der Strecke mit den kleinsten Fahrstreifenbreiten im Baustellenbereich. Hier war der Überholstreifen nur 2.50 m und der Normalstreifen 3.00 m breit. Bei allen anderen Strecken waren die Breiten um 0.50 m und mehr grösser.

Insgesamt lässt sich die These, wonach die Autobahnabschnitte mit Baustellen ein erhöhtes Gefahrenniveau aufweisen, bei den Untersuchungsstrecken nicht bestätigen. Dafür sprechen auch die niedrige Unfall- und Verunfalltenrate: Als Mittelwert über alle vier Strecken resultieren U_i von 0.11 Unfälle/ $10^6 \cdot Fz \cdot km$ und VU_i von 8.8 Verunfallte/ $10^8 \cdot Fz \cdot km$.

- Andere Baustellen

- *Unfallhäufigkeit*

Bei der Betriebsform 4+0 weisen die Untersuchungsstrecken eine wesentlich kleinere Unfallhäufigkeit auf als die früheren Baustellen. Auch bei der Betriebsform 4+2 / 4+1 zeigen sich grosse Unterschiede. Demgegenüber sind die Unfallhäufigkeiten bei der Betriebsform 3+1 die ähnlich gross.

Die Auswertungen haben zudem gezeigt, dass bei drei der vier Untersuchungsstrecken die Unfallraten mit Baustelle kleiner oder gleich gross waren wie im Zustand ohne Baustelle. Bei den anderen Baustellen, wo diese Gegenüberstellung in 7 Fällen möglich war, zeigt sich ein anderes Ergebnis: Mit einer Ausnahme ergab sich eine deutliche Erhöhung der Unfallhäufigkeit im Zustand mit Baustelle gegenüber jenem ohne Baustelle. Am auffälligsten war dies bei einer Baustelle mit Fahrstreifenreduktion am Baustellenende. Die Halbierung des Leistungsangebots (bei einem hohen DTV von gegen 75'000 Fz/Tag) bewirkte dort – trotz einer 4+0-Verkehrsführung – eine mehr als 5-fache Erhöhung der Unfallrate (vgl. Tabelle 6-11).

Die erwähnten Unterschiede im Unfallgeschehen deuten an, dass mit geeigneten Gestaltungs-massnahmen Sicherheitsverbesserungen erreicht werden können. Dies haben Versuchs-anordnungen mit verschiedenen Leit- und Trenneinrichtungen sowie die Anordnung von Überwachungs-massnahmen gezeigt. Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung der Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich vor. Sie werden oft mit einer im Vergleich zu den Über- bzw. Rückleitungen auffallend kleineren Sorgfalt eingerichtet.

- *Unfallverteilung auf die Baustellenabschnitte*

Hinsichtlich räumlicher Verteilung der Unfälle auf die Baustellenabschnitte hat sich bei anderen Baustellen gezeigt, dass Anschlüsse im Baustellen-Innenbereich (B3a) häufig lokale Unfallschwerpunkte darstellen, vor allem bei der Betriebsform 3+1. Baustellen-Innenbereiche ausserhalb der Anschlüsse (B3i) weisen bei allen Betriebsformen in der Regel keine höhere Unfallhäufigkeit als im Zustand ohne Baustelle auf. Diese Ergebnisse treffen auch auf die Untersuchungsstrecken zu.

Bei früheren Baustellen wurden die Bereiche mit Überleitungen (B2) überdurchschnittlich unfallträchtig ausgewiesen. Dies scheint bei 1-streifigen Überleitungen (Betriebsform 3+1) mehr der Fall zu sein als bei 2-streifigen Überleitungen (Betriebsform 4+0). Diese Feststellung kann bei den Untersuchungsstrecken, wo sich in der Überleitung keine Unfälle ereignet haben, nicht bestätigt werden. Dabei ist von Bedeutung, dass bei den Untersuchungsstrecken alle Mittelstreifenüberfahrten eine der Norm entsprechende Öffnungslänge aufwiesen und dass in ihren Bereichen keine Ein- oder Ausfahrten angeordnet waren.

Die Zufahrten zur Baustelle (B1) und die Rückleitungen (B4) weisen in den meisten der früheren Baustellen keine erhöhte Unfallhäufigkeit auf. Diese Aussage trifft mit Ausnahme der Betriebsform 4+2 bzw. 4+1 auch für die Untersuchungsstrecken zu.

- *Unfalltypen*

Wie bei den Untersuchungsstrecken sind auch bei den anderen Baustellen die häufigsten Unfalltypen die Auffahrunfälle, die Selbst-/Schleuderunfälle und die Unfälle bei Überholen/Fahrstreifenwechsel. Ihre Anteile mit durchschnittlich ungefähr je 30% variieren von Baustelle zu Baustelle und je nach Baustellenabschnitt deutlich. Bei der Betriebsform 3+1 zeigt sich zudem der Einfluss der Verkehrsauslastung: Bei grösseren Verkehrsmengen dominieren die Auffahrunfälle bei kleineren Verkehrsmengen sind es die Selbst-/Schleuderunfälle (vgl. Tabelle 6-36).

Zusammenfassend ergeben sich aus dem Unfallgeschehen folgende, für die Ableitung von Empfehlungen dienliche Folgerungen:

Die beträchtlichen Unterschiede in der Unfallhäufigkeit zwischen den einzelnen Autobahnbaustellen deuten an, dass mit geeigneten Gestaltungs-massnahmen Sicherheitsverbesserungen grundsätzlich möglich sind. Dies haben Versuchs-anordnungen mit verschiedenen Leit- und Trenneinrichtungen sowie die Anordnung von Überwachungs-massnahmen auch gezeigt.

Baustellen-Innenbereiche ausserhalb von Anschlüssen/Verzweigungen (B3i) der Betriebsformen 4+0 und 3+1 weisen im Vergleich zum Zustand ohne Baustelle in der Regel keine erhöhte Unfallhäufigkeit auf, wenn die Fahrrichtungen mittels Baustellenleitschranken baulich getrennt werden. Diese Folgerung trifft für HLS-Abschnitte mit einem DTV von bis zu 50'000 Fz/Tag zu.

Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung der Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich vor. Sie werden oft mit einer im Vergleich zu den Über- bzw. Rückleitungen auffallend kleineren Sorgfalt eingerichtet und bilden in der Regel eigentliche Unfallschwerpunkte.

Die überdurchschnittlich häufigen Unfälle bei Dunkelheit erfordern Bemühungen um die Verbesserung der optischen Führung im Baustellenbereich. Diese Forderung bezieht sich auf die Gestaltung der Mittelstreifenüberfahrten, der Baustellen-Innenbereiche sowie der bereits erwähnten Anschlüsse im Baustellenbereich.

Die bisherigen Unfallauswertungen haben auch deutlich gezeigt, dass Verkehrsführungen mit Fahrstreifenreduktionen im Baustellenbereich wenn immer möglich zu vermeiden sind. Sie führen bereits bei mittleren Verkehrsbelastungen zu überproportionaler Erhöhung der Unfallhäufigkeit.

8.1.2. Verkehrsablauf in Baustellenbereichen

Für die Qualität des Verkehrsablaufs im Zufahrtsbereich der Baustelle wurden die folgenden Forderungen formuliert:

- Die Geschwindigkeiten sollen soweit abnehmen, dass am Ende der Zufahrt ein an die Befahrbarkeit der Überleitung angemessenes Niveau erreicht wird. Das Geschwindigkeitsniveau sollte an die signalisierte Tempolimite und an die Geometrie der Überleitung angepasst sein. Die Geschwindigkeitsanpassung soll gemächlich verlaufen.
- Mit der Geschwindigkeitsabnahme soll eine deutliche Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung einhergehen.
- In der Überleitung sollten die Geschwindigkeiten nicht weiter absinken und keine abrupte Bremsungen auftreten.
- Die Geschwindigkeiten sollten homogen verteilt und entlang der Überleitung ähnlich gross sein. Diese Forderung gilt analog für die Spurverteilung.

Gesucht sind Anordnungen und Gestaltungen von Baustellenzufahrten, welche zum Erfüllen der obigen Forderungen beitragen können.

Der Verkehrsablauf wurde in Kapitel 7 getrennt für die Bereiche Zufahrt und Überleitung analysiert. Dabei sind die Auswirkungen folgender Elemente untersucht worden:

- Tempolimite (80/100 km/h)
- Geschwindigkeitsüberwachung (ohne/mit)
- Portalanordnung (ohne/mit)
- Leiteinrichtungen (hohe Leitbaken / Leitschiene mit niedrigen Leitbaken)
- Beleuchtungsverhältnissen (Tag/Nacht).

In der nachfolgenden Zusammenfassung werden für die zwei ersten Elemente die wichtigsten Folgerungen für den gesamten Erhebungsbereich dargelegt. Die Portalanordnung bezieht sich nur auf den Zufahrtsbereich, die Leiteinrichtungen und die Beleuchtungsverhältnisse nur auf die Überleitung.

• Einfluss der Tempolimite

Untersucht wurden Auswirkungen der Veränderung der Tempolimite 80 km/h (Referenzzustand) auf 100 km/h. Das Geschwindigkeitssignal befand sich auf den Untersuchungsstrecken in einem Abstand von ca. 320 bis 360 m vor der Überleitung.



- Geschwindigkeitsanpassung und Einhaltung der Tempolimite

Die mittleren Geschwindigkeiten (V_m) auf den Zufahrten reduzieren sich in Richtung zur Baustelle je nach Fahrstreifen (Normal-/Überholstreifen) um ca. 15 – 20 km/h bei Tempolimite 100 km/h und um

ca. 20 – 25 km/h bei Tempolimit 80 km/h. Die relativen Abnahmen bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) sind nur geringfügig grösser. Bzgl. der Auswertegrößen V_m und $V_{85\%}$ wurden keine abrupten Geschwindigkeitsanpassungen festgestellt, bei Einzelfahrten sind sie dennoch gelegentlich aufgetreten, wobei diese meistens im Zusammenhang mit Fahrstreifenwechsel standen.

Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit wird am Ende der Zufahrt bei Tempolimit 80 km/h von mehr als der Hälfte aller Fahrzeuglenker nicht eingehalten. Bei Tempolimit 100 km/h ist dies nur bei ca. 15% der Fall.

Unabhängig von der Höhe der Tempolimit erfolgt rund ein Drittel der gesamten Geschwindigkeitsanpassung im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung.

Die Abnahme der mittleren Geschwindigkeiten (V_m) zu *Beginn der Überleitung* gegenüber dem letzten Messquerschnitt der Zufahrt beträgt bei beiden Tempolimiten etwas mehr als 11 km/h, bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) ca. 12 km/h (Tempolimit 100 km/h) bzw. 13 km/h (Tempolimit 80 km/h). *In der Überleitung* bleiben die Geschwindigkeiten praktisch unverändert.

Die signalisierte Höchstgeschwindigkeit wird in der Überleitung bei Tempolimit 80 km/h von ca. 30% aller Fahrzeuglenker nicht eingehalten, während sie bei Tempolimit 100 km/h weitgehend eingehalten wird.

Hinsichtlich des Verzögerungsverhaltens in der Überleitung hat die Tempolimit kein Einfluss, weil die Geschwindigkeitsabnahme bei beiden Tempolimiten grösstenteils vor der Überleitung erfolgt.

- *Geschwindigkeitsveränderung infolge Tempolimit*

Die Geschwindigkeitsveränderungen infolge Tempolimit (80/100 km/h) wurden am Messquerschnitt unmittelbar nach dem Geschwindigkeitssignal erhoben. Sie erwiesen sich sowohl bzgl. der mittleren Geschwindigkeit (V_m) als auch jener der schnell fahrenden Fahrzeuge ($V_{85\%}$) als statistisch signifikant. Die Herab- oder Heraufsetzung der Tempolimit um 20 km/h bewirkt eine mittlere Veränderung der Fahrgeschwindigkeit um lediglich ca. 4.5 km/h bis 6.5 km/h.

In der Zufahrt liegen die Veränderungen der mittleren Geschwindigkeiten in keinem Verhältnis zur Differenz der signalisierten Tempolimiten von 20 km/h. Eine überproportionale Beeinflussung der schnell fahrenden Fahrzeuge kann nicht erwartet werden. Diese Folgerungen treffen auch für die Überleitung zu. Dort ist die Höhe der Fahrgeschwindigkeiten zu einem bedeutenden Teil auch von der Geometrie der Überleitung abhängig.

Bei Anordnung der Tempolimit 80 km/h im Baustellenbereich ist die beschränkte Wirkung auf die Fahrgeschwindigkeiten zu berücksichtigen. Umgekehrt hat die Anordnung der Tempolimit 100 km/h keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen im Geschwindigkeitsverhalten bewirkt.

Von Bedeutung ist auch, dass zwischen dem letzten Geschwindigkeitssignal (ca. 350 m vor der Überleitung) und dem Beginn der Überleitung die Geschwindigkeiten in Richtung Baustelle nicht wieder ansteigen.

Die in der bestehenden Norm [33] empfohlene Anordnung des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung in einem Abstand von 350 m erweist sich als geeignet.

- *Geschwindigkeitshomogenisierung*

Die Standardabweichungen der Geschwindigkeitsstreuung nehmen unabhängig von der Tempolimit in Richtung zur Baustelle ab. Die Auswirkungen der Veränderung der Tempolimit auf die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung sind nur geringfügig und erwiesen sich als statistisch nicht signifikant.

Mit unterschiedlicher Geschwindigkeitssignalisation in der Baustellenzufahrt lässt sich die Streuung der gefahrenen Geschwindigkeiten nicht wesentlich beeinflussen. Eine örtlich homogenisierende Wirkung des Geschwindigkeitssignals konnte bei den Versuchen nicht festgestellt werden.

Die Geschwindigkeitsstreuung in der Überleitung ist in der Regel nur noch leicht kleiner als am Ende der Zufahrt. Die Differenz der Standardabweichung beträgt bei beiden Tempolimiten ca. 1 km/h. Entlang der Überleitung bleiben die Standardabweichungen praktisch konstant. Der Mittelwert der Standardabweichungen in der Überleitung beträgt bei Tempolimit 80 km/h ca. 9 km/h. Bei Tempolimit 100 km/h ist er um knapp 1 km/h kleiner.

In der Überleitung findet unabhängig von der Tempolimite praktisch keine Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung mehr statt. Verglichen mit anderen Einflussgrössen (z.B. die Art der Leiteinrichtung) ist der Einfluss der Tempolimite auf die Geschwindigkeitsstreuung untergeordnet.

- Homogenität der Spurverteilung

Auf allen Untersuchungsstrecken zeigen sich deutliche Abweichungen von der Fahrstreifenachse (Kurvenschneiden oder Ausholen). Die Abweichungen bzw. die aufsummierten Gesamtverschiebungen der mittleren Fahrzeugachse treten unabhängig von der Tempolimite etwa im gleichem Masse auf. Dort wo dieser Grundsatz nicht zutrifft, werden die Abweichungen primär durch die Art der Leiteinrichtung und die örtliche Geometrie beeinflusst.

Die Standardabweichungen der mittleren Fahrzeugachse sind unabhängig von der Tempolimite nahezu konstant und nehmen gegen Ende der Überleitung geringfügig ab.

Die Spurstreuung und die Abweichungen von der Fahrstreifenmitte in der Überleitung sind von der Tempolimite nicht abhängig. Die Messergebnisse deuten jedoch auf Einflüsse der Leiteinrichtungen hin.

• Einfluss der Geschwindigkeitsüberwachung

Untersucht wurden Auswirkungen der Geschwindigkeitsüberwachung mittels einer Radarkabine am rechten Fahrbahnrand. Sie befand sich in einem Abstand von 125 m vor der Überleitung, war gut sichtbar und die Überwachung wurde mittels Anzeige angekündigt.



- Geschwindigkeitsanpassung und Einhaltung der Tempolimite

Auf beiden Fahrstreifen *in der Zufahrt* resultieren unabhängig von der Tempolimite deutliche und statistisch signifikante Verringerungen der Fahrgeschwindigkeiten infolge der Geschwindigkeitsüberwachung. Die Unterschiede zwischen den Zuständen ohne und mit Überwachung betragen je nach Fahrstreifen bei den mittleren Geschwindigkeiten (V_m) zwischen ca. 5.0 und 7.5 km/h (Tempolimite 80 km/h) bzw. zwischen ca. 4.0 und 6.0 km/h (Tempolimite 100 km/h). Bei der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) sind die Unterschiede um ca. 1.0 bis 3.0 km/h noch grösser. Durch die deutliche Verlangsamung wird gegen Ende der Zufahrt die Tempolimite 80 km/h auch von den schnell fahrenden Fahrzeugen eingehalten. Es treten auch deutlich geringere Standardabweichungen auf, sodass sich eine wesentlich homogenere Geschwindigkeitsverteilung einstellt.

Die Geschwindigkeitsabnahmen in der Baustellenzufahrt infolge Radarüberwachung bei einer bestimmten Tempolimite sind mit jenen vergleichbar, die mit einer Herabsetzung der Tempolimite um 20 km/h erreicht werden. Anders als bei der Geschwindigkeitssignalisation werden jedoch durch die Radarüberwachung

- das Tempolimite von 80 km/h am Ende der Zufahrt auch von den schnell fahrenden Fahrzeugen eingehalten und
- die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung deutlich verbessert.

Die für den Zufahrtsbereich festgestellte positive Wirkung der Geschwindigkeitsüberwachung ist auch *in der Überleitung* vorhanden: Die mittleren Geschwindigkeiten liegen mit ca. 2.0 bis 4.5 km/h signifikant tiefer als im Zustand ohne Radarüberwachung.

Die Radarüberwachung bewirkt auch bei der Gruppe der schnell fahrenden Fahrzeuge die Einhaltung der signalisierten Tempolimite von 80 km/h in der Überleitung. Sie führt auch zu einer frühzeitigeren und gleichmässigeren Geschwindigkeitsanpassung.

- Örtliche Auswirkungen der Überwachungsmaßnahme

Im Vergleich des örtlichen Einflusses der Ankündigung und der Radarkabine hat die Radarkabine einen wesentlich geringeren Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten. Die Geschwindigkeitsabnahme im Bereich der Ankündigung ist in den meisten Fällen doppelt so gross, wie jene der Radarkabine. Auch die Homogenisierung der Geschwindigkeiten wird durch die Ankündigung stärker beeinflusst als durch die Radarkabine selbst.

Sowohl die Ankündigung als auch die anschliessende und sichtbare Präsenz der Überwachungs-massnahme müssen als wesentlich für die Wirksamkeit erachtet werden

Die Betrachtung des räumlichen Einflussbereichs der Radarkabine hat in [7] gezeigt, dass sich die Auswirkungen auf den Bereich von ca. 200 m vor und hinter der Kabine beschränken. Um die positiven Effekte der Überwachung (Absenkung der Geschwindigkeit und Homogenisierung der Geschwindigkeitsverteilung) für den Beginn der Überleitung zu erzielen, ist es somit wesentlich den Abstand von ca. 200 m zwischen Radarkabine und Beginn der Überleitung nicht zu überschreiten.

Bei den Versuchen ergab sich auch bis zum Ende des Messbereichs (also ca. 200 bis 250 m nach der Radarkabine) kein Anstieg der Geschwindigkeiten. Dies hängt auch mit der Geometrie der Überleitung (Verschwenkungsradien, Breiten usw.) zusammen.

Der bei den Versuchen gewählte Abstand der Radarkabine von 125 m vor der Überleitung erwies sich als geeignet. Bei einem wesentlich grösseren Abstand könnte sich der auf offener Strecke festgestellte, negative Effekt auch vor Baustellen einstellen.

Der positive Effekt der Radarüberwachung auf die Verkehrssicherheit im Baustellenbereich wird durch Untersuchungen der Kantonspolizei Zürich ([23], [37]) bestätigt.

• Einfluss des Portals

Untersucht wurden Auswirkungen der Portalanordnung Signal „Baustelle“ auf gelben retroreflektierenden Tafeln. Die übergrossen Tafeln waren in einem Abstand von ca. 265 m vor der Überleitung aufgestellt. Knapp 100 m stromaufwärts stand jedoch das Geschwindigkeitssignal 80 km/h. Bei der Untersuchungsstrecke handelt es sich um eine übersichtliche Gerade, sodass die Signalisation von weitem einsehbar war.



Der Einsatz des auffälligen Portals in der Zufahrt zur Baustelle dient zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Fahrer und soll zur Geschwindigkeitsanpassung vor der Überleitung beitragen. Im Rahmen der vorliegenden Versuche konnte im Vergleich zum Zustand ohne Portal keine wesentliche Verbesserung festgestellt werden; dies im Gegensatz zu ausländischen Erfahrungen. Eine der möglichen Erklärungen dieser Diskrepanz könnte darin liegen, dass auf der Untersuchungsstrecke die Geschwindigkeitsanpassung bereits im Zustand ohne Portal weitgehend ohne abrupte Änderungen erfolgte und die Geschwindigkeitsabnahme hinreichend gross war. Wie weit eine deutlichere Wirkung des retroreflektierenden Portals auf die Geschwindigkeiten bei Dunkelheit vorliegt, kann nicht beantwortet werden.

Der Beitrag des Portals zur Aufmerksamkeitserhöhung kann nicht ausgeschlossen werden. Deutliche Auswirkungen auf das Geschwindigkeitsverhalten sind jedoch nicht zu erwarten.

Die zweite Erklärung liegt in der Tatsache, dass bei den ausländischen Versuchen der Portal mit auffälligen, am oberen Rand der beiden Signaltafeln angebrachten Blinklichtern ergänzt wurde. Es ist somit denkbar, dass das Geschwindigkeitsverhalten auch durch das alleinige Aufstellen von Blinklichtern günstig beeinflusst werden kann.

Die positiven ausländischen Erfahrung können in Ihrem Ausmass nicht bestätigt werden. Die Wirksamkeit des Portals stellt sich vermutlich nur in Kombination mit Blinklichtern ein.

• Einfluss der Leiteinrichtungen

Untersucht wurden Auswirkungen von zwei Systemen der Leiteinrichtungen zur Verkehrsführung im Überleitungsbereich. Sie wurden bei zwei Untersuchungsstrecken eingesetzt. Dabei war eine Überleitung einstreifig, die andere zweistreifig.



- Als Standardanordnung dienten bei allen Untersuchungsstrecken punktuell, entlang der Fahrstreifenlinien angeordnete *hohe Leitbaken*. Sie waren teilweise mit aufgesetzten Blinklichtern ergänzt.
- Bei zwei Untersuchungsstrecken wurden versuchsweise linienförmige *Leitschienen* mit aufgesetzten *niedrigen Leitbaken* eingerichtet.

Die Forderung nach einem möglichst homogenen Verkehrsablauf bedeutet, dass im Überleitungsbereich den geometrischen Gegebenheiten angepasste Geschwindigkeiten gefahren werden. Diese sollten bereits zu Beginn der Überleitung erreicht sein. In der Überleitung selber sollten keine weiteren Verzögerungen mehr stattfinden und eine homogene Geschwindigkeitsverteilung resultieren. Anzustreben ist auch eine möglichst homogene Spurverteilung. Grosse Streuungen und Abweichungen der Fahrzeuge von der Fahrstreifenachse deuten auf Unklarheiten in der Linienführung hin.

- *Geschwindigkeiten im Überleitungsbereich*

Für die mittleren Geschwindigkeiten V_m und für die $V_{85\%}$ konnte kein einheitlicher Einfluss durch die Art der Leiteinrichtung festgestellt werden. Ebenso konnte kein Einfluss der Leiteinrichtung auf die Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit beobachtet werden. Bei Tempolimiten 100 km/h traten im betrachteten Bereich keine Überschreitungen auf. Dahingegen wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf einer Strecke erst im Überleitungsbereich und bei der anderen Strecke nur in einem einzigen Querschnitt eingehalten. Ausgeprägt waren die Überschreitungen auf dem Überholfahrstreifen.

Weder auf das Geschwindigkeitsniveau noch auf die Einhaltung der Tempolimiten kann ein einheitlicher Einfluss der Leiteinrichtungen festgestellt werden.

- *Relative Veränderung der Geschwindigkeiten infolge der Leiteinrichtungen*

Bei allen hier einbezogenen Versuchen fällt die markante Verzögerung *kurz vor der Überleitung* auf. Unabhängig von der Leiteinrichtung findet an den Strecken mit vergleichbaren Randbedingungen eine Verzögerung von über 10.0 km/h statt.

Die massgebliche Geschwindigkeitsanpassung erfolgt bei allen Versuchen unabhängig von der Leiteinrichtung direkt vor der Überleitung.

In der Überleitung wird deutlich weniger verzögert. Auf den Untersuchungsstrecken wird vom ersten bis zum letzten Messquerschnitt der Überleitungen im Mittel um 2.2 km/h bei hohen Baken und lediglich um 0.6 km/h bei Leitschienen verlangsamt. Trotz der geringfügig höheren Ausgangsgeschwindigkeit bei Leitschienen entsteht ein homogenerer Verkehrsfluss als bei der Anordnung mit hohen Baken. Diese Beobachtung trifft sowohl für die mittlere Geschwindigkeit als auch für die Geschwindigkeit der schnell fahrenden Fahrzeuge zu.

Für die Ausführung mit Leitschienen und niedrigen Baken ergeben sich in der Überleitung homogenere Geschwindigkeitsverläufe. Die relativ gesehen stärkere Geschwindigkeitsabnahme bei hohen Baken bewirkt einen inhomogeneren Verkehrsfluss.

- *Homogenität des Fahrverhaltens*

Trotz der in der Regel grossen Geschwindigkeitsabnahme *kurz vor der Überleitung* ist hier der Homogenisierungseffekt uneinheitlich. Neben der Abnahme nehmen die Standardabweichungen vor der Überleitung auch zu. Bei der Anordnung mit Leitschienen ist die Homogenisierung geringfügig grösser als bei hohen Baken. In der Überleitung verändert sich die Geschwindigkeitsstreuung nur unwesentlich.

Die Art der Leiteinrichtung hat auf die Geschwindigkeitsstreuung bei normalen Sichtverhältnissen (am Tag) keinen wesentlichen Einfluss. Tendenziell liegt bei Leitschienen ein etwas homogener Verkehrsfluss vor.

Bedingt durch das Kurvenschneiden und vorheriges Ausholen kommt es in der Überleitung an allen Untersuchungsstrecken zu deutlichen Abweichungen der Fahrzeuge von der Fahrstreifenachse. Die bauliche Ausführung der Leiteinrichtung hat dabei einen grossen Einfluss auf diese Abweichungen. Bei der Verwendung von Leitschienen treten sowohl geringere Standardabweichungen von der mittleren Fahrzeuglage als auch geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse auf. Dieser positive Effekt trat am deutlichsten bei der Kombination von Leitschienen und Tempolimiten 80 km/h auf.

Im Vergleich zu den hohen Baken kann bei der Anordnung mit Leitschienen und niedrigen Baken eine wesentlich bessere Fahrzeugführung in der Überleitung erzielt werden.

- *Einflüsse aus der Überleitungsgeometrie und aus zusätzlichen Elementen in der Überleitung*

Neben der Ausführung der Leiteinrichtung haben auch die Öffnungslängen der Überleitungen (und somit die Überfahrtswinkel), die Fahrstreifenbreiten sowie zusätzliche Ausstattungselemente Einfluss auf das Fahrverhalten im Überleitungsbereich.

Sowohl der Vergleich der Versuchsstrecken mit der Betriebsform 4+0 (2-streifige Überleitung), als auch jener mit den Strecken der Betriebsform 3+1 (1-streifige Überleitung) zeigen eine deutliche

Abhängigkeit der Ergebnisse von der *Öffnungslänge der Überleitung*. Bei beiden Betriebsformen treten höhere Geschwindigkeiten bei grösseren Öffnungslängen auf, weil diese kleinere Überfahrwinkel und in der Regel auch grössere Kreisbogenradien aufweisen.

Situativ ermöglichen grössere Öffnungslängen ein schnelleres Befahren der Überleitungen. Die Erhebungen haben gezeigt, dass die Fahrzeuglenker dies auch ausnützen.

Dabei ist auch von Bedeutung, dass die Öffnungslängen der Mittelstreifenüberfahrten bei einigen Untersuchungsstrecken deutlich grösser waren als in der Norm [32] für eine Überfahrgeschwindigkeit von 80 km/h empfohlen wird.

Bei Öffnungslängen von über 100 m wird eine Tempolimite von 80 km/h auch am Ende der Überleitung von ca. 50 bis 70% aller Fahrer nicht eingehalten.

Die *Fahrstreifen-* und damit auch die gesamte *Fahrtraumbreite* zwischen den Leiteinrichtungen wirkt sich ebenfalls auf die Geschwindigkeiten aus:

Je grösser die Fahrstreifen- und Fahrtraumbreiten in der Überleitung, desto schneller werden sie in der Regel auch befahren.

Neben dem Einfluss auf die Geschwindigkeiten hat die Fahrstreifen- und Fahrtraumbreite auch einen deutlichen Einfluss auf das *Spurverhalten*. Je mehr Raum für Fahrmanöver dem Fahrzeuglenker zur Verfügung steht, desto grössere Abweichungen von der Fahrstreifenachse und desto grössere Spurstreuung treten auf. Dieser Aspekt ist bei zweistreifigen Überleitungen, die zwangsläufig grosse Fahrtraumbreite aufweisen wesentlich.

Für eine straffe Spurführung sind überbreite Fahrstreifen in der Überleitung zu vermeiden. Bei Fahrstreifenbreiten von deutlich mehr als 4.0 m und Fahrtraumbreiten zwischen den Leiteinrichtungen von gegen 10.0 m entsteht im Spurverhalten ein Schwimmeffekt.

Als zusätzliches Element in der Überleitung war die in SG1 hinter den hohen Baken montierte *niedrige Baustellenleitschranke* zu betrachten. Der Vergleich mit den Versuchen auf der Strecke ohne eine zusätzliche Leitschranke lässt keinen Einfluss auf das Geschwindigkeitsverhalten erkennen. Allerdings ergaben sich im Spurverhalten bei der Strecke mit Leitschranke geringere Abweichungen von der Fahrstreifenachse auf als bei der Strecke ohne Leitschranke.

Ein Einfluss der zusätzlichen Baustellenleitschranke hinter Leitbaken auf das Geschwindigkeitsverhalten konnte nicht festgestellt werden. Es fallen jedoch positive Einwirkungen auf das Spurverhalten auf.

- **Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse**

Untersucht wurden Veränderungen im Geschwindigkeits- und Spurverhalten infolge unterschiedlicher Beleuchtungsverhältnisse. Dazu wurden zwei Versuche nachts, bei der Anordnung mit hohen Leitbaken mit Leitschiene durchgeführt. Sie fanden auf der Strecke mit einstreifiger Überleitung (Betriebsform 3+1) statt.



- *Geschwindigkeitsverhalten*

Baustellenbereiche müssen auch bei Dunkelheit und anderen Sichtbeeinträchtigungen betrieben werden. Bei den durchgeführten Versuchen wurde deutlich, dass sich die Beleuchtungsverhältnisse (Tag / Nacht), aber auch die Art der Leiteinrichtungen auf das Fahrverhalten im Überleitungsbereich stark auswirken. Sowohl bzgl. der V_m - als auch der $V_{85\%}$ -Werte zeigen die Geschwindigkeitsverläufe bei Dunkelheit eine Verzögerung vor der Überleitung. In der Überleitung treten eine Beschleunigung und anschliessend eine zweite Verzögerung auf. Dieser Verlaufsmuster ist bei hohen Leitbaken ausgeprägter als bei Leitschiene mit niedrigen Baken. Dabei liegen die Geschwindigkeitswerte nachts bei der Anordnung mit Leitschiene signifikant tiefer als jene bei hohen Baken.

Die für den Überleitungsbereich signalisierte Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h wird auch nachts schlecht eingehalten. Die Geschwindigkeiten der Gruppe schnell fahrender Fahrzeuge ($V_{85\%}$) lagen an allen Messquerschnitten sowohl am Tag als auch nachts deutlich über der Tempolimite.

Anders als am Tag treten bei Nacht ungleichmässige Geschwindigkeitsverläufe auf. Diese, auf Unsicherheiten in der optischen Führung hinweisende Ungleichmässigkeiten resultieren bei beiden Arten von Leiteinrichtungen, sind jedoch bei der Anordnung mit hohen Baken wesentlich ausgeprägter als bei Leitschiene mit niedrigen Baken.

- Spurverhalten

Auch im Spurverhalten nachts bestehen zwischen den zwei Arten von Leiteinrichtungen deutliche Unterschiede. Bei der Anordnung mit Leitschiene waren in der Überleitung sowohl die Spurstreuung als auch die Gesamtverschiebung der Fahrzeuglage auffallend kleiner als bei hohen Baken.

Die Führungsfunktion der (linienförmigen) Leitschiene mit niedrigen Baken ist sowohl am Tag, vor allem aber bei Dunkelheit besser als jene der (punktförmigen) hohen Baken. Die Linienförmigkeit der in der Überleitung markierten Randlinien, entlang denen die grossformatigen Baken aufgestellt werden, kann den erwähnten Führungsnachteil nicht hinreichend kompensieren.

Aus dem untersuchten Geschwindigkeits- und Spurverhalten lässt sich folgern:

Die Anordnung mit Leitschiene und niedrigen Baken bewirkt bei Dunkelheit eine insgesamt bessere und frühzeitigere Geschwindigkeitsanpassung und eine etwas gleichmässiger Fahrweise in der Überleitung.

Auch in anderen Untersuchungen wird auf den Verdeckungseffekt grossformatiger Leitbaken, der sich aus der Fahrerperspektive in einem Personenwagen ergibt, hingewiesen. Demnach sollten vertikale Leiteinrichtungen vor allem am Innenrand der Kurven möglichst tief liegen, damit keine Verdeckung des Gegenbogens entsteht und damit vor allem der Kurvenbeginn von weitem erkennbar wird. Diese Beeinträchtigung der optischen Führung in die Tiefe besteht bei hohen Leitbaken auch am Tag, sie wird nachts durch das Reflektieren des Fahrzeuglichts akzentuiert. Die grossformatiger Leitbaken reflektieren aus einer grösseren Entfernung als niedrige Baken. Das bedeutet:

Das „Hindernis“ Baustelle wird nachts bei hohen Leitbaken früher wahrgenommen (und ist vermutlich die Ursache für die deutlich stärkere Verzögerung vor der Überleitung als bei niedrigen Baken). Die Linienführung der Überleitung kann jedoch wegen Verdeckungs- und Blendeffekten in Augenhöhe der Fahrzeugenker nicht immer rechtzeitig eingeschätzt werden.

Die vorliegende Untersuchung hat zudem gezeigt, dass auch vermeintlich unbedeutende Widersprüche zwischen Linienführung und Strassensignalisation (Anzeige des Fahrstreifenverlaufs) bei eingeschränkten Beleuchtungsverhältnissen zu ausgeprägten Unsicherheiten im Fahrverhalten führen.

In der Beilage zum Forschungsgesuch (vgl. erster Absatz in 1.3.) wurde u.a. postuliert:

„(Anders als längs der Baustelle, wo in der Regel gleichmässig gefahren wird), entstehen im Zufahrtsbereich im Zusammenhang mit der notwendigen Geschwindigkeitsanpassung an die signalisierte Tempolimite Inhomogenitäten im Verkehrsablauf. Sie manifestieren sich in einer erhöhten Geschwindigkeitsstreuung und in häufigeren Fahrstreifenwechseln.“

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse lässt sich die obige Vermutung insgesamt bestätigen. Häufigere Fahrstreifenwechsel wurden jedoch auf den Zufahrten der Untersuchungsstrecken nicht festgestellt. Vermutlich ergeben sie sich nur bei Betriebsformen mit Reduktion der Fahrstreifenanzahl im Baustellenbereich.

8.2. Folgerungen aus weiteren Erkenntnissen

Die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse zu Gestaltungsmaßnahmen in Baustellenbereichen stammen vorwiegend aus ausländischen Untersuchungen. Neben der bereits behandelten Portalanordnung umfassen sie Vorschläge zur Gestaltung im Zufahrtsbereich und im Überleitungsbereich.

8.2.1. Gestaltung im Zufahrtsbereich

- *Abstände der Geschwindigkeitssignale*

In verschiedenen Untersuchungen ([1], [13], [14], [30]) werden die Erfahrungen mit Signalisationsanordnungen zur Homogenisierung der Geschwindigkeiten in Baustellenzufahrten (sogenannte Geschwindigkeitstrichter) beschrieben. Sie betreffen neben der Höhe bzw. der Abstufung der signalisierten Tempolimite auch verschiedene Abstände der Geschwindigkeitssignale im Zufahrtsbereich. Aufgrund

der erwähnten Untersuchungen wurden die Abstände der Signale (jeweils vor dem Beginn der Überleitung/Verschwenkung) in den deutschen Richtlinien [26] festgelegt. In Tabelle 8-1 sind zum Vergleich auch die Abstände nach der VSS-Norm angegeben.

Geschwindigkeitssignale nach RSA [26]	Geschwindigkeitssignale nach VSS-Norm [33]
1. Signal (100 km/h) in 700 m	1. Signal (100 km/h) in 750 m
2. Signal (80 km/h) in 500 m	2. Signal (80 km/h) in 350 m
3. Signal (80 km/h) in 100 m	-

Tab. 8-1: Geschwindigkeitssignale vor Autobahnbaustellen

Aus dem Vergleich ist ersichtlich, dass in unserer Norm [33] die Anordnung eines dritten Signals kurz vor der Überleitung nicht vorgesehen ist, und dass das zweite Signal nach RSA [26] wesentlich früher aufgestellt wird als in VSS-Norm [33] empfohlen.

In 7.3.1.5. wurden das Geschwindigkeitsverhalten auf den Untersuchungsstrecken mit den Ergebnissen aus deutschen Untersuchungen (in [1], [13], [14], [30]) verglichen. Daraus ergab sich, dass in den Zufahrten der in Deutschland untersuchten Baustellen

- vor dem ersten Geschwindigkeitssignal (mangels generellen Tempolimits) wesentlich schneller gefahren wird,
- die Geschwindigkeiten im Abschnitt bis zur Überleitung ca. 10 km/h (V_m) bis 15 km/h ($V_{85\%}$) höher liegen und eine grössere Streuung aufweisen,
- die angezeigten Höchstgeschwindigkeiten wesentlich schlechter eingehalten werden und
- die Geschwindigkeitsverläufe eine ausgeprägte Verzögerungsspitze kurz vor der Überleitung aufweisen.

Aufgrund dieser Vergleiche drängt sich eine Anpassung der in der VSS-Norm festgelegten Signalabstände in der Zufahrt (Tabelle 8-1) nicht auf. Der Abstand zwischen dem ersten und zweiten Geschwindigkeitssignal von 400 m entspricht auch der Empfehlung von AULBACH [1], wonach die Abstufung im Geschwindigkeitstrichter nicht mehr als 5 km/h auf je 100 m betragen soll. Wie in 8.1.2. bereits erwähnt, hat sich der Abstand des zweiten Geschwindigkeitssignals, 350 m vor der Überleitung als geeignet erwiesen: Die Geschwindigkeitsanpassung wird auch auf den letzten 350 m fortgesetzt. Eine Ergänzung durch ein drittes Signal, wie sie in den deutschen Richtlinien enthalten ist, wäre zwar bei Tempolimits 80 km/h denkbar, bei gut einsehbarem Beginn der Überleitung wird sie jedoch nicht als zwingend erachtet.

Die in der bestehenden Norm empfohlenen Standorte der Geschwindigkeitssignale werden als geeignet erachtet. Die Abstufung der Tempolimits mit zwei Anzeigen ist in der Regel ausreichend.

- *Fahrbahneinengung am Ende der Zufahrt / vor der Überleitung*

In zwei Forschungsarbeiten aus Deutschland ([15], [19]) wurden die Auswirkungen einer trichterförmigen Fahrbahneinengung am Ende der Zufahrt untersucht. Die Einengung erfolgte durch Markierungsknöpfe und wurde durch das Aufstellen von dichtstehenden Leitbaken, ca. 15 cm hinter den Markierungsknöpfen optisch verstärkt: Die Leitbaken (mit aufgesetzten Blinklichtern) erscheinen aus der Fahrerperspektive wie eine durchgehende Wand. Die Einengung begann 200 m vor der Überleitung und die Einengungsstrecke war ca. 50 m lang. Die Grösse der Einengung betrug auf dem Normalstreifen ca. 0,5 m, auf dem Überholstreifen ca. 1,0 m. (vgl. Abb. 8-2).

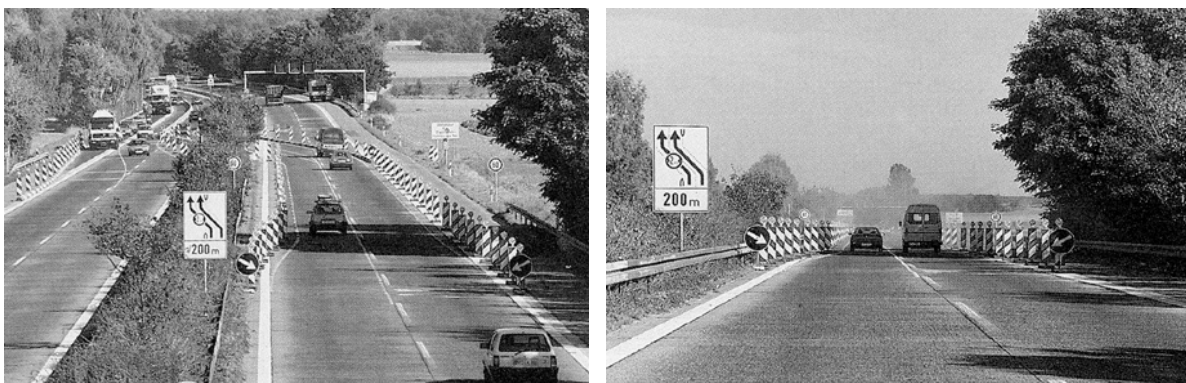


Abb. 8-2: Aufnahmen der trichterförmigen Einengung mit dicht stehenden Leitbaken aus [19]

Beide Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass eine derartige Verengung zu einem homogeneren Geschwindigkeitsverlauf im Bereich der Einengung und zu angepassten Geschwindigkeiten in der Überleitung führt. In [19] wird aufgezeigt, dass die Geschwindigkeiten am Tag bereits vor Beginn der Fahrstreifeneinengung auf dem Überholstreifen im Mittel ca. 10 km/h und auf dem Normalstreifen ca. 6 km/h niedriger liegen als bei einer Anordnung ohne Fahrstreifeneinengung; in der Überleitung wurde im Mittel ca. 5 km/h langsamer gefahren. Darüber hinaus hat sich auch die Geschwindigkeitsstreuung deutlich verringert. Die erwähnten Unterschiede im Fahrverhalten wurden auch bei Nacht festgestellt.

Mit einer trichterförmigen Fahrbahneinengung am Ende der Zufahrt lässt sich eine ähnlich grosse Geschwindigkeitsanpassung und –homogenisierung erzielen, wie jene mit der Radarüberwachung.

Aufgrund der Erkenntnisse in [15] und [19] wurde die Anlage der trichterförmigen Fahrbahneinengung am Ende der Zufahrt in die deutschen Richtlinien RSA [26] aufgenommen. Dort wird empfohlen, die Einengung in einem Verhältnis von 1:20 und einem Leitbakenabstand von max. 5 m vorzunehmen.

Eine Rücksprache mit den Verantwortlichen bei der Bundesanstalt für das Strassenwesen (BaSt) bestätigte, dass die Fahrbahneinengung gemäss RSA bei Baustellen auf Bundesautobahnen auch angewendet wird. In der Praxis wird jedoch bemängelt, dass diese Gestaltungsmassnahme vor allem bzgl. Unterhalt zu aufwendig ist.

8.2.2. Gestaltung im Überleitungsbereich

Wie in 7.4.3.7. und 7.4.4.5. dargelegt, wurden in [1] Veränderungen im Fahrverhalten untersucht, die infolge zwei verschiedenen Gestaltungen in der Überleitung entstehen. Die eine, konventionelle Anordnung nach RSA [26] bestand aus punktförmig angeordneten hohen Leitbaken. Die andere Gestaltung beinhaltete linienförmige Leitelemente: Auf der linken Seite der Überleitung war eine niedrige Metallleitschranke mit in Längsrichtung aufgebracht, reflektierendem Doppelstreifen sowie eine gelbe Leitschiene, welche vor der Metallleitschranke verlegt war; die rechte Seite der Überleitung war durch eine gelbe Leitschiene mit niedrigen reflektierenden Sichtzeichen und mit Reflektorbügeln markiert. Ähnlich niedrige Sichtzeichen wurden auch in [38] getestet.

Bei der Anordnung mit linienförmigen Leitelementen traten in der Überleitung niedrigere Geschwindigkeiten und eine deutlich niedrigere Geschwindigkeitsstreuung auf. Bereits bei normalen Beleuchtungsverhältnissen *am Tag* ergaben sich gleichmässigeren Geschwindigkeitsverläufe als bei der konventionellen Gestaltung. Diese Veränderungen bestätigen die Ergebnisse aus der vorliegenden Untersuchung.

Linienförmige Leiteinrichtungen im Bereich der Überleitung bewirken bereits am Tag homogenere Geschwindigkeitsverläufe.

Mit den erwähnten Gestaltungen in der Überleitung wurden in [1] auch Erhebungen *bei Dunkelheit* gemacht. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass bei der niedrigen, linienförmigen Anordnung durchweg ein angepassteres und homogeneres Geschwindigkeitsverhalten auftritt als bei der konventionellen Gestaltung. Dabei waren die Unterschiede ausgeprägter als bei Messungen am Tag. Auch die Ergebnisse bei Dunkelheit entsprechen den Erkenntnissen aus der vorliegenden Untersuchung.

Die linienförmige und niedrige Leiteinrichtung erfüllt auch bei Dunkelheit ihre optische Führungsfunktion besser als die punktförmige Ausführung mit hohen Baken.

8.3. Empfehlungen

In der vorliegenden Untersuchung konnten insgesamt 36 Folgerungen abgeleitet werden. Aufgrund dieser Erkenntnisse lassen sich die nachfolgend zusammengestellte Empfehlungen zur Gestaltung von Autobahnbaustellen abgeben. Sie sind in die Gruppen „Signalisation“, „Verkehrsüberwachung“, „Leiteinrichtungen“ und „Weitere Massnahmen“ gegliedert und gelten für Betriebsformen von Baustellen ohne Reduktion der Fahrstreifenzahl.

8.3.1. Signalisation

Zur Strassensignalisation in Zufahrten vor Autobahnbaustellen konzentrierten sich die Untersuchungen auf

- die Anordnung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 bzw. 100 km/h im Baustellenbereich
- die Lage der Geschwindigkeitssignale in Zufahrten zu Baustellen
- die übrigen Signale in Zufahrten zu Baustellen
- die Anordnung von Portalen mit gelb hinterlegten Signalen in Zufahrten zu Baustellen.

- *Tempolimite im Baustellenbereich*

Anders als die Tempolimite von 100 km/h wird jene von 80 km/h von den Fahrzeuglenkern bei allen hier untersuchten Betriebsformen sowohl in der Baustellenzufahrt als auch in der Überleitung massiv missachtet. Hinsichtlich des Verzögerungsverhaltens in der Überleitung hat die Tempolimite kein Einfluss, weil die Geschwindigkeitsabnahme bei beiden Tempolimiten grösstenteils vor der Überleitung erfolgt. Durch die Anordnung der Tempolimite von 80 km/h erfolgt auch keine überproportionale Beeinflussung der sicherheitsrelevanten, schnell fahrenden Fahrzeuge. Umgekehrt bewirkt die Anordnung der Tempolimite von 100 km/h keine sicherheitsrelevante Beeinträchtigungen im Geschwindigkeitsverhalten: Die Geschwindigkeitsverläufe sind in der Regel ausgeglichener als bei Tempolimite von 80 km/h.

Der Vorteil der Tempolimite von 100 km/h besteht zudem darin, dass die Fahrgeschwindigkeiten gegenüber jenen auf stromaufwärts liegenden Autobahnabschnitt (mit Tempolimite 120 km/h) weniger stark reduziert werden als bei der Anordnung der Tempolimite von 80 km/h. Die grösseren Differenzen im Geschwindigkeitsverlauf begünstigen bei stark belasteten Autobahnabschnitten die Entstehung von Störungen im Verkehrsfluss. Bei der Abstufung der Tempolimite von 120 auf 100 km/h ist die Anfälligkeit der Staubildung und -ausbreitung kleiner als bei der Abstufung der Tempolimite von 120 auf 80 km/h³⁵. Daraus können auch Sicherheitsvorteile resultieren.

→ *Aus diesen Gründen sollte die Tempolimite von 100 km/h im Baustellenbereich vermehrt angeordnet werden. Dies ist in der entsprechenden Norm [33] (vgl. dort Tabelle 1) auch vorgesehen.*

Die Anordnung der Tempolimite von 100 km/h bedarf klarer Voraussetzungen. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen können die folgenden Bedingungen angegeben werden:

→ *Ausreichende Fahrstreifenbreite im Baustellen-Innenbereich*

Diese wird wie folgt quantifiziert: Die in der Norm [33] für Normalfall vorgesehenen Breiten B1 und B2 (bei Betriebsform 4+0) bzw. B1 (bei Betriebsform 3+1) müssen eingehalten werden.

→ *Mittels Baustellenleitschranken baulich getrennte Fahrtrichtungen im Baustellen-Innenbereich (vgl. auch 8.3.4.).*

→ *Günstige Gestaltung der Mittelstreifenüberfahrt*

Diese wird in Anlehnung an die Norm [32] wie folgt quantifiziert:

- Die Öffnungslänge L_0 der Mittelstreifenüberfahrt entsprechend dem oberen Richtwert (Tab. 2 in [32])
- Radius der Ein- und Ausleitungsbogen von 400 m
- Bedingungen bzgl. Linienführung und Quergefälle entsprechend den Fällen 2 bis 4 (Tab. 4 in [32])

→ *Einfahrten bei Anschlüssen/Verzweigungen im Baustellen-Innenbereich*

Falls sich im Baustellenbereich Einfahrten befinden, so ist anhand der Norm SN 640 019 (Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Einfahrten in Hochleistungsstrassen) der Leistungsnachweis zu erbringen, dass keine Rückstaugefahr im Baustellen-Innenbereich besteht.

Bei den genannten Bedingungen für die Anordnung von Tempolimite 100 km/h wird zudem vorausgesetzt, dass die Baustelle bzw. das Arbeitspersonal durch physische Abschränkungen gesichert seien. Bei der Betriebsform 4+0 wird dies durch die bauliche Richtungstrennung im Mittelstreifen gewährleistet. Bei der Betriebsform 3+1 muss der zur Baustelle zugewandte Fahrstreifen mit einer Leitschranke oder -mauer abgetrennt werden.

- *Lage der Geschwindigkeitssignale*

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass unabhängig von der Höhe der Tempolimite rund ein Drittel der gesamten Geschwindigkeitsanpassung im Bereich des letzten Geschwindigkeitssignals (ca. 350 m vor der Überleitung) erfolgt. Wesentlich ist dabei, dass anschliessend bis zum Beginn der Überleitung die

³⁵ Aus diesen Gründen sollte im Baustellenbereich die Anordnung einer Tempolimite von 60 km/h wenn immer möglich vermieden werden.

Geschwindigkeiten in Richtung Baustelle nicht wieder ansteigen. Deshalb ist der zweite Geschwindigkeitssignal auch bei Tempolimite 100 km/h als Wiederholungs- bzw. Bestätigungsanzeige sinnvoll.

→ Die in der bestehenden Norm [33] empfohlene Anordnung des letzten Geschwindigkeitssignals vor der Überleitung in einem Abstand von 350 m erweist sich bei beiden Tempolimiten als geeignet.

Wie in 8.2.1. aufgezeigt, ist auch die Lage des ersten Geschwindigkeitssignals (750 m vor der Überleitung) angemessen. Eine Ergänzung mit einem dritten Geschwindigkeitssignal zu Beginn der Überleitung wird nicht als zwingend erachtet. Der Einsatz eines zusätzlichen Geschwindigkeitssignals sollte sich auf Situationen mit Einfahrtsrampen, die im Abschnitt zwischen dem zweiten Geschwindigkeitssignal und der Überleitung in die Fahrbahn einmünden, beschränken.

→ Die in der bestehenden Norm [33] empfohlenen Standorte der Geschwindigkeitssignale werden als zweckmässig erachtet. Die Abstufung der Tempolimite mit zwei Anzeigen ist in der Regel ausreichend.

- **Übrige Signale im Zufahrtsbereich**

Die übrige Strassensignalisation im Zufahrtsbereich der Untersuchungsstrecken entspricht in der Anordnung und Ausgestaltung den üblichen Standards, wie sie in der Norm [33] empfohlen und auch im Ausland eingesetzt werden. Im Rahmen der Untersuchung hat sich gezeigt, dass die Hinweissignale (Signal 4.77 „Anzeige der Fahrstreifen“) eine nicht zu unterschätzende Führungshilfe für Fahrzeuglenker darstellen (vgl. 7.4.4.6.). Widersprüchliche Anzeigen wirken sich auf den Verkehrsablauf bei Dunkelheit negativ aus.

→ Bei der Ausgestaltung der Hinweissignale zur Anzeige des Fahrstreifen ist darauf zu achten, dass die mit Pfeilen angezeigte Führungsform den vorausliegenden Fahrstreifenverlauf korrekt wiedergibt.

- **Portale im Zufahrtsbereich**

Gegen die Anwendung gelb hinterlegter Signale (Signal Nr. 1.14 „Baustelle“) in Form eines auffälligen, seitlich angeordneten Portals als ein Mittel zur Erhöhung der Aufmerksamkeit vor Baustellen ist im Grundsatz nichts einzuwenden. Diese Massnahme wird bereits in der Schweiz vereinzelt auch eingesetzt. Im Rahmen der vorliegenden Versuche konnte zwar keine wesentliche Verbesserung des Fahrverhaltens im Vergleich zum Zustand ohne Portal festgestellt werden, allerdings wurden keine Versuche bei Dunkelheit durchgeführt. Zudem ist zu berücksichtigen, dass sich eine erhöhte Aufmerksamkeit nicht zwingend im Fahrverhalten manifestieren muss und daher auch verkehrstechnisch schwer messbar ist (vgl. auch 8.3.6.).

Hingegen gilt es aus Sicherheitsgründen unbedingt zu verhindern, dass in unserem Nationalstrassennetz eine Art „zwei Klassen-Baustellen“ entsteht: Baustellen mit vermeintlich erhöhter Gefährdung (mit Portal) und solche, die mangels Portale von den Fahrzeuglenkern als Baustellen mit kleineren oder gar fehlenden Gefährdung missverstanden werden könnte. Dies würde sich auf die Verkehrssicherheit negativ auswirken.

8.3.2. Verkehrsüberwachung

Die Verkehrsüberwachung mittels einer stationären Radaranlage hat sich als ein wirksames Hilfsmittel zur Homogenisierung des Verkehrsablaufs im Baustellenbereich erwiesen. Sie führt zu einer frühzeitigeren und gleichmässigeren Geschwindigkeitsanpassung. Insbesondere gelingt es mit der Radarüberwachung die exzessiv erhöhten Fahrgeschwindigkeiten in der Zufahrt deutlich zu reduzieren. Vergleichende Untersuchungen an Baustellen im Kanton Zürich haben gezeigt, dass mit dieser Massnahme auch eine deutliche Verbesserung der Verkehrssicherheit im gesamten Baustellenbereich erreicht wird.

Aufgrund vorliegender Erkenntnisse können zum Einsatz der Radarüberwachung folgende Empfehlungen angegeben werden:

→ Geeignete Einsatzorte sind

- vor Überleitungen (bzw. Verschwenkungen oder Fahrstreifenabbaus) zu Beginn des Baustelleninnenbereichs
- vor Einfahrten, die sich im Baustellen-Innenbereich befinden.

→ Zur Entfaltung der präventiven Wirkung sollten die Radaranlagen sichtbar sein und mit Hinweisschildern angekündigt werden.

→ Die Anordnung der Radaranlagen sollte in einem Abstand von ca. 100 bis 150 m vor dem Einsatzort erfolgen; Abstände von mehr als 200 m sind zu vermeiden.

8.3.3. Leiteinrichtungen

Die überdurchschnittlich häufigen Unfälle bei Dunkelheit erfordern Bemühungen zur Verbesserung der optischen Führung im Baustellenbereich. In der vorliegenden Untersuchung hat sich die Zweckmässigkeit von linienförmigen und niedrigen Leiteinrichtungen (Leitschiene mit aufgesetzten Leitbaken im Kleinformat) im Bereich von Überleitungen gezeigt. Diese Erkenntnis bestätigt auch Ergebnisse ausländischer Untersuchungen.

Bei der Anordnung mit Leitschienen und niedrigen Baken ergeben sich in der Überleitung homogenere Geschwindigkeitsverläufe in der Zufahrt und eine wesentlich bessere Fahrzeugführung in der Überleitung als bei der Anordnung mit hohen Baken. Diese Unterschiede sind bei Dunkelheit ausgeprägt. Der Grund hierfür liegt in der Tatsache, dass bei hohen Leitbaken die Linienführung der Überleitung wegen Verdeckungs- und Blendeffekten in Augenhöhe der Fahrzeuglenker nicht immer rechtzeitig eingeschätzt werden kann.

Im Hinblick auf den Baustellenbetrieb nachts wird deshalb empfohlen:

- *Im Bereich von Überleitungen und Fahrstreifenverschwenkungen sollten vermehrt Leitschienen mit niedrigen Leitbaken (im Klein- oder Miniformat) eingesetzt werden.*
- *Hohe Leitbaken sollten bei gekrümmten Fahrstreifenführungen nicht verwendet werden. Ihr Einsatz zur optischen Abtrennung des Hindernisbereichs sollte sich auf gestreckte Abschnitte beschränken.*

8.3.4. Weitere Massnahmen

Die in dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse zum Verkehrsablauf und zum Unfallgeschehen im Baustellenbereich führen zu Empfehlungen betreffend Geometrie der Mittelstreifenüberfahrt, physische Richtungstrennung der Fahrtrichtungen, Fahrstreifenabbau und Ein-/Ausfahrten im Baustellen-Innenbereich.

- *Geometrie der Mittelstreifenüberfahrt*

Die Messungen haben gezeigt, dass grössere Öffnungslängen und überbreite Fahrstreifen in der Überleitung zu erhöhten Geschwindigkeiten führen. Bei Öffnungslängen von über 100 m wird eine Tempolimit von 80 km/h auch am Ende der Überleitung von ca. 50 bis 70% aller Fahrer nicht eingehalten. Solche Öffnungslängen sind nur zusammen mit einer Tempolimit von 100 km/h angezeigt.

Bei Fahrstreifenbreiten von deutlich mehr als 4.0 m und Fahrraumbreiten³⁶ zwischen den Leiteinrichtungen von gegen 10.0 m entsteht im Spurverhalten ein Schwimmeffekt. Für eine straffe Spurführung sind überbreite Fahrstreifen in der Überleitung zu vermeiden.

- *Bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h sind die Richtwerte für Öffnungslängen der Mittelstreifenüberfahrt gemäss Norm [32] einzuhalten; bei grösseren Öffnungslängen soll eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h signalisiert werden.*
- *Für eine straffe Spurführung und angepasste Geschwindigkeiten sind überbreite Fahrstreifen in der Mittelstreifenüberfahrt zu vermeiden; die entsprechenden Richtwerte gemäss Norm [32] sind einzuhalten.*

- *Physische Richtungstrennung*

Die Unfallauswertungen für die Untersuchungsstrecken haben gezeigt, dass Baustellen-Innenbereiche ausserhalb von Anschlüssen/Verzweigungen (B3i) bei den Betriebsformen 4+0 und 3+1 keine erhöhte Unfallhäufigkeit im Vergleich zum Zustand ohne Baustelle aufweisen. Dabei ist von Bedeutung, dass bei allen Baustellen die Fahrtrichtungen mittels Baustellenleitschranken baulich getrennt waren.

- *Die physische Trennung der Fahrtrichtungen im Baustellen-Innenbereich sollte wenn immer möglich eingerichtet werden. Bei der Anwendung der niedrigen Metallleitschranken (Mini-Varioguard) ist der Mehrbedarf an Breite im Vergleich zu den konventionellen (hohen) Leitbaken nur minimal.*

- *Fahrstreifenabbau*

Die Leistungsfähigkeit im Baustellenbereich wird allein schon infolge der reduzierten Fahrstreifenbreiten und der eingeschränkten seitlichen Hindernisfreiheiten um bis zu 30% reduziert (vgl. z.B. [10], [25]). Wird zudem die Anzahl von Fahrstreifen reduziert, ergeben sich infolge Verkehrsbehinderung entsprechend hohe Zeitverluste und Unfallkosten. Die Unfallauswertungen in dieser Untersuchung haben auch

³⁶ Darunter wird die gesamte optische Querschnittsbreite zwischen den seitlichen Leit- bzw. Trennelementen verstanden.

deutlich gezeigt, dass Verkehrsführungen mit Fahrstreifenreduktionen im Baustellenbereich bereits bei mittleren Verkehrsbelastungen zu überproportionaler Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen.

→ *Betriebsformen mit Reduktion der Fahrstreifenanzahl sollten bei Autobahnbaustellen wenn immer möglich vermieden werden.*

- *Ein-/Ausfahrten*

Ein erhöhter Handlungsbedarf liegt in der Gestaltung der Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich vor. Sie werden oft mit einer im Vergleich zu den Über- bzw. Rückleitungen auffallend kleineren Sorgfalt eingerichtet und bilden in der Regel eigentliche Unfallschwerpunkte. Neben einer sorgfältigen Einrichtung und einer verbesserten Gestaltung in Bereich von Anschlüssen (vgl. auch 8.3.6.) sollten auch

→ *die Möglichkeiten von zeitweiligen Sperrungen der Ein-/Ausfahrten in die Baustellenplanung einbezogen werden.*

8.3.5. Baustellen an Autostrassen

Die Untersuchungsschwerpunkte, wie sie in 1.3. bzw. in 8.3.6. beschrieben sind, beziehen sich primär auf Baustellen an Autobahnen. Angesichts der nur beschränkten und im Zuge des Ausbaus zu Autobahnen abnehmenden Zahl bzw. Länge von Autostrassen in der Schweiz (2004: ca. 270 km, fast ausschliesslich 2-streifig) würde es kaum gelingen, geeignete Baustellen für die Durchführung von Versuchen und Unfallauswertungen zu finden. Bezeichnenderweise konnten auch – trotz umfangreicher Literaturrecherchen – keine anderweitigen Untersuchungen zu den Baustellen auf zweistreifigen Autostrassen gefunden werden. Die beschränkten Forschungsmittel wurden deshalb für die Baustellen auf Autobahnen eingesetzt.

Einige der obigen Empfehlungen zur Ausgestaltung des Zufahrtbereichs zu Autobahnbaustellen lassen sich dennoch auch auf den HLS-Typ „Autostrasse“ sinngemäss übertragen. So z.B. jene, betreffend die Art von Leit- und Trenneinrichtungen.

8.3.6. Ergänzende Forschungsthemen

In der Einleitung zu dieser Forschungsarbeit (vgl. 1.3.) wurden für die Untersuchungsarbeiten folgende Schwerpunkte festgelegt:

- Ausgestaltung des Übergangsbereichs bis zur Fahrstreifeneinengung oder Fahrstreifenverschwenkung bzw. Überleitung mittels Mittelstreifenüberfahrt. Dies betrifft die Signalisation (Art und Abstände), die Fahrbahnmarkierung, vertikale Leiteinrichtungen und übrige Führungshilfen.
- Bei den Mittelstreifenüberfahrten steht – zusätzlich zur Geometrie gemäss VSS-Norm SN 640 135 – die Ausgestaltung zur klaren optischen Führung am Tag und bei Dunkelheit im Vordergrund.
- Verwendung der verschiedenen Typen von Leiteinrichtungen, teilweise auch solcher mit zusätzlicher Schutzfunktion (transportable Schutzeinrichtungen aus Beton oder Metall) sowie Leitschienen, Leitbaken usw. und ihre Wirksamkeit bei verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen.
- Zweckmässigkeit des Einsatzes der (angekündigten) Geschwindigkeitsüberwachung im Übergangsbereich vor den Baustellen.
- Als ein Sonderproblem erweisen sich Ein- und Ausfahrten bei Anschlüssen und Rastplätzen, die im Bereich der Baustellen betrieben werden müssen. Hier sind die Verkehrsführung und Ausgestaltung unter Berücksichtigung der Struktur des Unfallgeschehens zu untersuchen.

Zu den vier ersten Schwerpunkten konnten in dieser Untersuchung Erkenntnisse gewonnen werden. Beim Untersuchungsschwerpunkt betreffend *Ein- und Ausfahrten im Baustellen-Innenbereich* hat sich gezeigt, dass diese in der Regel zur erhöhten Unfallhäufigkeit führen. Allerdings war die Datenstichprobe nur beschränkt und detaillierte Unfallauswertungen waren nicht möglich. In der Zwischenzeit konnte die verkehrstechnische Abteilung der Kantonspolizei Zürich eine umfangreiche und ausführliche Datensammlung aller Unfälle an Autobahnbaustellen über mehrere Jahre aufbereiten. Es wäre also empfehlenswert, gestützt auf diese Datensätze eine Untersuchung durchzuführen, mit dem Ziel, die Umstände und mögliche Ursachen der Unfallhäufungen abzuklären und entsprechende Massnahmenvorschläge zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zu erarbeiten.

In der erwähnten Aufbereitung von Unfalldaten an Baustellen im Kanton Zürich hat sich gezeigt, dass einer der vordringlichen Schwerpunkte im Unfallgeschehen die sogenannten *Tagesbaustellen* bilden. Zu ihrer temporären Einrichtung und Absicherung werden – in Anlehnung an Empfehlungen in der Norm [33] und

der zugehörigen Beilage³⁷ - mobile, übergrosse Anzeigen des Fahrstreifenabbaus, ergänzt mit blinkendem Pfeil eingesetzt. Diese Anzeigen werden auf Fahrzeugen befestigt, die gleichzeitig einen physischen Schutz des gesperrten Fahrstreifens bilden. Obwohl diese Anzeigen sehr auffällig und gut sichtbar sind, zeigen die ersten Unfallauswertungen, dass ungewöhnlich viele und in der Regel auch folgenschwere Unfälle durch Aufprall auf diese „schützenden“ Fahrzeuge geschehen. Diese ungünstige Situation stellt die Zweckmässigkeit der empfohlenen Baustelleneinrichtung in Frage. Es ist somit angezeigt, und aus der Sicht der Verantwortlichen auch vordringlich, die Ursachen dieser erhöhten Unfallhäufigkeit zu untersuchen.

In 8.3.1. wurde auf die Anordnung der gelb hinterlegter Signale (Signal Nr. 1.14 „Baustelle“) in Form eines auffälligen, seitlich angeordneten Portals zur Erhöhung der Aufmerksamkeit vor Baustellen eingegangen. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte bei den kurzzeitigen Versuchen mit dem *Einsatz der Portale* keine wesentliche Verbesserung des Fahrverhaltens festgestellt werden. Die Auswirkungen dieser Massnahme auf das Unfallgeschehen konnten jedoch nicht untersucht werden. Es wäre deshalb angezeigt, die Zweckmässigkeit der Portale in einer neuen Untersuchung zu überprüfen. Denkbar wären hierzu Vergleiche des Unfallgeschehens mit und ohne Portale, während längerer Baustellenperioden, an ähnlichen Baustellen. Im Hinblick auf die positiven ausländischen Erfahrungen hinsichtlich Torwirkung dieser Portale, sollten auch Versuche mit ergänzenden Blinklichtern einbezogen werden. Zu diesen Versuchen an schweizerischen Baustellen sollten die Verantwortlichen der Herstellerfirmen eingeladen werden.

8.4. Normung

Für die Einrichtung und Betrieb von Baustellen an Hochleistungsstrassen bestehen zur Zeit im Normwerk der VSS zwei Normen.

- Die wichtigste Grundlagennorm ist die Norm SN 640 885c „Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen“. Sie konzentriert sich auf Empfehlungen zur Signalisation, Markierungen und Leiteinrichtungen, enthält aber auch einige Angaben zur Geometrie (Breiten, Längen). Diese Norm enthält zudem eine Beilage mit ausgewählten Baustellentypen (aktuelle Ausgabe 2000).
- Die Norm SN 640 135 „Linienführung, Mittelstreifenüberfahrten“ ist eine Projektierungsnorm, welche Richtwerte für die Geometrie der Mittelstreifenüberfahrten im Baustellenbereich sowie Kriterien für deren Anordnung auf der Autobahnstrecke enthält.

Indirekt gehört noch die Norm SN 640 018 „Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit; Freie Strecken auf Autobahnen“ dazu. In dieser Norm sind unter anderem Richtwerte der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität bei verschiedenen Betriebsformen angegeben, die bei der Einrichtung von Baustellen an HLS berücksichtigt werden sollten.

Über die Erarbeitung weiterer baustellenrelevanten Normen bestehen in der zuständigen Expertenkommission (EK 3.02) zur Zeit keine konkreten Absichten.

8.4.1. Analyse der bestehenden Normen

In diesem Abschnitt werden die bestehenden VSS-Normen aufgrund der Erkenntnisse aus dieser Untersuchung auf allfällige Mängel überprüft. Dabei werden auch Vergleiche mit den deutschen Richtlinien RSA [26] angestellt. Im Vordergrund der Analyse steht die Norm SN 640 885c [33].

- **Geschwindigkeitsregelung und –überwachung in der Norm [33]**

In [33] ist die *zulässige Höchstgeschwindigkeit* in Abhängigkeit von der Fahrstreifenbreite im Baustellen-Innenbereich (B_{3i}) angegeben (Tab. 1). Der Normalfall (Fahrstreifenbreite B₁ = 3,25 m bis 3,50 m und B₂ = 2,75 m bis 3,25 m) sieht eine Tempolimite von 100 km/h vor. Bei reduzierten Fahrstreifenbreiten (3,00 m für NS; 2,50 m für ÜS) ist eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h vorgesehen. Die Untersuchungen an den Versuchsstrecken haben die Zweckmässigkeit der obigen Regelung bestätigt: Durch eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h entstehen keine sicherheitsrelevanten Beeinträchtigungen und in Bezug auf die Einhaltung der signalisierten Höchstgeschwindigkeit hat sich die Tempolimite von 100 km/h im Vergleich zu 80 km/h als zweckmässig herausgestellt.

³⁷ Sogenanntes grünes Handbuch (Ausgabe 2000), welches den Verantwortlichen als ein rechtlich verbindliches Arbeitsinstrument dient (Herausgeber: Bundesamt für Strassen und VSS).

→ In der Norm [33] fehlen für die Anordnung von Tempolimiten 100 km/h klare Einsatzgrenzen. Hierzu zählen neben der Fahrstreifenbreite, die Öffnungslänge der Mittelstreifenüberfahrt, die bauliche Abtrennung vom Gegenverkehr³⁸ und die Baustellenlänge.

Demgegenüber hat sich die in der Norm vorgegebene *Position der Geschwindigkeitssignale* als geeignet herausgestellt. Die Versuche haben gezeigt, dass zwischen dem ersten (750 m) und zweiten (350 m) Signal die Fahrgeschwindigkeiten in der Regel kontinuierlich abnehmen und auf den letzten 350 m vor Überleitungsbeginn traten keine Beschleunigungen auf.

Die vorliegende Untersuchung hat die Wirksamkeit der *Geschwindigkeitsüberwachung* als ein Mittel zur Homogenisierung der Fahrgeschwindigkeiten und zur Einhaltung der signalisierten Tempolimiten, aber auch als ein wichtiger Mittel zur Reduktion der Unfallhäufigkeit deutlich gezeigt. Dieses Hilfsmittel sollte bereits auf Stufe Baustellenplanung in die Überlegungen mit einbezogen werden.

→ Auf die Geschwindigkeitsüberwachung wird in der bestehenden Norm [33] nicht hingewiesen. Dementsprechend fehlen auch Angaben zur Anordnung und Ausgestaltung (Lage, Ankündigung) dieser sicherheitsrelevanten Massnahme.

- **Führungsfunktion der Leiteinrichtungen in der Norm [33]**

Anders als am Tag, treten bei Dunkelheit oft Inhomogenitäten im Geschwindigkeits- und Spurverhalten vor und im Überleitungsbereich auf. Die Auswertungen haben auch gezeigt, dass sich bei Nacht überdurchschnittlich viele Unfälle ereignen (vgl. 6.2.5.). In der bestehenden Norm wird die wichtige Aufgabe der vertikalen Leiteinrichtungen zur *optischen Führung bei Dunkelheit* im Bereich von Überleitungen, Verschwenkungen und Anschlüssen/Verzweigungen zu wenig hervorgehoben.

Die vorliegende Untersuchung hat gezeigt, dass die zwei Arten von Leiteinrichtungen bei normalen Beleuchtungsverhältnissen am Tag etwa gleichwertig sind, bei Dunkelheit jedoch bewirken die linienförmigen Leitschienen mit niedrigen Baken eine wesentlich bessere Führung des Verkehrs als die punktförmig angeordnete hohen Leitbaken. Diese Erkenntnis wird auch in ausländischen Untersuchungen bestätigt. Sie gilt sinngemäss auch für alle Formen von Fahrstreifenverschwenkungen.

→ In der bestehenden Norm [33] ist eine Vielzahl von Leiteinrichtungen enthalten (Ziffer 24). Es fehlen jedoch klare Kriterien und Empfehlungen für deren Einsatz im Baustellenbereich.

- **Einzelaspekte in der Norm [33]**

- Ziffer 5 „Grundsätze“

„Stausituationen sind zu vermeiden. Eine Reduktion der Anzahl der Fahrstreifen ist ausnahmsweise zulässig, wenn der Richtungsverkehr in der Spitzenstunde nicht mehr als 1500 Motorfahrzeuge bei zwei Fahrstreifen je Richtung und nicht mehr als 3000 Motorfahrzeuge bei drei Fahrstreifen je Richtung aufweist.“

Die Auswertungen haben gezeigt, dass Verkehrsführungen mit *Fahrstreifenreduktionen* im Baustellenbereich wenn immer möglich zu vermeiden sind. Sie führen bereits bei mittleren Verkehrsbelastungen zu überproportionaler Erhöhung der Unfallhäufigkeit.

→ In der Norm fehlt zudem ein Verweis auf die Bemessungsnorm SN 640 018³⁹, in welcher Richtwerte der Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität an Autobahnbaustellen angegeben sind.

- Ziffer 6 „Fahrstreifenbreiten“

In der Norm [33] sind *Fahrstreifenbreiten* (B1 für Normalstreifen bzw. für übergeleiteten Fahrstreifen, B2 für Überholstreifen mit Breitenbeschränkung) im Baustellenbereich für

- den Normalfall (B1 = 3,25-3,50 m; B2 = 2,75-3,25 m) und
- für das Minimum (B1 = 3,0 m; B2 = 2,5 m)

in Abhängigkeit der signalisierten Tempolimiten angegeben (Tab.1). Wie aus Tabelle 8-2 ersichtlich, werden in der Praxis auch die Mindestbreiten im Baustellenbereich angewendet.

Die Fahrstreifenbreiten in der Norm sind jenen in den deutschen Richtlinien [26] ähnlich, allerdings werden sie dort von der Länge der Baustelle abhängig gemacht: Der in [26] mit einer Beschränkung der Fahrzeugbreite (max. 2 m) versehene Behelfsfahrstreifen (entspricht der Fahrstreifenbreite B2) kann in seiner Breite, bei einer bis zu 6,00 km langen Baustelle, auf 2,50 m reduziert werden. Bei einer 6,00 bis 9,00 km langen Baustelle ist eine Fahrstreifenbreite von 3,00 m vorgesehen. Bei längeren Baustellen beträgt die Mindestbreite in [26] 3,25 m.

³⁸ Die Abtrennung durch eine Baustellenleitschranke wird in RSA [26] als zwingend vorgeschrieben.

³⁹ Leistungsfähigkeit, Verkehrsqualität, Belastbarkeit: Freie Strecken auf Autobahnen. Diese Norm wird von der FK 3 betreut (EK 3.08).

Untersuchungsstrecke (Betriebsform)	Fahrstreifenbreite B1	Fahrstreifenbreite B2	Baustellenlänge (km)
SG1 (4+0)	3.00	2.50	10.0
SG2 (3+1)	3.50	3.30	4.0
ZG1 (4+0)	3.00	2.95	1.5
AG1 (4+2/4+1)	3.25	3.25	2.7

Tab. 8-2: Fahrstreifenbreiten im Baustellenbereich der Untersuchungsstrecken

→ In der Norm [33] wird bei der Fahrstreifenbreite B2 die Baustellenlänge nicht berücksichtigt. In ausländischen Richtlinien erfolgte diese Festlegung aufgrund von sicherheitstechnischen Überlegungen.

- Ziffer 8 „Mittelstreifenüberfahrten“

„Mittelstreifenüberfahrten sind gemäss Norm [1] auszuführen. In Abweichung zur Norm [1] kann bei optimalen Verhältnissen die Höchstgeschwindigkeit mit 100 km/h signalisiert werden.“

Unter der oben zitierten „Norm [1]“ wird die Projektierungsnorm SN 640 135 (Mittelstreifenüberfahrten, [32]) angesprochen. Die dort enthaltene Gestaltungsempfehlungen sind auf eine Überfahrtsge-
schwindigkeit von nur 80 km/h ausgelegt. Für eine höhere Geschwindigkeit müsste die Norm [32] revidiert werden; zumindest wäre die Angabe der optimalen Verhältnisse für die Anordnung der Höchstgeschwindigkeit 100 km/h erforderlich. Die Überleitungsgeometrie hat erwiesenermassen einen beträchtlichen Einfluss auf das Fahrverhalten. Bei den Untersuchungsstrecken wurde die in der Norm [32] empfohlene Öffnungslänge der Überleitung entweder überschritten oder es wurde eine Länge nahe der Obergrenze realisiert.

→ In der Norm [33] fehlt die Umschreibung der optimalen Verhältnisse, welche die Anordnung der Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h in der Überleitung erlauben.

- Ziffer 11 „Leiteinrichtungen und Abschränkungen“ und Ziffer 12 „Beleuchtung“

Wie bereits erwähnt, hat die vorliegende Untersuchung die Zweckmässigkeit von *linienförmigen, niedrigen Leiteinrichtungen*⁴⁰ als Mittel zur Verdeutlichung der optischen Führung, vor allem bei Dunkelheit aufgezeigt. Diese, auch im Ausland bestätigte Erkenntnisse sind in den Ziffern 11 und 12 sowie in der Abbildung 4 der Norm [33] zu berücksichtigen.

Ein Beitrag der in Ziffer 12 der Norm [33] erwähnten „gelben Leuchten auf Leitbaken“ und „Aufbaulichter oder Lauflichter“ zur Verdeutlichung der Verkehrsführung konnte in dieser Untersuchung nicht festgestellt werden.

- Ziffer 22 „Details“

Dieser Normabschnitt enthält schematisierte Abbildungen zur Veranschaulichung der Bereiche einer Reduktion, einer Verschwenkung, einer Überleitung und Rückführung von Fahrstreifen. In den Abbildungen ist jeweils eine Metrierung enthalten. Daraus geht hervor, dass alle genannten Bereiche eine Länge von 100 m aufweisen. Anders als für die Überleitung / Rückleitung besteht für die geometrische Gestaltung der Fahrstreifenreduktion und –verschwenkung keine Projektierungsnorm. Hierzu wäre es denkbar in der Norm anzugeben, dass Fahrstreifenverschwenkung und Fahrstreifenabbau analog den Mittelstreifenüberfahrten zu gestalten sind.

Für Überleitung / Rückleitung ergeben sich hinsichtlich ihrer Länge und Breite Diskrepanzen zur Projektierungsnorm „Mittelstreifenüberfahrten“ [32]:

Die *Länge der Mittelstreifenüberfahrt* wird in [32] grundsätzlich kürzer angegeben (70-90 m bzw. 75-100 m) als in der Norm [33] (100 m).

Bei der *Breite der Mittelstreifenüberfahrt* handelt es sich offensichtlich um ein zeichnerisches Versehen:

- In der Projektierungsnorm [32] wird die Fahrstreifenbreite inklusive Markierung vermassst; hinzu kommt eine 30-50 cm breite Absetzung der Leiteinrichtungen.
- In der vorliegenden Norm [33] ist die Fahrstreifenbreite exklusive Markierung eingezeichnet. Zudem verleitet die zugehörige Angabe „B + (0.60-1.00 m)“ zur Annahme, die Fahrstreifenbreite sei um den Klammerwert zu erhöhen, während in der Norm [32] sich der Klammerwert auf die Absetzung der Leiteinrichtung von den Fahrstreifenrändern bezieht.

⁴⁰ Darunter sind Leitschienen oder niedrige Baustellen-Leitschranken aus Metall mit aufgesetzten, niedrigen Leitbaken (Klein- oder Miniformat) oder Reflektoren zu verstehen.

8.4.2. Vorschläge zur Normung

Aufgrund der Ergebnisse in 8.1. bis 8.3. wird empfohlen, folgende Anpassungen in den VSS-Normen vorzunehmen:

Im Sinne einer Minimalvariante, sollte die bestehende Norm SN 640 885c [33], inklusive zugehörige Beilage gemäss der Analyse in 8.4.1. angepasst werden.

Falls in der zuständigen Expertenkommission weitere Normungsabsichten zum Thema Bauarbeiten an Hochleistungsstrassen bestehen, so wäre zu überlegen, ob nicht eine eigenständige Normgruppe eingerichtet werden soll, in welcher die Anforderungen umfassend geregelt werden. Dabei würde sich auch eine entsprechend umfassendere Bezeichnung der Normgruppe, z.B. „Einrichtung und Betrieb von Baustellen an Hochleistungsstrassen“ aufdrängen. Alternativ wäre auch eine Normgruppe denkbar, in welcher die Baustellenbelange für allen Strassentypen vereinigt würden („Einrichtung und Betrieb von Baustellen an Strassen“).

Innerhalb der neuen Normgruppe wäre dann die bestehende Norm SN 640 885c [33], die in der vorliegenden Form bereits sehr umfangreich ist, so zu vereinfachen, dass sie sich nur auf die engeren Belange der Signalisation beschränkt. Die übrigen Aspekte grundsätzlicher Art, wie sie z.B. in Ziffern 5 bis 8 der bestehenden Norm [33] enthalten sind, die Gliederung/Typisierung der Baustellen- und der Verkehrsführungsformen, das Vorgehen bei der Baustellenplanung usw. könnten in einer Kopfnorm der neuen Normgruppe behandelt werden.

Für diese Neukonzeption sprechen auch die in 8.3.6. angeregten Zusatzuntersuchungen zu den Problemschwerpunkten „Ein- und Ausfahrten im Baustellen-Innenbereich“ und „Tagesbaustellen“. Aufgrund der zu erwartenden Erkenntnisse könnten sich hier zusätzliche Anforderungen ergeben, die in einzelnen, neuen Normen zu berücksichtigen wären.

Als Detailnormen in der neuen Normgruppe kommen neben der vereinfachten Norm „Signalisation von Baustellen“ beispielsweise in Frage:

- Leit- und Absperreinrichtungen
- Bauliche Leit- und Trennelemente
- Gestaltung und Ausrüstung⁴¹ von Mittelstreifenüberfahrten
- Einrichtung von Ein- und Ausfahrten im Baustellenbereich
- Einrichtung und Betrieb von Tagesbaustellen.

Für die Normungsarbeiten gemäss Neukonzeption sollten die Ergebnisse der hier angeregten Zusatzuntersuchungen abgewartet werden.

⁴¹ Darunter fällt auch die Ausrüstung mit Unterflurbeleuchtung.

9. Verzeichnisse und Quellen

9.1. Literaturverzeichnis

- [1] AULBACH J.: Teil I Lichttechnische Gestaltung von Arbeitsstellen; Teil II Praxiserprobung, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik Heft 679, Bundesministerium für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg, 1994
- [2] BECKER H., EMDE W., HAMESTER H., SCHMUCK A.: Verkehrsablauf und Unfallgeschehen an Autobahnbaustellen, Informationen Verkehrsplanung und Strassenwesen, Heft 14, München-Neubiberg, 1983
- [3] BECKMANN A., ZACKOR H.: Untersuchung und Eichung von Verfahren zur aktuellen Abschätzung von Staudauer und Staulängen infolge von Tages- und Dauerbaustellen auf Autobahnen; Schriftenreihe: Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 808/2001, Bonn-Bad Godesberg 2001
- [4] BELOPITOV I., SPACEK P.: Geschwindigkeit in Kurven, EVED-Forschungsauftrag Nr. 01/96, Schriftenreihe Heft 420, IVT-ETH Zürich, 1999
- [5] BOESEFELDT J., EMDE W., HAMESTER H.: Ermittlung der quantitativen und qualitativen Veränderung des Unfallgeschehens infolge vorhergesehener Baustellensituationen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Strassenbefestigungen, FA 9.035 G 81 M, Aachen, 1983
- [6] BÜHLMANN F., LAUBE M., COHEN A.S.: Einsatz gelb hinterlegter Signale, UVEK-Forschungsauftrag VSS 1998/196, Ingenieurbüro Bühlmann und Psychologisches Institut Universität Zürich (Bericht in Vorbereitung)
- [7] BÜHLMANN F.: Auswirkungen von Radarkabinen auf das Verkehrs- und Unfallgeschehen, VTA, Kantonspolizei Zürich, Ingenieurbüro Bühlmann, Zollikon, 1993
- [8] COHEN A.S.: "Visuelle Orientierung im Strassenverkehr (eine empirische Untersuchung zur Theorie des visuellen Abtastens)", bfu-Heft 34, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern 1998
- [9] DIETRICH K., LINDENMANN HP., CHABOT-ZHANG Y.: 25 Jahre IVT-Messungen zum Verkehrsablauf auf Autobahnen, Schriftenreihe des IVT Nr. 118, IVT-ETH Zürich, 1998
- [10] DIETRICH K., SPACEK P.: Nationalstrasse N2, Basel-Chiasso; Kapazitätsuntersuchung; Verkehrstechnische Studie zur Beurteilung der heutigen Kapazitätsverhältnisse, Bundesamt für Strassen, Schriftenreihe des IVT Nr. 104, IVT-ETH Zürich, 1994
- [11] Ingenieurgemeinschaft RAPP und AJS: Massnahmen zur Aufrechterhaltung des Verkehrs im Bereich von Bauarbeiten an Autobahnen und -strassen, EVED-Schriftenreihe Heft 159, Bern, 1988
- [12] KAYSER H.J., HESS M.: Planung von Baustellen auf Autobahnen (ARS 7/90), Forschungsbericht 03.224 R90 L, Aachen 1991
- [13] KOCKELKE W., ROSSBANDER E.: Untersuchungen zum Geschwindigkeitsverhalten an Autobahnbaustellen; in: Strasse und Autobahn 40, Heft 3/89, Köln 1989
- [14] KOCKELKE W., ROSSBANDER E.: Untersuchungen zum Verkehrsverhalten und zur Verkehrssicherheit an Autobahnbaustellen; Schriftenreihe: Forschungsberichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung, Heft 186; Bergisch Gladbach 1988
- [15] KRUX W., DETERMANN D.: Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft V 28, RWTH Aachen, Bergisch Gladbach, 1995
- [16] LAFFONT S., SCHMIDT G.: Empfehlungen zur Minderung von Stau- und Unfallrisiko bei einstreifigen Verkehrsführungen in Autobahnbaustellen in den neuen Bundesländern; Schriftenreihe: Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 701, Bonn-Bad Godesberg 1995
- [17] LINDENMANN HP., WEBER R.: Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen, Fonds für Verkehrssicherheit, IVT-ETH Zürich und VTA Kantonspolizei Zürich, 2000
- [18] MESEBERG H.-H.: Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Strassenarbeitsstellen, Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen, Heft V 49, Bergisch Gladbach 1997
- [19] MÜLLER F., SELIGER R.: Untersuchung zur Wirkung unterschiedlicher Leiteinrichtungen als Fahrbahnverengung auf das Fahrverhalten vor BAB-Arbeitsstellen, Strasse und Autobahn 10/90, Köln 1990
- [20] NADLER F., HANKO W., SCHREFEL J.: Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Autobahnen; Schriftenreihe des Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Bereich Strassenforschung, Heft 372, Wien 1988

- [21] PITZINGER P., SPACEK P.: Verkehrsbeeinflussungssystem Limmattal - Gubrist, Konzept, Baudirektion Kt. Zürich, Tiefbauamt, IVT-ETH Zürich und Ingenieurbüro Dr. P. Pitzinger, 2001
- [22] PITZINGER P., SPACEK P.: Verkehrsbeeinflussungssystem Zürich Nord, Konzept, Baudirektion Kt. Zürich, Tiefbauamt, IVT-ETH Zürich und Ingenieurbüro Dr. P. Pitzinger, 2000
- [23] RAEMY M.: Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Baustellen von Hochleistungsstrassen, VTA No. 28, Kantonspolizei Zürich, 1998
- [24] RESSEL W., SCHMUCK A.: Fahrzeitverluste und Energieverbrauch an Reparaturbaustellen bei Verkehrssituationen mit Stau infolge hoher Zuflussmengen, Forschungsbericht FE-Nr. 09/072 G89L, Universität der Bundeswehr München 1993
- [25] RESSEL W.: Untersuchungen zum Verkehrsablauf im Bereich der Leistungsfähigkeit an Baustellen auf Autobahnen, Informationen Verkehrsplanung und Strassenwesen Heft 37, Universität der Bundeswehr München, 1994
- [26] Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Strassen (RSA 1995), Bundesministerium für Verkehr, Bonn 1995
- [27] RÜTISHAUSER G., MÖRGELE R., KAUL H.: Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen, EVED-Forschungsauftrag 42/90, Schriftenreihe Heft 337, Zürich, 1994
- [28] SACHS L.: Angewandte Statistik, Anwendung statistischer Methoden (11. Aufl.). Springer, Berlin Heidelberg, 2004.
- [29] SCHEIFELE U., SPACEK P.: Messpfosten, Eine Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen, Fonds für Verkehrssicherheit, IVT-ETH Zürich und Planitronic Zürich, 1992
- [30] SCHMUCK A., BECKER H.: Untersuchungen über die Einflüsse auf baustellenbedingte geschwindigkeitsabhängige Anteile an den Strassennutzerkosten; Schriftenreihe: Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 421, Bonn-Bad Godesberg 1984
- [31] Schweizernorm SN 640 008, Strassenverkehrsunfälle, Analyse von Unfallzahlen, Unfallstatistiken, Vergleiche und Entwicklungen, VSS Zürich, 2000
- [32] Schweizernorm SN 640 135, Linienführung; Mittelstreifenüberfahrten, VSS Zürich, 1997
- [33] Schweizernorm SN 640 885c, Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen, VSS Zürich, 1999
- [34] SPACEK P.: Gestaltung von Mittelstreifenüberfahrten an Hochleistungsstrassen, EVED-Forschungsauftrag 05/88, Schriftenreihe Heft 355, IVT-ETH Zürich, 1995
- [35] SPACEK P.: Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven, Fahrverhalten in Kurvenbereichen, UVEK-Forschungsauftrag Nr. 16/84, Schriftenreihe Heft 410, IVT-ETH Zürich, 1997
- [36] STORM R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle (10. Aufl.). Fachbuchverlag, Leipzig, 1995.
- [37] WEBER R., RAEMY M.: Verkehrssicherheit auf der Autobahnbaustellen der A1 im Limmattal 1999/2000, VTA No. 2, Kantonspolizei Zürich, 2001
- [38] WEBER R., WEISSERT M.: Autobahnen, Ausnahmebetrieb; Optische Gestaltung von Überfahrten, VtA No. 29, Kantonspolizei Zürich, 1998
- [39] WEINSPACH K.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Baustellen auf Betriebsstrecken der Bundesautobahnen; Strasse und Autobahn 39, Heft 7/88, Köln 1988

9.2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1:	Schematische Darstellung des Untersuchungsvorgehens.....	5
Abb. 2-1:	Beispiele von Baustellentypen auf Autobahnen gemäss [33]	9
Abb. 2-2:	Querschnittsskizzen der Betriebsformen bei Baustellen auf Autobahnen; Beispiele aus [33].....	10
Abb. 2-3:	Unterteilung in Baustellenabschnitte.....	10
Abb. 2-4:	Leitbaken im Grossformat in einstreifiger Mittelstreifenüberfahrt.....	16
Abb. 2-5:	Blinkende Abweispfeile in Hochlage zu Beginn einer Überleitung	16
Abb. 2-6:	Niedrige Leitbaken aufgesetzt auf Leitschiene in einstreifiger Mittelstreifenüberfahrt	16
Abb. 2-7:	Niedrige Baustellenleitschranke und Leitbaken im Grossformat.....	16
Abb. 2-8:	Angekündigte Geschwindigkeitsüberwachung.....	17
Abb. 2-9:	Portalanordnung Signal „Baustelle“ auf gelben Tafeln	17
Abb. 2-10:	Leitbaken in der Mittelstreifenüberfahrt während der Nacht.....	17
Abb. 2-11:	Verschiedene Ansichten des Messpfostens	18
Abb. 2-12:	NC97-Messplatte ohne Abdeckung (oben) und mit Abdeckung, befestigt auf der Fahrbahn (unten).....	19
Abb. 3-1:	Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke SG1.....	23
Abb. 3-2:	Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke SG2.....	23
Abb. 3-3:	Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke ZG1.....	24
Abb. 3-4:	Skizze Verkehrsführung in Untersuchungsstrecke AG1	24
Abb. 3-5:	Prinzipskizze der Messanordnung	26
Abb. 3-6:	Beispiel einer Geschwindigkeitsauswertung an einem Messpfosten	28
Abb. 3-7:	Auswertebispiel der Spurverteilung an einem Messpfosten.....	28
Abb. 4-1:	Unfalluntersuchung Vergleichsstrecke bestehend aus Vorbereich (A) und Nachbereich (C) sowie dem Baustellenabschnitt (B).....	29
Abb. 5-1:	Messanordnung an der Untersuchungsstrecke SG1.....	32
Abb. 5-2:	Veränderung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 80 km/h auf dem Normalstreifen (links) und auf dem Überholstreifen (rechts).....	34
Abb. 5-3:	Veränderung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimite 100 km/h auf dem Normalstreifen (links) und auf dem Überholstreifen (rechts)....	34
Abb. 5-4:	Verlauf der mittleren Geschwindigkeit auf dem Normalstreifen für die Gruppen „alle Fahrzeuge“ und „nur Lastwagen“ auf der Steigungsstrecke SG1	35
Abb. 5-5:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Untersuchungsstrecke SG1 bei Tempolimite 80 (oben) bzw. 100 km/h (unten) ohne Radarüberwachung	36
Abb. 5-6:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Untersuchungsstrecke SG1 bei Tempolimite 80 (oben) und 100 km/h (unten) mit Radarüberwachung	37
Abb. 5-7:	Definition der Beurteilungsgrössen Gesamtverschiebung und Abweichungen	40
Abb. 5-8:	Vergleich der Abweichungen bei Tempolimite 80 und 100 km/h für den Normalfahrstreifen	41
Abb. 5-9:	Vergleich der Abweichungen bei Tempolimite 80 und 100 km/h für den Überholfahrstreifen	41
Abb. 5-10:	Verläufe der mittleren Geschwindigkeiten auf dem Normalstreifen (oben) und auf dem Überholstreifen (unten).....	43
Abb. 5-11:	Messanordnung an der Untersuchungsstrecke SG2.....	44
Abb. 5-12:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten) mit hohen Bakem.....	49
Abb. 5-13:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 80 km/h und 100 km/h mit Leitschienen und niedrigen Bakem.....	51
Abb. 5-14:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Bakem (oben) und mit Leitschienen mit niedrigen Bakem (unten) als Leiteinrichtung	52
Abb. 5-15:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimite 100 km/h mit hohen Bakem (oben) und mit Leitschienen mit niedrigen Bakem (unten) als Leiteinrichtung	53

Abb. 5-16:	Verschwenkung des Normalfahrstreifens nach der Mittelstreifenüberfahrt.....	54
Abb. 5-17:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung bei Nacht..	54
Abb. 5-18:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht.....	56
Abb. 5-19:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung am Tag (oben) und bei Nacht (unten)	57
Abb. 5-20:	Vergleich der lateralen Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglagen bei Tempolimit 80 und 100 km/h sowie bei hohen Baken und Leitschienen	60
Abb. 5-21:	Vergleich der lateralen Abweichungen der gemittelten Fahrzeuglagen bei Nacht sowie bei hohen Baken und Leitschienen	62
Abb. 5-22:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und dem Überholfahrstreifen (unten) bei Tag	64
Abb. 5-23:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und dem Überholfahrstreifen (unten) bei Nacht	64
Abb. 5-24:	Messanordnung an der Untersuchungsstrecke ZG1.....	65
Abb. 5-25:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung	68
Abb. 5-26:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken (oben) und mit Leitschienen und niedrigen Baken (unten) als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal.....	69
Abb. 5-27:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit hohen Baken mit und ohne seitliches Portal	70
Abb. 5-28:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke ZG1 bei Tempolimit 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken mit und ohne seitlichem Portal	71
Abb. 5-29:	Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei hohen Baken und Leitschienen mit und ohne Portal auf dem Normalstreifen (NS).....	74
Abb. 5-30:	Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei hohen Baken und Leitschienen mit und ohne Portal auf dem Überholstreifen (ÜS).....	74
Abb. 5-31:	Anteile der Fahrstreifenwechsel auf der Strecke ZG1.....	75
Abb. 5-32:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke SG2 auf dem Normalfahrstreifen (oben) und auf dem Überholfahrstreifen (unten)	76
Abb. 5-33:	Ansicht der Leiteinrichtungen bei AG1	77
Abb. 5-34:	Messanordnung an der Untersuchungsstrecke AG1	77
Abb. 5-35:	Geschwindigkeitsverläufe auf der Strecke AG1 bei Tempolimit 80 km/h und 100 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke.....	79
Abb. 5-36:	Vergleich der Abweichungen der mittleren Lage der Fahrzeugachsen bei Tempolimit 80 und 100 km/h mit hohen Baken	81
Abb. 5-37:	Übersichtsskizze der Untersuchungsstrecke AG 1	82
Abb. 5-38:	Ganglinien der Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit am Messquerschnitt bei km -0.252	83
Abb. 5-39:	Ganglinien der Verkehrsstärke, Verkehrsdichte und Geschwindigkeit am Messquerschnitt bei km -0.414	83
Abb. 5-40:	Fundamentaldiagramme der Zeitperiode des Versuchs AG1 2a bei km -0.414 (links) und km -0.252 (rechts)	84
Abb. 6-1:	Unfallraten in Abhängigkeit von der Verkehrsführung, A2 Kantonsgrenze AG/LU - Sursee.....	87
Abb. 6-2:	Unfalltypen und Unfallraten in ausgewählten Baustellenabschnitten, A1 Limmattal (ZH) und an HLS ohne Baustellen.....	89
Abb. 6-3:	Tagesganglinien der Verkehrsstärke und Unfallzahl pro Tagesstunde im Bereich der Baustelle A1, Limmattal (ZH)	89
Abb. 6-4:	Veränderung der Unfälle und Verunfallten infolge verschiedener Leit- und Trenneinrichtungen aus [23]	90

Abb. 6-5:	Veränderung der Unfälle und Verunfallten in den Perioden ohne und mit verkehrspolizeilichen Massnahmen, aus [23]	91
Abb. 6-6:	Unfallarten in den Baustellenbereichen aus [14]	97
Abb. 6-7:	Unfallraten im Bereich von Baustellen nach [39].....	98
Abb. 6-8:	Einteilung der Baustellen in Baustellenabschnitte in [20] und in vorliegender Untersuchung	99
Abb. 6-9:	Baustellenabschnitte für die Unfallauswertungen	101
Abb. 7-1:	Ergebnisse der statistischen Tests (Beispiele)	118
Abb. 7-2:	Verlauf der V_m im Vergleich der Versuche ohne und mit Portal.....	137
Abb. 7-3:	Geschwindigkeitserteilungen im Bereich des Portals für Baustellen auf A67 (links) und A3 (rechts) aus [1].....	139
Abb. 7-4:	Vergleich des Verlaufs der $V_{85\%}$ im Bereich der Überleitung in den Zuständen ohne und mit Geschwindigkeitsüberwachung bei Tempo-limiten 80 km/h (oben) und 100 km/h (unten)	152
Abb. 7-5:	Verlauf der mittleren Geschwindigkeit im Überleitungsbereich nachts bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene	167
Abb. 7-6:	Vergleich der mittleren Geschwindigkeit im Überleitungsbereich am Tag und bei Nacht für die Anordnungen mit hohen Baken (oben) und mit Leitschiene (unten)	168
Abb. 7-7:	Aufnahmen von Leiteinrichtungen bei Dunkelheit: links hohe Baken, rechts Leitschiene mit niedrigen Baken.....	168
Abb. 7-8:	Überleitung bei Versuchen in [38] mit Einsatz von niedrigen Reflektoren durchgehend, Ansicht am Tag und bei Nacht.....	171
Abb. 7-9:	Veranschaulichung der Schlussfolgerungen aus [38].....	171
Abb. 7-10:	Rückleitung nach RSA (links) und in modifizierter Ausführung (rechts) [1]	172
Abb. 7-11:	Verlauf der V_m auf Normalstreifen bei Nacht, auf Höhe der Überleitung.....	172
Abb. 8-1:	Gliederung in Baustellenabschnitte.....	175
Abb. 8-2:	Aufnahmen der trichterförmigen Einengung mit dicht stehenden Leitbaken aus [19].....	184

9.3. Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Festgelegte Einflussgrößen für die Felderhebungen	13
Tab. 2-2:	Randbedingungen bzgl. Kapazität und Programmierung der Messeinrichtungen.....	15
Tab. 2-3:	Ergebnisse der Vergleichsmessung Radarsonde / Messpfosten	19
Tab. 2-4:	Anforderungen an Installation und Inbetriebnahme der Messsysteme.....	20
Tab. 3-1:	Übersicht der für die Felderhebungen festgelegten Untersuchungsstrecken.....	22
Tab. 3-2:	Übersicht der Versuchskombinationen an den einzelnen Untersuchungsstrecken	25
Tab. 3-3:	Stichprobengröße der Messdaten	27
Tab. 5-1:	Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke SG1.....	32
Tab. 5-2:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 und 80 km/h ohne Radarüberwachung	32
Tab. 5-3:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 und 80 km/h mit Radarüberwachung.....	33
Tab. 5-4:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimiten 80 km/h	33
Tab. 5-5:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Versuchen ohne und mit Überwachung bei Tempolimiten 100 km/h	34
Tab. 5-6:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 und 80 km/h im Zustand ohne Radarüberwachung	36
Tab. 5-7:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 und 80 km/h im Zustand mit Radarüberwachung.....	37
Tab. 5-8:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimiten 80 km/h	38
Tab. 5-9:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimiten 100 km/h	38
Tab. 5-10:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 80 und 100 km/h für die Zustände ohne Radarüberwachung (links) und mit Radarüberwachung (rechts)	39
Tab. 5-11:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten für die Zustände ohne und mit Radarüberwachung und bei Tempolimiten 80 (links) und 100 km/h (rechts)	39
Tab. 5-12:	Anteile an Fahrstreifenwechsel und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung auf der Strecke SG1 im Vergleich der Tempolimiten 80/100 km/h und ohne/mit Radar	42
Tab. 5-13:	Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke SG2	44
Tab. 5-14:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h und hohen Baken als Leiteinrichtung.....	45
Tab. 5-15:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimiten 100 und 80 km/h und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung.....	46
Tab. 5-16:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 80 km/h und bei Tag.....	46
Tab. 5-17:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 100 km/h und bei Tag.....	47
Tab. 5-18:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimiten 80 km/h und bei Nacht..	47
Tab. 5-19:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen für die Zustände Tag und Nacht mit hohen Baken bei Tempolimiten 80 km/h.....	48
Tab. 5-20:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen für die Zustände Tag und Nacht mit Leitschienen und niedrigen Baken bei Tempolimiten 80 km/h	49
Tab. 5-21:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h mit hohen Baken	50
Tab. 5-22:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 km/h und 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken.....	51

Tab. 5-23:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung	52
Tab. 5-24:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung	53
Tab. 5-25:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Nacht	55
Tab. 5-26:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht	56
Tab. 5-27:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung am Tag und bei Nacht	57
Tab. 5-28:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 und 100 km/h mit hohen Baken (links) und Leitschienen mit niedrigen Baken (rechts) als Leiteinrichtung	58
Tab. 5-29:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten am Tag mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimite 80 (links) und 100 km/h (rechts)	59
Tab. 5-30:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten in der Nacht mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung bei Tempolimite 80 km/h	59
Tab. 5-31:	Vergleich der Standardabweichungen in Spurverteilung bei Tempolimite 80 und 100 km/h sowie bei hohen Baken und Leitschienen	60
Tab. 5-32:	Vergleich der Standardabweichungen bei Nacht für Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschienen	61
Tab. 5-33:	Anteile an Fahrstreifenwechseln und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung auf der Strecke SG2 im Vergleich der Tempolimite 80/100 km/h und der Anordnung mit Leitbaken (LB) / mit Leitschienen (LS)	63
Tab. 5-34:	Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke ZG1	65
Tab. 5-35:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung ohne seitlichem Portal	66
Tab. 5-36:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal	67
Tab. 5-37:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei hohen Baken ohne und mit seitlichem Portal	67
Tab. 5-38:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Leitschienen mit niedrigen Baken bei Tempolimite 80 km/h mit und ohne seitlichem Portal	68
Tab. 5-39:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung	69
Tab. 5-40:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken und mit Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung mit seitlichem Portal	70
Tab. 5-41:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit hohen Baken mit und ohne seitlichem Portal	71
Tab. 5-42:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 80 km/h mit Leitschienen und niedrigen Baken mit und ohne seitlichem Portal	72
Tab. 5-43:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten mit hohen Baken und Leitschienen und niedrigen Baken als Leiteinrichtung ohne Portal (links) und mit Portal (rechts)	72
Tab. 5-44:	Gegenüberstellung der $V_{85\%}$ -Geschwindigkeiten mit Portal und ohne Portal bei hohen Baken (links) und bei Leitschienen mit niedrigen Baken als Leiteinrichtung (rechts)	73
Tab. 5-45:	Versuchskombinationen an der Untersuchungsstrecke AG1	77
Tab. 5-46:	Gegenüberstellung der Standardabweichungen bei Tempolimite 100 km/h und 80 km/h und hohen Baken / Metallleitschranken als Leiteinrichtung	78
Tab. 5-47:	Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimite 100 km/h und 80 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke	79
Tab. 5-48:	Gegenüberstellung der Geschwindigkeiten $V_{85\%}$ bei Tempolimite 80 und 100 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke	80
Tab. 5-49:	Vergleich der Standardabweichungen bei Tempolimite 80 und 100 km/h mit hohen Baken / Metallleitschranke	81

Tab. 6-1:	Unfallgeschehen vor/während der Bauzeit, A2 Kantonsgrenze AG/LU - Sursee.....	87
Tab. 6-2:	Unfalltypen in den Bauetappen I und R, A1 Rothrist - Lenzburg (AG)	88
Tab. 6-3:	Unfälle und Unfallraten in den Baustellenabschnitten, A1 Limmattal (ZH)	88
Tab. 6-4:	Gegenüberstellung der Unfälle und Verkehrsstärken in den Baustellenabschnitten B2 und B3a, Baustelle A1 Limmattal (ZH).....	90
Tab. 6-5:	Unfallgeschehen bei der Betriebsform 3+1 auf A1, St. Gallen	92
Tab. 6-6:	Unfallgeschehen bei der Betriebsform 4+0 auf A1, St. Gallen.....	92
Tab. 6-7:	Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 2+2	93
Tab. 6-8:	Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 3+1	94
Tab. 6-9:	Unfallgeschehen auf A51 bei der Betriebsform 4+0.....	94
Tab. 6-10:	Vergleich der Unfall- und Verunfalltenraten für die Betriebsformen auf A51	94
Tab. 6-11:	Unfallraten im Bereich von früheren HLS-Baustellen	95
Tab. 6-12:	Angaben zu untersuchten Baustellen [14].....	96
Tab. 6-13:	Unfallraten der Baustellen [14]	97
Tab. 6-14:	Verhältnisse Unfallrate in baustellenbeeinflussten zu Unfallrate in unbeeinflussten Bereichen auf Autobahnen nach [39]	99
Tab. 6-15:	Unfallraten nach Untersuchungsabschnitten auf österreichischen Autobahnen nach [20].....	100
Tab. 6-16:	Unfallraten und Unfalldichten auf österreichischen Autobahnen in [20]	100
Tab. 6-17:	Unfallgeschehen SG1 während der Bauphase	102
Tab. 6-18:	Unfallgeschehen SG1 ohne Baustelle.....	102
Tab. 6-19:	Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu SG1, ohne Baustelle	103
Tab. 6-20:	MIT- / OHNE- Vergleich für SG1	103
Tab. 6-21:	VORHER- / NACHHER- Vergleich für SG1	104
Tab. 6-22:	Unfallgeschehen SG2 während der Bauphase	104
Tab. 6-23:	Unfallgeschehen SG2 ohne Baustelle	105
Tab. 6-24:	Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu SG2, ohne Baustelle.....	105
Tab. 6-25:	MIT- / OHNE- Vergleich für SG2	106
Tab. 6-26:	VORHER- / NACHHER- Vergleich für SG2	106
Tab. 6-27:	Unfallgeschehen AG1 während der Bauphase	107
Tab. 6-28:	Unfallgeschehen AG1 ohne Baustelle	108
Tab. 6-29:	Unfallgeschehen Vergleichsstrecke zu AG1, ohne Baustelle	109
Tab. 6-30:	MIT- / OHNE- Vergleich für AG1.....	109
Tab. 6-31:	VORHER- / NACHHER- Vergleich für AG1.....	110
Tab. 6-32:	Unfall- und Verunfalltendichten in Baustellenabschnitten.....	110
Tab. 6-33:	Verteilung nach Unfalltypen und Baustellenbereichen für Betriebsform 4+0	111
Tab. 6-34:	Verteilung nach Unfalltypen und Baustellenbereichen für andere Betriebsformen	111
Tab. 6-35:	Vergleich der Unfallraten auf Untersuchungsstrecken und auf früheren Baustellen.....	112
Tab. 6-36:	Vergleich der ungefähren Anteile der Unfalltypen	113
Tab. 7-1:	Übersicht Anteile Fahrstreifenwechsel (FSW) und Fahrstreifenwechsel mit Bremsung bei den einzelnen Versuchen	119
Tab. 7-2:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempo-limite an SG1.....	120
Tab. 7-3:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempo-limite an SG1.....	121
Tab. 7-4:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten) an SG2	121
Tab. 7-5:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempolimite, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten) an SG2	122

Tab. 7-6:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempo-limite an AG1	123
Tab. 7-7:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge unterschiedlicher Tempolimite an AG1	124
Tab. 7-8:	Mittlere Abnahme der V_m zwischen Beginn und Ende der Zufahrt	125
Tab. 7-9:	Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ zwischen Beginn und Ende der Zufahrt	125
Tab. 7-10:	Mittlere Abnahme der V_m zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal	125
Tab. 7-11:	Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ zwischen Messquerschnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal	125
Tab. 7-12:	Mittlere Abnahme der V_m infolge Veränderung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h	126
Tab. 7-13:	Mittlere Abnahme der $V_{85\%}$ infolge Veränderung der Tempolimite von 100 auf 80 km/h	126
Tab. 7-14:	Mittlere Abnahme der S zwischen Beginn und Ende der Zufahrt	127
Tab. 7-15:	Mittlere Abnahme der S zwischen Messquer-schnitt vor und nach Geschwindigkeitssignal	127
Tab. 7-16:	Vergleich der Werte V_m , $V_{85\%}$ und S aus einer Zufahrt in [30] und aus den vorliegenden Versuchen	128
Tab. 7-17:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)	131
Tab. 7-18:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der $V_{85\%}$ infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)	131
Tab. 7-19:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der S infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)	132
Tab. 7-20:	Veränderungen der mittleren Geschwindigkeit V_m (links) und der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ (rechts) im Einflussbereich von Ankündigung und Radarkabine	132
Tab. 7-21:	Veränderungen der Standard-abweichung im Einflussbereich von Ankündigung und Radar-kabine	133
Tab. 7-22:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m zwischen den Zuständen ohne und mit Portal, bei hohen Baken (oben) und bei Leitschiene (unten)	136
Tab. 7-23:	Veränderung der mittleren Geschwindigkeit im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)	136
Tab. 7-24:	Veränderung der Geschwindigkeit $V_{85\%}$ im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)	136
Tab. 7-25:	Veränderung der Geschwindigkeit V_m und $V_{85\%}$ zwischen Beginn und Ende der Zufahrt bei Versuchen ohne und mit Portal	137
Tab. 7-26:	Veränderung der Standardabweichungen S im Bereich des Portals bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)	138
Tab. 7-27:	Veränderung der Standardabweichungen S zwischen Beginn und Ende der Zufahrt bei Versuchen ohne und mit Portal	138
Tab. 7-28:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite an SG1	142
Tab. 7-29:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempo-limite an SG2	143
Tab. 7-30:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Tempolimite an AG1	145
Tab. 7-31:	Mittlere Geschwindigkeiten vor und in der Überleitung auf dem Überholfahrstreifen	146
Tab. 7-32:	Abnahme der mittleren Geschwindigkeit auf dem Überholfahrstreifen, nach Streckenabschnitten	147
Tab. 7-33:	Mittlere Standardabweichungen S vor und in der Überleitung auf dem Überholfahrstreifen	147
Tab. 7-34:	Mittlere Abnahme der Standardabweichungen S auf dem Überholfahrstreifen, nach Streckenabschnitten	148
Tab. 7-35:	Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung, infolge der Geschwindigkeitsüberwachung, bei Tempolimite 80 km/h (oben) und Tempolimite 100 km/h (unten)	151

Tab. 7-36: Gegenüberstellung der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempolimiten 100 und 80 km/h im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts).....	151
Tab. 7-37: Gegenüberstellung der Standardabweichungen im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts).....	152
Tab. 7-38: Gegenüberstellung der Standardabweichungen der Spurverteilung im Zustand ohne und mit Radarüberwachung bei Tempolimiten 80 km/h (links) und 100 km/h (rechts).....	153
Tab. 7-39: Merkmale der für die Analyse einbezogenen Überleitungs-bereiche	154
Tab. 7-40: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Leiteinrichtungen an SG2.....	155
Tab. 7-41: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m infolge unterschiedlicher Leiteinrichtungen an ZG1.....	157
Tab. 7-42: Geometriedaten der Überleitungen der Untersuchungsstrecken.....	159
Tab. 7-43: Mittlere Geschwindigkeiten im Bereich vor und in der Überleitung	160
Tab. 7-44: Standardabweichungen im Bereich vor und in der Überleitung	162
Tab. 7-45: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung bei Nacht, zwischen hohen Baken und Leitschiene	167
Tab. 7-46: Querschnitte mit signifikanten Veränderungen der V_m in der Überleitung zwischen Tag und Nacht, bei hohen Baken (links) und bei Leitschiene (rechts)	168
Tab. 7-47: Vergleich der V-Geschwindigkeiten während der Nacht, bei Anordnung mit hohen Leitbaken und mit Leitschiene.....	169
Tab. 7-48: Vergleich der V-Geschwindigkeiten bei Anordnung mit hohen Leitbaken (links) und mit Leitschiene (rechts) am Tag und während der Nacht	169
Tab. 7-49: Vergleich der Abweichungen von der Fahrstreifen-achse nachts bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene.....	170
Tab. 7-50: Vergleich der Abweichungen von der Fahrstreifenachse und der Standardabweichungen am Tag bei Anordnung mit hohen Baken und mit Leitschiene.....	170
Tab. 8-1: Geschwindigkeitssignale vor Autobahnbaustellen	184
Tab. 8-2: Fahrstreifenbreiten im Baustellenbereich der Untersuchungsstrecken.....	192

ANHÄNGE

ANHANG 1	Baustellenumfrage	A1.1 – A1.2
ANHANG 2	Vergleichsmessungen Messplatten / Messpfosten	A2.1 – A2.3
ANHANG 3	Untersuchungsstrecken	A3.1 – A3.4
ANHANG 4	Geschwindigkeitsverhalten	A4.1 – A4.10
ANHANG 5	Spurverhalten	A5.1 – A5.9
ANHANG 6	Fahrstreifenwechsel	A6.1 – A6.4
ANHANG 7	Einfluss des Nachfahreffekts auf das Spurverhalten	A7.1
ANHANG 8	Unfallauswertungen	A8.1 – A8.5

Sicherheit und Verkehrsfluss auf
Autobahn- und Autostrassenbaustellen

BAUSTELLENUMFRAGE

Seite 1

Nr.	Fragen	Antworten		Bemerkungen			
Anlage	1 Strassen Nr. / Typ	Nr. / Autobahn <input type="checkbox"/> Autostrasse <input type="checkbox"/>					
	2 Abschnitt der geplanten Baustelle	von bis		Angabe von Ortschaften oder Anschlüssen erwünscht			
	3 zulässige Geschwindigkeit (km/h)	120 <input type="checkbox"/>	100 <input type="checkbox"/>	80 <input type="checkbox"/>	signalisierte Geschwindigkeit im Normalbetrieb		
	4 Werkhof / Kontaktperson / Tel.					
	5 Fahrtrichtung	1.	2.				
	6 Anzahl Fahrstreifen pro Richtung	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
Verkehr	7 Automatische Zählstelle vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		
	8 - wenn ja, welche Nr. / Typ	Nr. / AVZ <input type="checkbox"/> LVC <input type="checkbox"/>		Nr. / AVZ <input type="checkbox"/> LVC <input type="checkbox"/>		nächstgelegene Zählstelle angeben	
	8a - Zugriff auf Daten über	ASTRA ? <input type="checkbox"/> Kanton ? <input type="checkbox"/>		ASTRA ? <input type="checkbox"/> Kanton ? <input type="checkbox"/>			
	9 DWV (Fz/Tag) Fz / Tag	 Fz / Tag		Durchschnittlicher Werktagsverkehr	
	10 Anteil Schwerverkehr in % des DWV (ca.) % DWV	 % DWV			
	11 Angaben über Stundenverkehr vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	1. / 100. / 1000. Std. (bei kantonalen Zählstellen)	
	12 Staustatistik vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		
	13 Angaben zur Unfallrate vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	gemäss Strassenabschnitt in Zeile 2	
14 Angaben zur Verunfalltenrate vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>	gemäss Strassenabschnitt in Zeile 2		
Bau	12 Baustellennummer oder Bezeichnung					
	13 Geplante Gesamtbauzeit	von bis					
	14 Gesamtlänge der Baustelle	von km bis km		Angabe der Betriebskilometrierung vor Ort			
	15 Informationskampagne vorgesehen ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>				
	16 Unterteilung in Baulose vorgesehen ?	ja <input type="checkbox"/> Anzahl	nein <input type="checkbox"/>		wenn ja, ist die Seite 2 für jedes Baulos separat auszufüllen.		

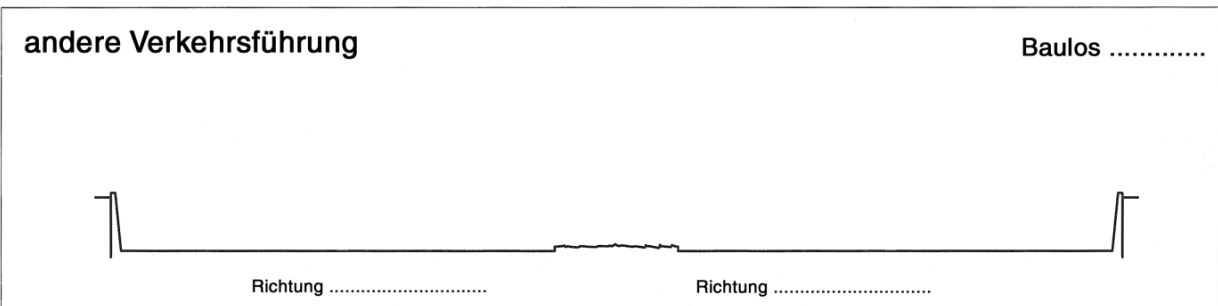
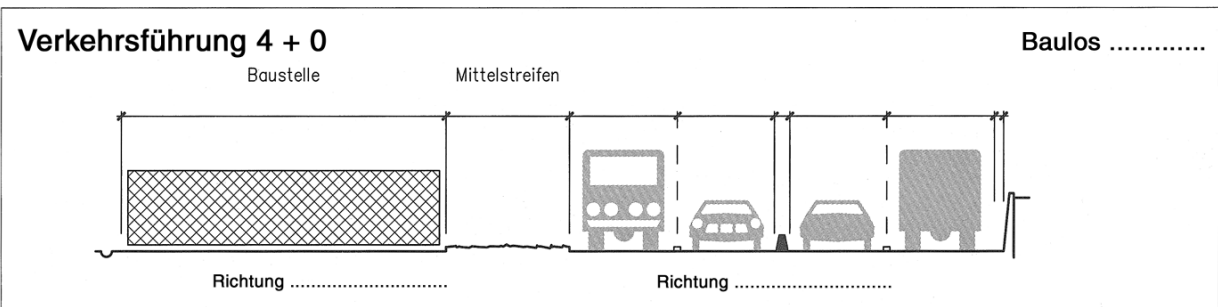
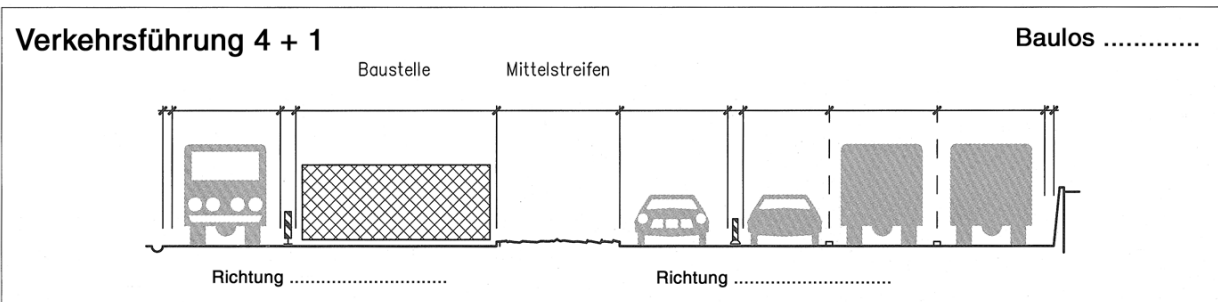
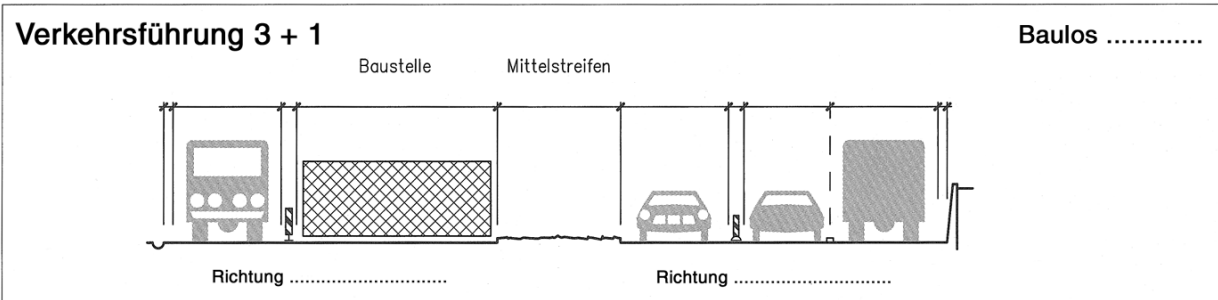
Sicherheit und Verkehrsfluss auf
Autobahn- und Autostrassenbaustellen

BAUSTELLENUMFRAGE

Seite 2: Baulos

Nr.	Fragen	Antworten		Bemerkungen						
Baustelle	17 Fahrtrichtung	1.	2.		gemäss Nr. 5 auf Seite 1					
	18 Länge der Baustelle (Betriebskilometrierung)	von km bis km		von km bis km		effektive Länge des Baustellenbereichs (ohne Vorbereich, Überleitung und Rückföhrbereich)				
	19 geplante Bauzeit für Los	von bis		von bis						
	20 signalisierte Geschwindigkeit (km/h)	100 <input type="checkbox"/>	80 <input type="checkbox"/>	andere		im Baustellenbereich				
	21 Verkehrsföhrung im Baustellenbereich	3 + 1 <input type="checkbox"/>	4 + 1 <input type="checkbox"/>	4 + 0 <input type="checkbox"/>		Untertyp bitte in Beilage 1 mit Baulos Nr. eintragen				
	22 Im Bereich der Baustelle vorhanden:	Brücke <input type="checkbox"/> Tunnel/Galerie <input type="checkbox"/>		Brücke <input type="checkbox"/> Tunnel/Galerie <input type="checkbox"/>						
	23 Ein- und Ausfahrten vorhanden ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>							
	24 - wenn ja, offen oder gesperrt	offen <input type="checkbox"/>	gesperrt <input type="checkbox"/>							
25 Querschnitt mit Abmessungen					Abmessungen bitte in Beilage 2 eintragen					
Sicherheit	26 Schutz des Baustellenbereichs	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>	3. <input type="checkbox"/>	4. <input type="checkbox"/>	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>	3. <input type="checkbox"/>	4. <input type="checkbox"/>	1. Nur Markierung, 2. Baken und Markierung, 3. Leitschienen / Borde, 4. Schutzeinrichtung (Betonleitelemente)
	27 Abtrennung des Gegenverkehrs	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>	3. <input type="checkbox"/>	4. <input type="checkbox"/>	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>	3. <input type="checkbox"/>	4. <input type="checkbox"/>	
	28 Länge der Mittelstreifenüberfahrt m	 m						
	29 Geschwindigkeitsüberwachung ?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>		ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>				
	30 - wenn ja, mobil oder stationär ?	mobil <input type="checkbox"/>	stationär <input type="checkbox"/>		mobil <input type="checkbox"/>	stationär <input type="checkbox"/>				

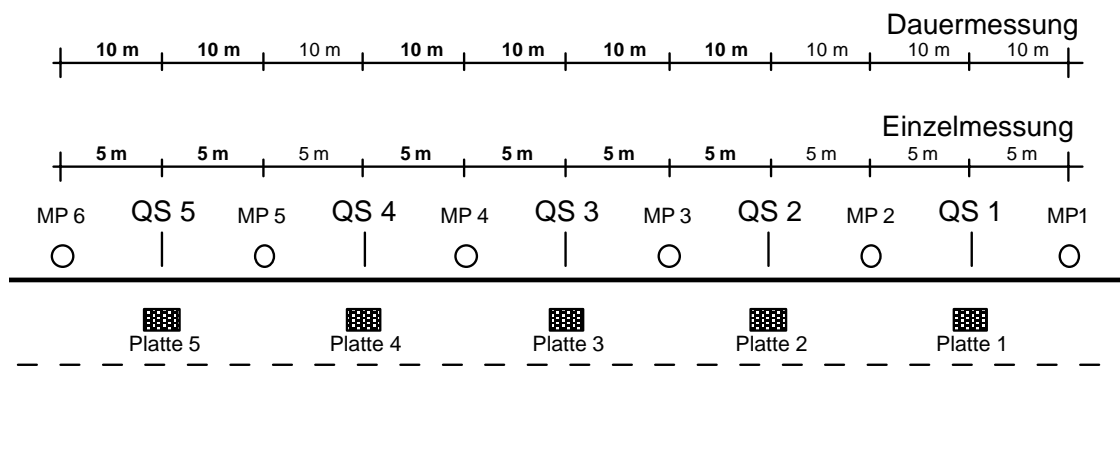
Beilage: Querschnitte und Abmessungen



Vergleichsmessungen Messplatten / Messpfosten¹

Versuchsordnung

Auf einem geraden Strassenabschnitt wurden die Messeinrichtungen wie nachfolgend dargestellt angeordnet. Die Einzelmessungen fanden im Areal der ETH-Hönggerberg statt, die Dauermessung wurde auf einer öffentlichen Strasse ausserorts durchgeführt. Zur Gewährleistung eines optisch vertrauten Erscheinungsbildes des Strassenraums (keine zu dichte Ansammlung von Leitpfosten am Fahrbahnrand) wurden bei der Dauermessung gegenüber der Einzelmessung die Abstände zwischen den Messpfosten von 10 m auf 20 m vergrössert.



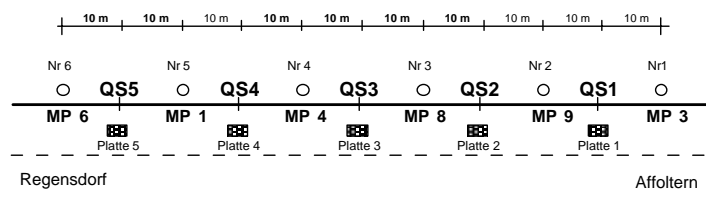
Einzelmessung:

Mit einem Fahrzeug mit geeichtem Tachometer wurde die Strecke mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchfahren, so dass zur Auswertung rund 40 Messfahrten zur Verfügung standen, die einen Geschwindigkeitsbereich von 20 km/h bis 76 km/h abdeckten. Die Testfahrten wurden so ausgelegt, dass höchstens eine Fahrt pro Minute durchgeführt wurde, die eindeutig den Messergebnissen der Messplatten zugeordnet werden konnte.

Dauermessung:

Die Geschwindigkeitsmessungen mit den beiden Systemen erfolgte auf einer HVS a.o. mit signalisierter Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Die Versuchsstrecke wurde während einer Messdauer von 4 Std. von ca. 1'400 Fahrzeugen befahren. Von rund 1'000 Fz konnten das Geschwindigkeitsverhalten verfolgt und die relevanten Verkehrsdaten ausgewertet werden. Die gefahrenen Geschwindigkeiten in den einzelnen Querschnitten sind sehr ausgeglichen. Die relevanten Werte variieren bis maximal 3 km/h (4%) über die ganze Versuchsstrecke (vgl. folgende Tabelle).

	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	QS 5
Anzahl Fz	1'010	982	968	1'078	709
V_m [km/h]	76.7	79.8	78.1	78.2	78.5
S [km/h]	8.0	9.2	8.4	8.3	8.5
V_{15} [km/h]	70.0	72.0	71.0	71.0	72.0
V_{50} [km/h]	77.0	80.0	78.0	78.0	78.0
V_{85} [km/h]	83.0	85.0	86.0	85.0	86.0



¹ M. Laube: Verkehrsmesssystem NC 97; Messgenauigkeit der Geschwindigkeitserhebungen, Zwischenbericht, IVT-ETH Zürich, November 2000

Vergleichsmessungen Messplatten / Messpfosten

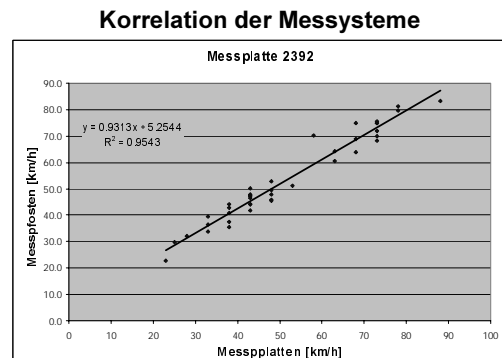
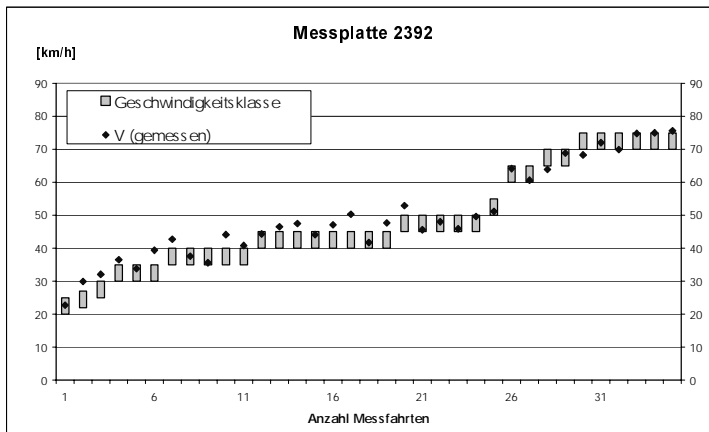
Beispiel Auswertung und Korrelation

In der folgenden Abbildung sind die Geschwindigkeiten der einzelnen Durchfahrten der Einzelmessung sowie die aus dem Auswerteprogramm VISPA angegebenen Geschwindigkeitsklassen am Beispiel einer Messplatte (Nr. 2392) dargestellt. Durch die Auswertung und die Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsdaten konnte die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit der Platten beurteilt sowie die Korrelationsbeziehung zwischen den zwei Messsystemen definiert werden. Die Abweichungen der Geschwindigkeitswerte lassen sich mit einer linearen Korrelation annähern.

Ergebnisse Einzelmessung

In der folgenden Diagramm links sind die Geschwindigkeiten der einzelnen Durchfahrten sowie die aus dem Auswerteprogramm VISAP angegebenen Geschwindigkeitsklassen dargestellt. Die gemessenen Werte liegen in den unteren Geschwindigkeitsbereichen tendenziell über den angegebenen Geschwindigkeitsklassen, in den oberen Geschwindigkeitsbereichen liegen die Messwerte der Pfosten hingegen oftmals in der von der Platte gemessenen Geschwindigkeitsklasse. Der Vergleich der Mittelwerte und der Standardabweichung ist in der Tabelle unten angegeben.

Im Diagramm rechts sind die Messwerte der Messplatte 2392 den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten (Punktwolke $V_{\text{Messpfosten}} - V_{\text{Messplatten}}$) gegenübergestellt sowie die Regressionsgerade mit der Geradengleichung und dem Bestimmtheitsmass eingetragen.



Korrelationsgleichung
 $V = 0.93 \cdot V_{MP2392} + 5.25 \text{ km/h}$

	V_{gefahren} (Messpfosten)	Messplatte Nr. 2392 aus V-Auswertung	Differenz
Mittelwert	53.0 km/h	48.6 km/h	4.4 km/h (8.3%)
Standardabweichung	16.0 km/h	15.3 km/h	0.7 km/h

Mit einem Korrelationsfaktor von $R = 0.98$ kann eine lineare Korrelation zwischen den Werten der Messplatte 2392 und den gefahrenen Geschwindigkeiten angenommen werden.

Ergebnisse Dauermessung

	V Messpfosten	V Messplatte 2392	Differenz
Anzahl Fz	968	1447	-409
V_m [km/h]	78.1	77.8	0.2 (0.3%)
V_{15} [km/h]	71.0	67.9	3.1 (4.4%)
V_{85} [km/h]	86.0	89.4	-3.4 (-3.9%)

An diesem Vergleichsquerschnitt konnten rund 1'000 Fahrzeuge verfolgt und die Messdaten verglichen werden. Die Unterschiede der statistischen Kenngrößen liegen im Bereich von $\pm 3.5\%$.

Die Korrelation sowie die Gegenüberstellung der wichtigsten statistischen Werte der Dauermessung mit den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

	V Messplatte 2392	Korrelierte Werte	V Messpfosten	Differenz
V_m [km/h]	77.8	77.6	78.1	0.4 (0.5%)
V_{15} [km/h]	67.9	68.4	71.0	2.6 (3.7%)
V_{85} [km/h]	89.4	88.4	86.0	-2.4 (-2.8%)

Die Abweichungen der gemessenen Werte zu den gefahrenen Geschwindigkeiten liegen unter 5%. Durch die lineare Korrelation konnten die V_{15} - und V_{85} -Werte noch besser angenähert werden. Die korrelierten Werte liegen im Bereich der Messgenauigkeit der Messpfosten.

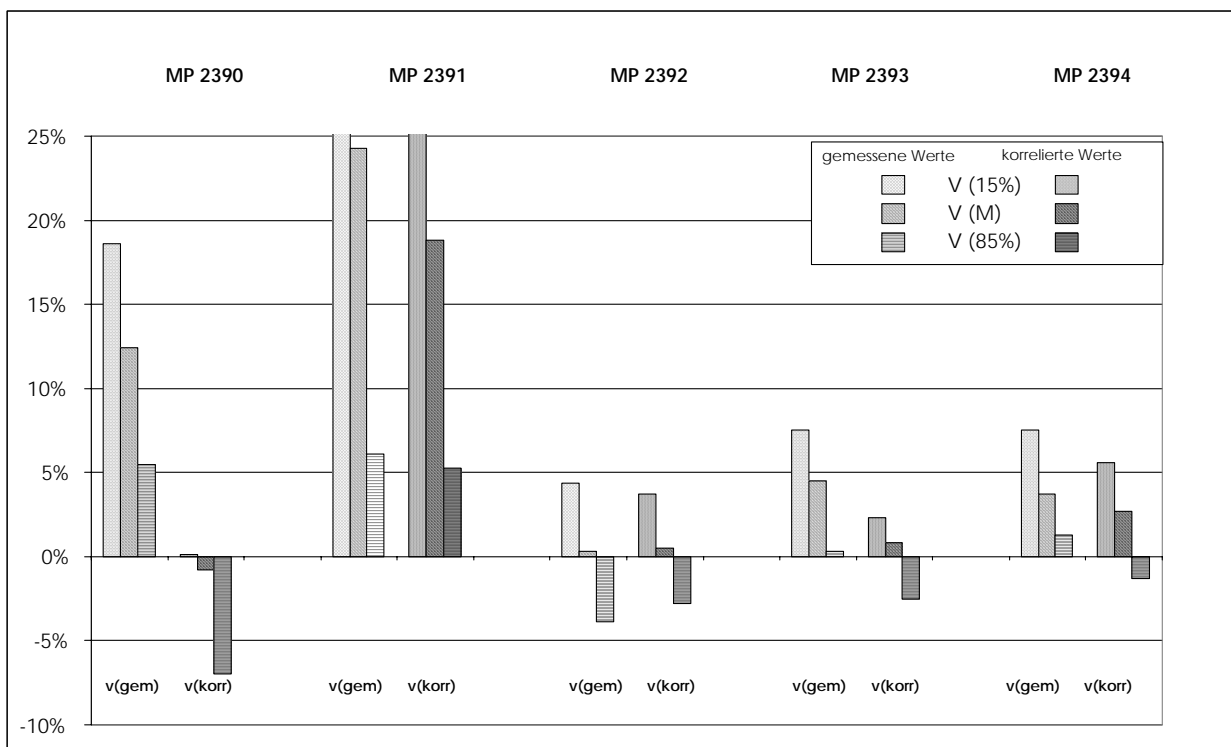
Vergleichsmessungen Messplatten / Messpfosten

Gesamtübersicht

Die Korrelationsbeziehung wurde für jede der fünf getesteten Platten separat berechnet. Die Überprüfung der Korrelation erfolgte für die in der Verkehrstechnik relevanten Werte $V_{15\%}$, V_m und $V_{85\%}$ der Dauermessung (ca. 1'000 Fz). In der folgenden Abbildung sind die prozentualen Abweichungen der Ergebnisse der einzelnen Messplatten (MP) zu den effektiv gefahrenen Geschwindigkeiten vor der Korrelation ($v_{(gem)}$) und nach der Korrelation ($v_{(korr)}$) dargestellt.

Daraus ist ersichtlich, dass eine Messplatte (MP 2391) sehr grosse Abweichungen aufweist, die auch nach der Korrelation gross geblieben sind. Diese Messplatte war offensichtlich defekt und musste ausgeschieden werden.

Bei den übrigen Messplatten ergaben sich nach der Korrelation Abweichungen von maximal ca. $\pm 5\%$; die beste Übereinstimmung resultiert bei der mittleren Geschwindigkeit (maximal ca. $\pm 2\%$). Die Korrelationsfaktoren der Lineargleichungen liegen bei diesen Platten über dem Wert von 0.9.



Untersuchungsstrecken

SG 1

Baustelle St. Gallen: A1 bei Anschluss Uzwil / Oberbüren

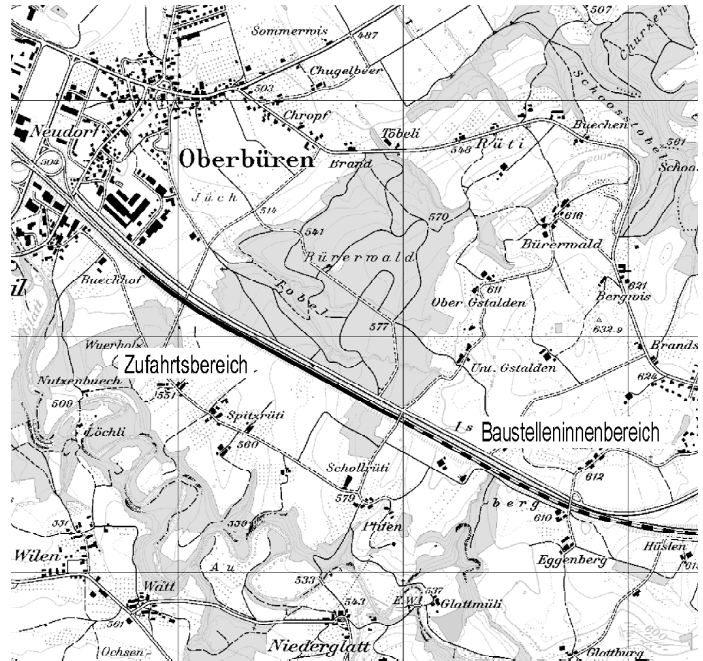
Betriebsform: 4+0

Charakteristik:

- Länge der Baustelle: 10 km
- DTV: 44'000 Fz/Tag (7.5% Schwerververkehrsanteil)
- Zufahrt liegt in leichter Linkskurve, die in Gerade übergeht
- Zufahrt liegt in einer Steigungsstrecke (Längsneigung 5%)
- Dritter Fahrstreifen rechts in der Zufahrt mit hohen Baken abgesperrt

Überleitung:

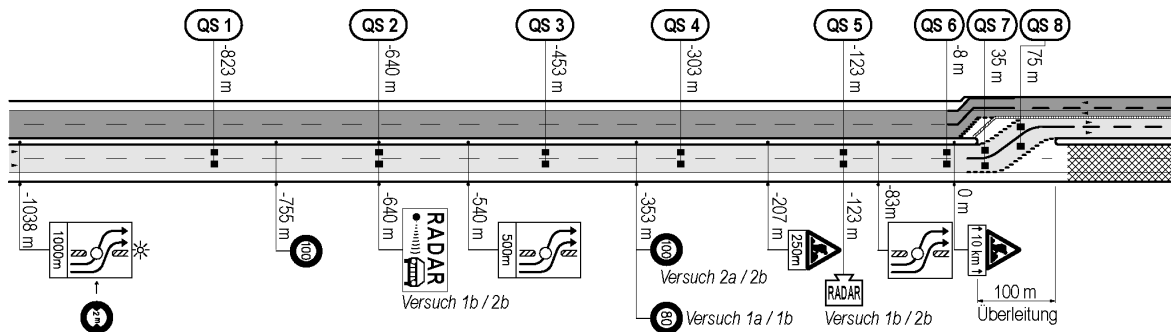
- 2-streifig; nachts beleuchtet (2 Masten)
- Öffnungslänge 100 m
- Höchstbreitenbeschränkung auf linkem Fahrstreifen



Fahrstreifenbreiten

Fahrstreifen	links (m)	rechts (m)
Zufahrt	4.00	4.00
Überleitung	4.00	4.05
Baustelleninnenbereich	2.50	3.00

Signalisation und Messanordnung



Fotodokumentation (Ansichten der Zufahrt und der Überleitung)



Untersuchungstrecken

SG 2

Baustelle St. Gallen: A1 Kantonsgrenze TG / SG

Betriebsform: 3+1

Charakteristik:

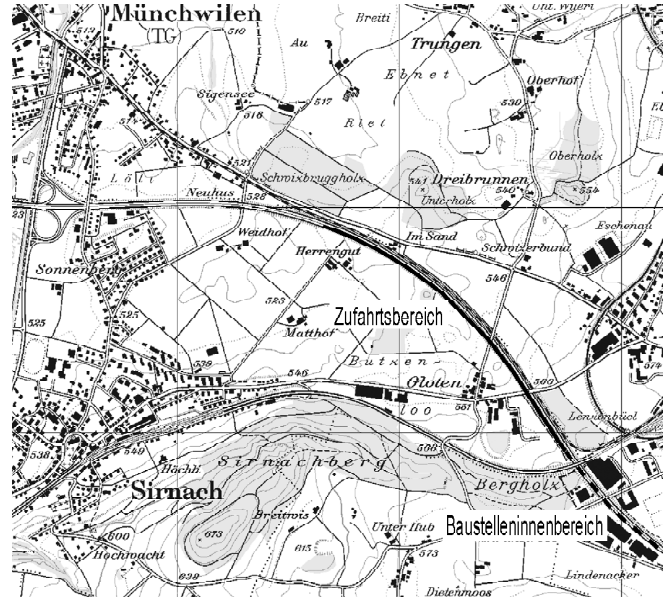
- Länge der Baustelle: 4 km (1. Teilabschnitt)
- DTV: 40'000 Fz/Tag (7.5% Schwerververkehrsanteil)
- Baustellenzufahrtsbereich liegt in Rechtskurve (R = 1'750 m)
- Anschluss Will nur über rechten Fahrstreifen erreichbar
- Überleitung mit blinkenden Abweispfeilen in Hochlage verdeutlicht
- rechter Fahrstreifen im Baustelleninnenbereich verschwenkt

Überleitung:

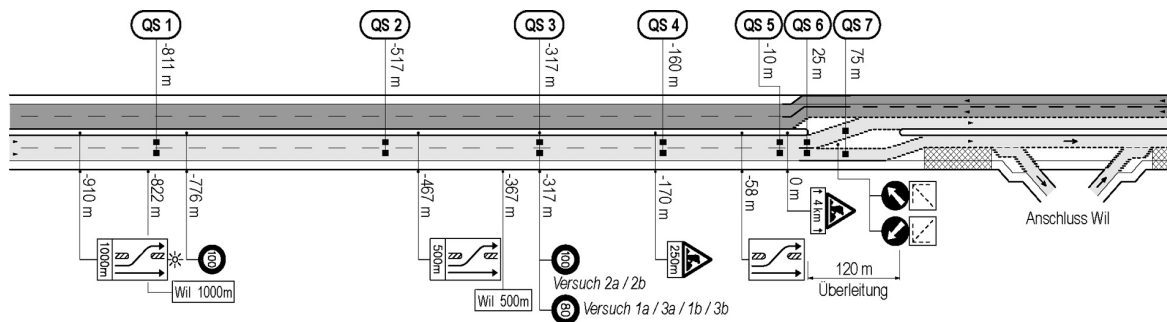
- 1 streifig; nachts beleuchtet (2 Masten)
- Öffnungslänge 120 m
- keine Höchstbreitenbeschränkung für linken Fahrstreifen

Fahrstreifenbreiten

Fahrstreifen	links (m)	rechts (m)
Zufahrt	4.00	4.00
Überleitung	3.80	4.00
Baustelleninnenbereich	3.30	3.50



Signalisation und Messanordnung



Fotodokumentation (Ansichten der Zufahrt und der Überleitung)



Untersuchungstrecken

ZG 1

Baustelle Zug: A14 Rotkreuz

Betriebsform: 4+0

Charakteristik:

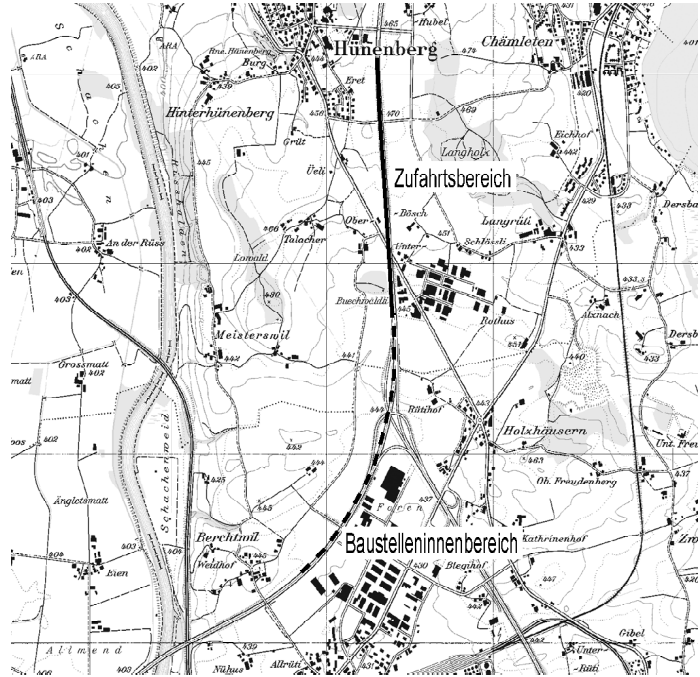
- Länge der Baustelle: 1.5 km
- DTV: 47'000 Fz/Tag (8.1% Schwerververkehrsanteil)
- Zufahrt liegt in leichter Linkskurve, die in Gerade übergeht
- Überleitung beginnt unmittelbar im Bereich der Autobahnverzweigung A4/A14, wo die Ausfahrt A4 als zusätzlicher Fahrstreifen rechts angefügt ist
- Verkehrsaufteilung bei der Autobahnverzweigung: ca. 2/3 Rtg. Luzern (A14), 1/3 Rtg. Gotthard (A4)

Überleitung:

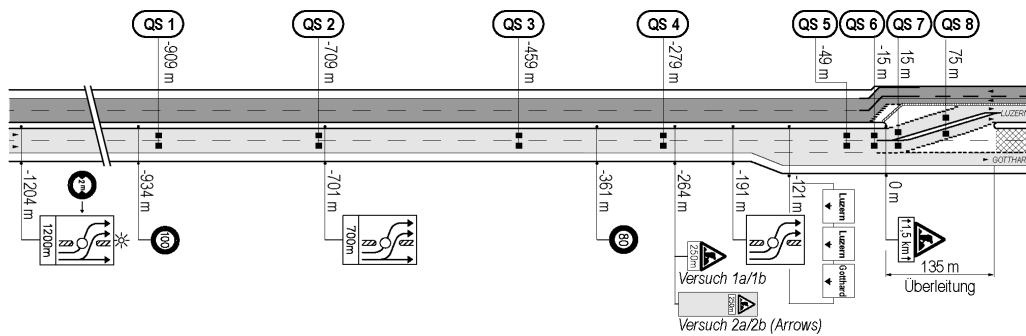
- 2-streifig, Öffnungslänge 125 m
- im Bereich der Überleitung Pannestreifen mit hohen Baken abgesperrt
- Baken in der Überleitung mit Lauflichter beleuchtet
- Höchstbreitenbeschränkung auf linkem Fahrstreifen

Fahrstreifenbreiten

Fahrstreifen	links (m)	rechts (m)
Zufahrt	3.90	3.90
Überleitung	3.35	4.50
Baustelleninnenbereich	2.95	3.00



Signalisation und Messanordnung



Fotodokumentation (Ansichten der Zufahrt und der Überleitung)



Untersuchungstrecken

AG 1

Baustelle Aargau: A1 Baden - Baregg

Betriebsform: 4+2 / 4+1

Charakteristik:

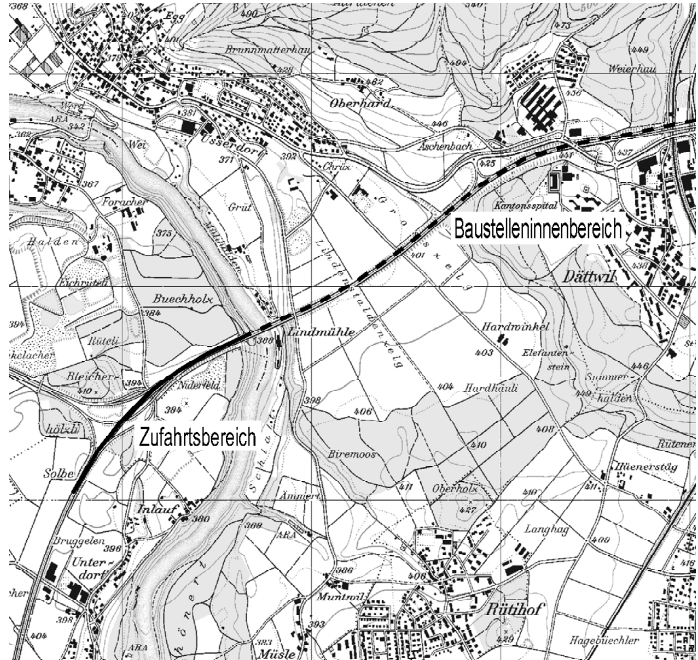
- Länge der Baustelle: 2.7 km
- DTV: 98'000 Fz/Tag (14% Schwerververkehrsanteil)
- Verzweigung A1 / A3 liegt in Baustellenzufahrt
- Baustellenzufahrt in leichter Rechtskurve, die in Gerade übergeht
- Baustelleninnenbereich liegt in einer Steigung von ca. 3.5%

Überleitung:

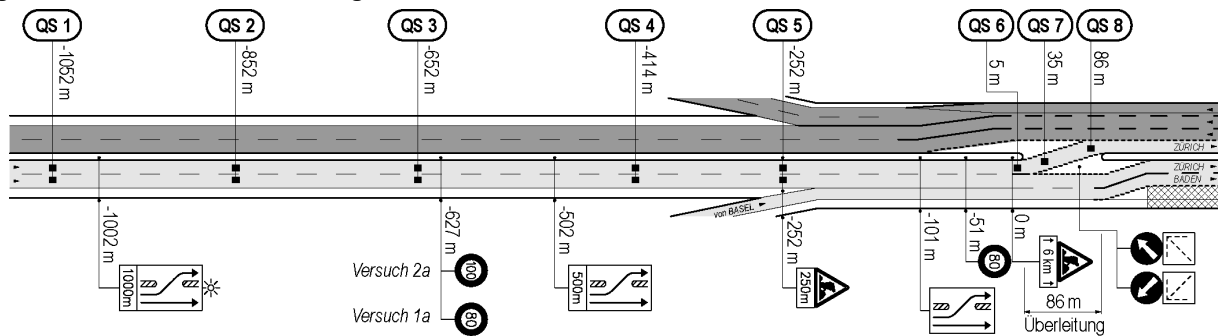
- 1-streifig, Öffnungslänge 86 m
- Baken mit Lauflichter (rechts) / Metalleitschranke (links)
- Beginn Überleitung mit blinkenden Abweispfeilen in Hochlage verdeutlicht
- keine Höchstbreitenbeschränkung auf linkem Fahrstreifen

Fahrstreifenbreiten

Fahrstreifen	links (m)	rechts (m)
Zufahrt	3.90	3.90
Überleitung	3.65	3.70
Baustelleninnenbereich	3.25	3.25



Signalisation und Messanordnung



Fotodokumentation (Ansichten der Zufahrt und der Überleitung)

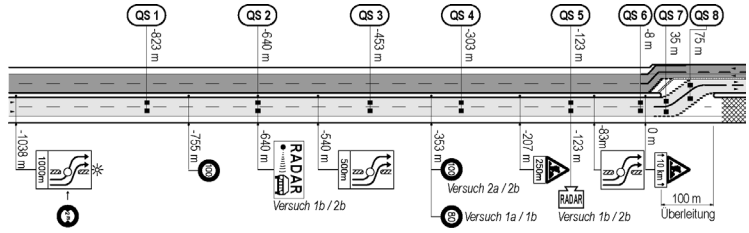


Geschwindigkeitsverhalten

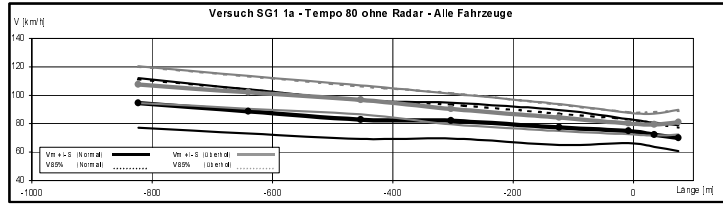
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für alle Fahrzeuge

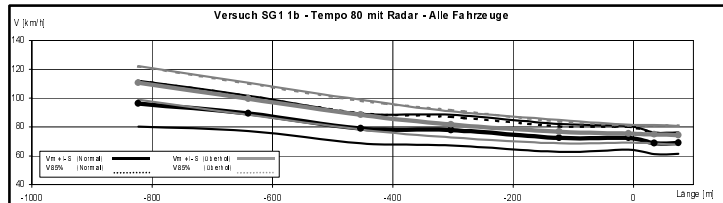
Betriebsform: 4 / 0
 Vsignalisiert: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100



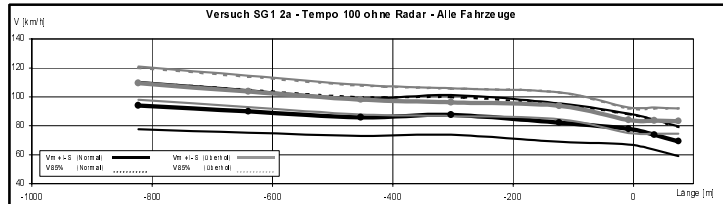
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001 / 09.00-10.00)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	94,5	88,6	82,7	82,0	77,3	74,7	72,1	69,8	23,6	678
	Std.abw.	17,5	15,6	13,6	12,6	12,3	8,4	8,5	9,2		
	V 85%	111,0	103,8	96,6	93,3	86,9	83,0	80,0	77,0		
Überhol	V mittel	107,4	102,1	96,7	90,3	84,2	80,1	79,3	81,0	2,4	425
	Std.abw.	12,9	11,6	10,2	10,8	9,4	7,5	7,8	8,7		
	V 85%	120,0	113,1	106,2	101,4	93,3	88,0	88,0	89,0		



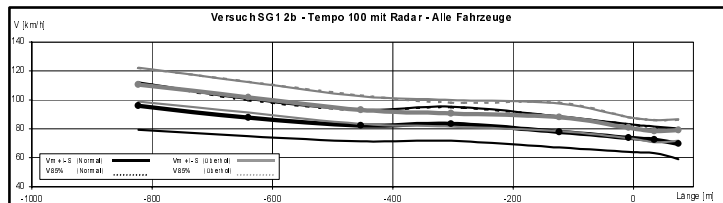
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001 / 08.30-10.30)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	96,2	89,4	79,0	77,8	72,4	72,4	68,7	68,9	21,9	1448
	Std.abw.	15,9	12,2	10,4	10,6	9,6	8,2	7,5	7,4		
	V 85%	112,0	101,4	89,6	86,9	80,5	80,0	75,8	75,0		
Überhol	V mittel	110,6	99,6	88,5	81,8	76,7	75,4	74,9	74,3	2,4	872
	Std.abw.	11,7	11,1	10,4	9,1	8,1	6,2	6,4	6,4		
	V 85%	122,0	110,1	98,1	91,7	83,7	81,0	81,0	81,0		



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001 / 13.45-15.45)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	94,0	90,0	85,9	87,5	82,2	77,8	73,8	69,4	26,8	1404
	Std.abw.	16,4	14,7	12,9	13,8	13,2	10,7	10,4	10,3		
	V 85%	110,0	104,9	99,8	99,8	94,9	88,0	84,0	79,0		
Überhol	V mittel	109,4	103,7	98,0	96,3	93,8	83,9	83,6	83,2	2,1	1010
	Std.abw.	11,6	10,9	10,2	9,6	9,2	8,8	9,0	8,7		
	V 85%	120,0	113,9	107,8	105,7	103,0	92,0	92,0	92,0		



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001 / 13.30-15.30)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	95,8	87,7	82,3	83,5	77,9	73,7	72,4	69,7	23,9	1378
	Std.abw.	16,4	12,8	11,0	11,8	10,8	9,6	9,2	10,6		
	V 85%	112,0	99,8	92,8	94,9	88,5	83,0	81,0	78,0		
Überhol	V mittel	110,5	101,8	93,0	90,7	88,0	80,8	78,4	79,1	1,9	857
	Std.abw.	11,7	10,6	9,5	9,2	9,6	7,3	7,6	7,4		
	V 85%	122,0	112,5	103,0	98,1	98,1	88,0	86,0	86,0		

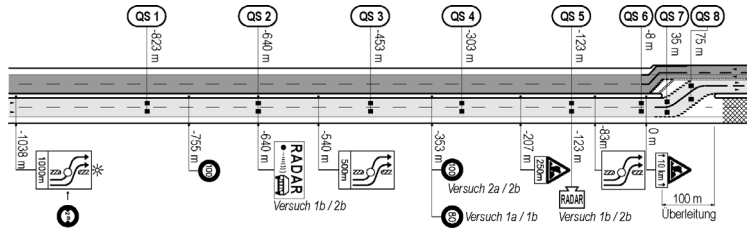


Geschwindigkeitsverhalten

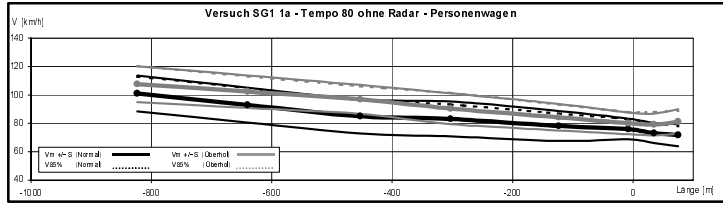
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Personenwagen**

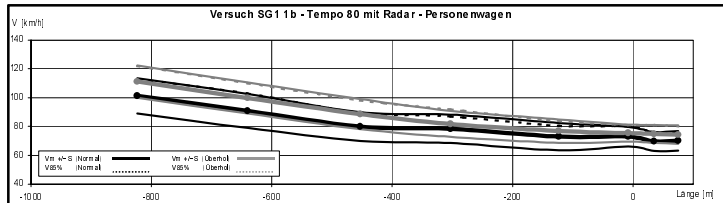
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100



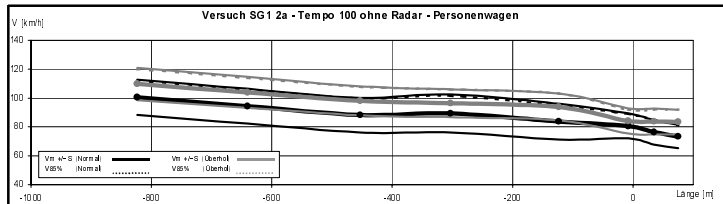
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001 / 09.00-10.00)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	101,0	93,0	84,9	83,1	78,2	76,0	73,1	71,7	n/a	518
	Stdabw.	12,7	12,4	12,0	12,2	10,6	7,3	7,1	7,9		
	V 85%	113,0	104,8	96,6	93,3	86,9	83,0	80,0	78,0		
Überhol	V mittel	107,7	102,3	96,9	90,4	84,3	80,0	79,2	81,3	n/a	415
	Stdabw.	12,7	11,5	10,2	10,9	9,4	7,6	7,7	8,6		
	V 85%	120,3	113,3	106,2	101,4	93,3	88,0	88,0	89,0		



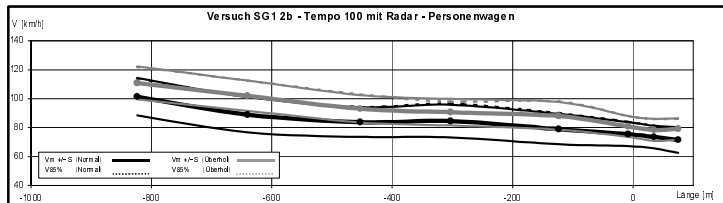
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001 / 08.30-10.30)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	101,3	90,8	79,9	78,3	72,9	72,9	69,6	70,1	n/a	1131
	Stdabw.	12,3	11,8	10,0	9,9	9,5	6,8	6,6	6,6		
	V 85%	113,0	103,0	89,6	86,9	80,5	80,0	76,0	76,0		
Überhol	V mittel	111,1	99,9	88,6	81,8	76,8	75,4	74,8	74,3	n/a	851
	Stdabw.	11,2	10,8	10,4	9,1	8,1	6,0	6,1	6,4		
	V 85%	122,0	110,1	96,1	91,7	83,7	81,0	81,0	80,0		



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001 / 13.45-15.45)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	100,5	94,4	88,2	89,4	83,7	80,7	76,3	73,4	n/a	1028
	Stdabw.	12,2	12,1	12,0	13,2	12,4	8,6	8,4	8,2		
	V 85%	112,0	105,9	99,8	101,4	94,9	89,0	85,1	81,0		
Überhol	V mittel	109,7	103,9	96,1	96,4	93,8	84,2	83,8	83,4	n/a	989
	Stdabw.	11,2	10,6	10,0	9,6	9,2	8,7	8,9	8,6		
	V 85%	120,0	113,9	107,8	105,8	103,0	92,0	92,0	92,0		



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001 / 13.30-15.30)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	101,4	89,0	83,8	84,5	79,0	75,5	73,5	71,5	n/a	1049
	Stdabw.	13,0	12,3	10,3	11,3	10,5	8,2	7,9	8,8		
	V 85%	114,0	101,4	94,4	96,5	90,1	84,0	81,3	79,0		
Überhol	V mittel	110,9	102,0	93,1	90,7	88,1	80,8	78,4	79,1	n/a	841
	Stdabw.	11,4	10,5	9,5	9,2	9,6	7,3	7,6	7,4		
	V 85%	122,0	112,5	103,0	98,1	98,1	88,0	86,0	86,0		

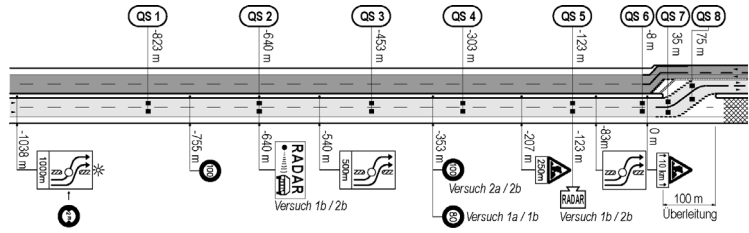


Geschwindigkeitsverhalten

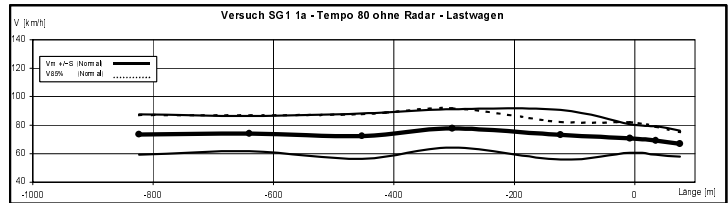
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Lastwagen** (L > 6.5 m)

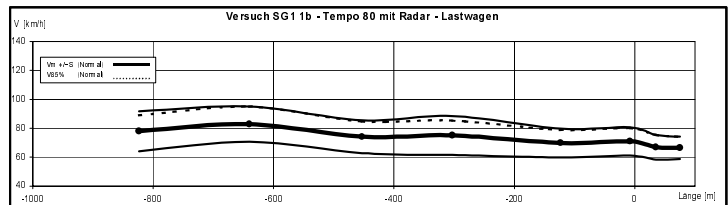
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100



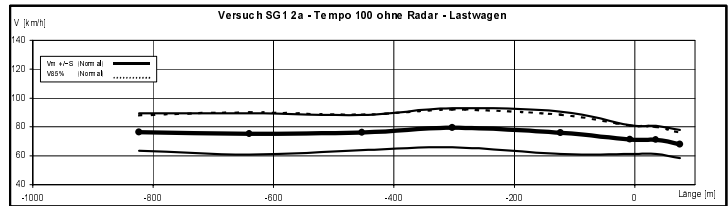
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001 / 09.00-10.00)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	73.5	74.1	72.3	77.7	73.2	70.7	69.2	67.0	n/a	160
	Std.abw.	14.2	12.4	15.9	13.5	17.4	10.0	10.0	9.2		
	V 85%	87.0	86.9	87.6	91.7	82.1	82.0	79.0	75.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



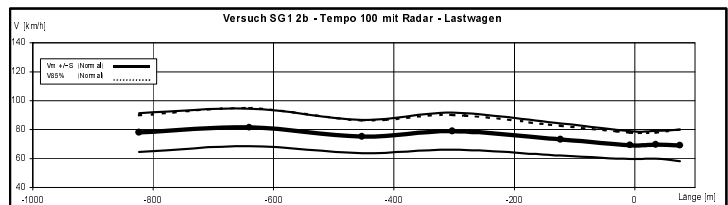
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001 / 08.30-10.30)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	78.0	82.9	74.1	75.0	69.8	70.9	66.9	66.5	n/a	317
	Std.abw.	13.8	12.2	11.3	13.4	9.9	9.8	8.6	7.7		
	V 85%	89.0	94.9	84.8	85.3	78.8	80.0	75.5	74.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001 / 13.45-15.45)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	76.4	75.3	76.1	79.5	76.0	71.3	71.1	68.1	n/a	376
	Std.abw.	12.9	14.3	12.2	13.5	14.7	9.9	9.8	9.7		
	V 85%	88.0	90.1	88.5	91.9	88.5	81.0	80.1	76.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001 / 13.30-15.30)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	78.0	81.6	75.2	78.9	73.2	69.3	69.6	69.1	n/a	329
	Std.abw.	13.4	13.0	11.5	12.8	11.1	9.6	9.6	10.9		
	V 85%	90.0	94.9	86.4	90.1	82.6	78.0	78.0	80.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										

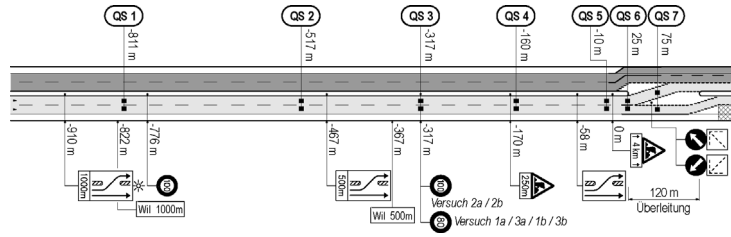


Geschwindigkeitsverhalten

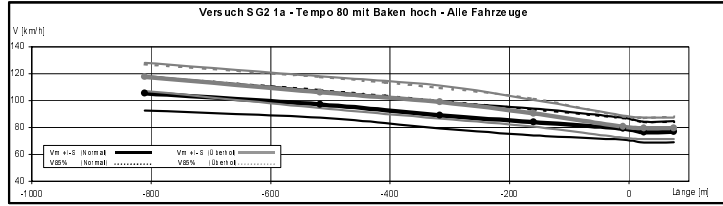
Untersuchungsstrecke SG2

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für alle Fahrzeuge

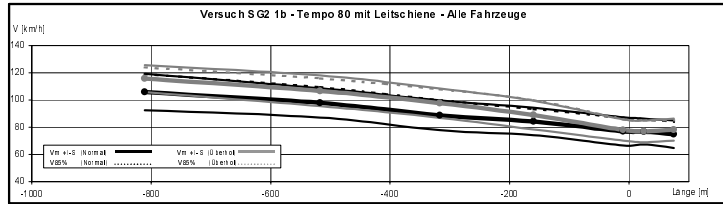
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Bakem hoch / blinkende Abweispeile
 Zusatzelemente: Leitschienen mit Bakem niedrig / Tempo 100 / Nachtmessung



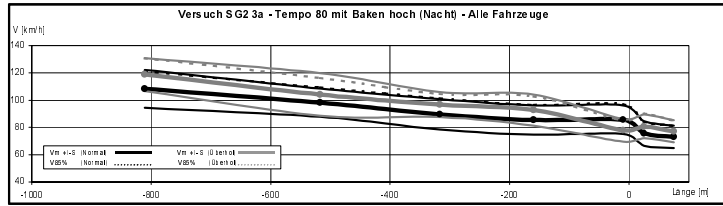
Versuch SG2 1a		Tempo 80 mit Bakem hoch (7.8.2001 / 08.45-10.45)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	105,4	97,2	89,1	84,1	79,1	76,4	77,0	23,8	1687
	Stdabw.	12,7	10,0	9,8	10,0	8,2	7,8	7,9		
	V 85%	118,0	107,8	99,8	93,3	87,0	84,0	84,0		
Überhol	V mittel	117,7	106,3	99,0	90,6	80,6	79,5	79,5	1,8	739
	Stdabw.	10,5	11,8	12,3	10,0	8,3	8,0	7,9		
	V 85%	127,0	117,5	109,4	101,4	88,0	87,0	88,0		



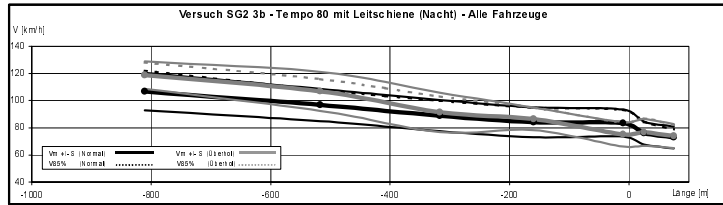
Versuch SG2 1b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001 / 08.45-10.45)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	105,6	97,9	88,7	84,2	76,9	76,8	74,8	25,2	1729
	Stdabw.	13,4	10,7	11,0	10,0	10,4	9,5	10,1		
	V 85%	119,0	109,4	99,8	93,3	87,0	86,0	84,0		
Überhol	V mittel	115,8	106,7	97,7	88,9	78,0	77,0	78,2	2,1	872
	Stdabw.	9,9	11,3	10,7	10,6	7,8	8,0	8,1		
	V 85%	124,0	115,8	107,8	99,8	86,0	85,0	85,0		



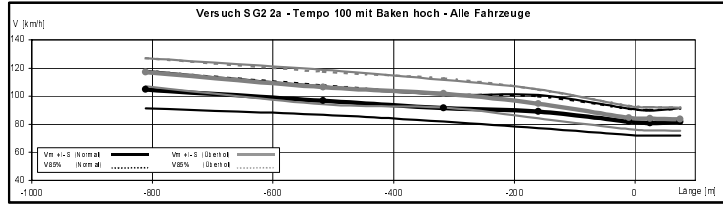
Versuch SG2 3a		Tempo 80 mit Bakem hoch (7.8.2001 / 21.50-23.50)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	108,3	98,2	89,6	85,4	85,7	75,6	73,1	3,4	733
	Stdabw.	13,9	10,3	11,2	10,7	10,5	9,1	8,1		
	V 85%	121,0	109,4	101,4	96,5	97,0	84,3	81,0		
Überhol	V mittel	118,8	104,2	96,8	92,7	77,8	80,7	77,1	1,9	104
	Stdabw.	12,0	15,6	9,1	11,4	8,3	8,7	8,1		
	V 85%	130,9	116,2	104,6	102,7	85,0	90,0	85,0		



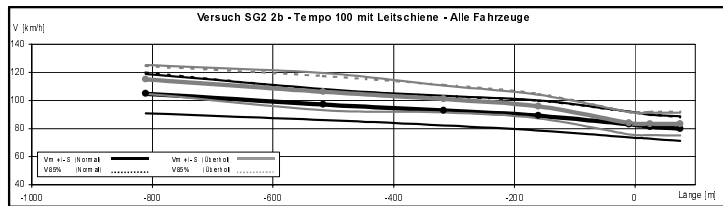
Versuch SG2 3b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001 / 21.50-23.50)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	106,7	96,8	89,0	84,1	83,5	76,1	72,9	2,7	675
	Stdabw.	13,8	11,8	11,5	10,9	9,9	8,4	8,1		
	V 85%	122,0	107,8	99,8	94,9	93,0	84,3	79,0		
Überhol	V mittel	118,8	106,9	91,4	86,6	75,1	76,7	74,0	1,0	103
	Stdabw.	10,1	14,4	14,5	8,2	9,0	9,9	8,8		
	V 85%	128,1	115,8	103,0	94,9	84,0	87,0	82,0		



Versuch SG2 2a		Tempo 100 mit Bakem hoch (7.8.2001 / 13.30-15.30)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	104,6	96,8	91,5	89,1	81,8	80,9	81,7	23,6	1729
	Stdabw.	13,3	10,1	9,7	11,8	9,4	9,0	9,8		
	V 85%	118,0	107,8	101,4	99,8	91,0	90,0	91,0		
Überhol	V mittel	117,0	106,5	101,8	94,6	84,6	84,0	83,6	2,0	750
	Stdabw.	10,0	12,3	9,8	10,3	8,2	8,3	8,2		
	V 85%	127,0	117,5	112,6	104,6	93,0	92,0	92,0		



Versuch SG2 2b		Tempo 100 mit Leitschiene (14.8.2001 / 13.45-15.45)							Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#FZ
Normal	V mittel	104,9	97,1	92,8	89,3	83,0	81,4	80,0	26,8	1602
	Stdabw.	14,0	11,0	10,6	10,7	9,2	8,5	8,8		
	V 85%	120,0	107,8	103,0	99,8	92,0	90,1	88,0		
Überhol	V mittel	115,1	106,3	101,1	95,7	84,0	83,3	83,3	3,9	720
	Stdabw.	10,3	13,2	9,6	8,4	8,0	8,0	8,1		
	V 85%	124,5	117,5	111,0	104,6	92,0	92,0	92,0		

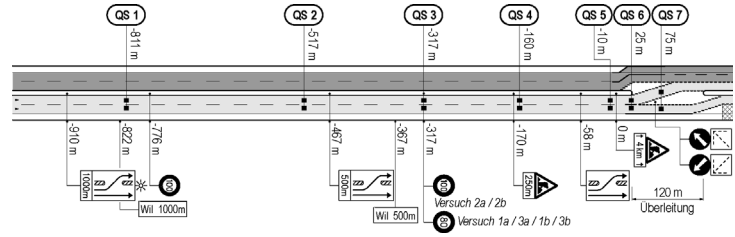


Geschwindigkeitsverhalten

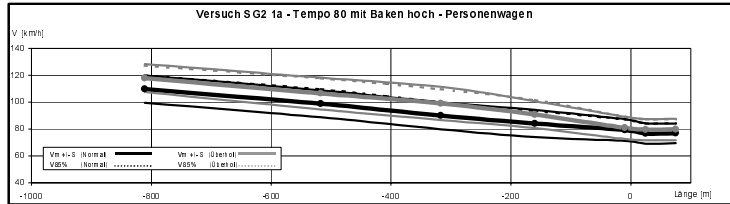
Untersuchungsstrecke SG2

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Personenwagen**

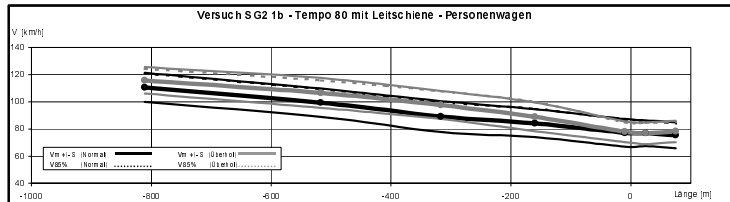
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch / blinkende Abweisfeile
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / Tempo 100 / Nachtmessung



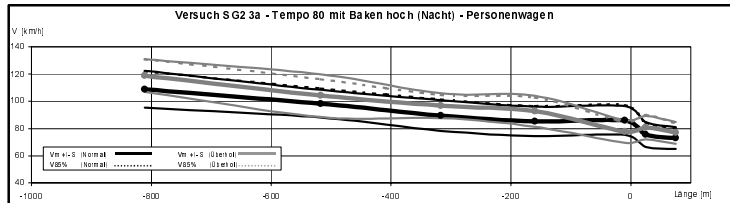
Versuch SG2 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001 / 08.45-10.45)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	109.6	98.7	89.8	84.1	79.2	76.6	76.7	n/a	1286
	Stdabw.	10.2	10.0	10.0	10.1	8.1	7.6	7.3		
	V 85%	119.7	109.4	99.8	93.3	87.0	84.1	84.0		
Überhol	V mittel	117.8	106.4	99.0	90.7	80.8	79.4	79.5	n/a	726
	Stdabw.	10.4	11.8	12.3	10.0	8.2	7.9	7.9		
	V 85%	127.0	117.5	109.4	101.4	89.0	87.0	87.0		



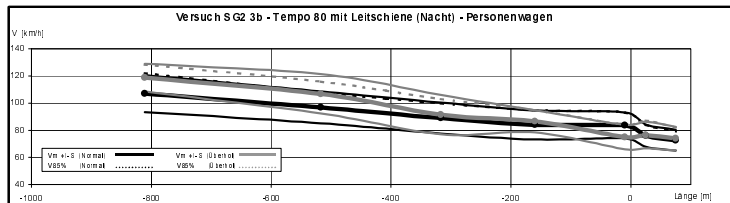
Versuch SG2 1b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001 / 08.45-10.45)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	110.7	99.4	89.3	84.3	77.2	76.9	75.4	n/a	1293
	Stdabw.	10.7	10.5	11.4	10.3	10.3	9.6	9.6		
	V 85%	121.0	109.4	99.8	94.9	87.0	86.0	84.0		
Überhol	V mittel	115.9	106.6	97.7	89.1	78.0	77.0	78.3	n/a	854
	Stdabw.	9.8	11.0	10.3	10.6	7.6	7.9	7.9		
	V 85%	124.4	115.8	107.8	99.8	85.0	84.7	85.0		



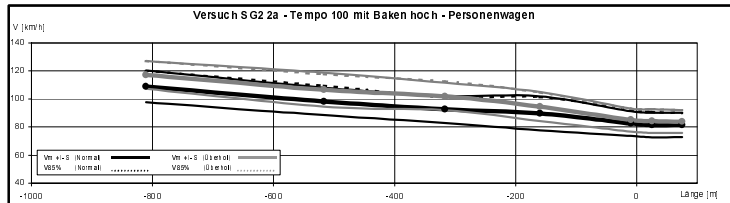
Versuch SG2 3a		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001 / 21.50-23.50)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	108.9	98.3	89.6	85.3	85.9	75.6	73.0	n/a	708
	Stdabw.	13.6	10.2	11.2	10.7	10.5	9.1	8.0		
	V 85%	122.0	109.4	101.4	96.5	97.0	84.3	80.0		
Überhol	V mittel	118.9	104.2	96.8	92.7	77.8	80.7	76.9	n/a	102
	Stdabw.	12.1	15.6	9.1	11.4	8.3	8.6	8.1		
	V 85%	131.0	116.2	104.6	102.7	85.0	90.0	84.0		



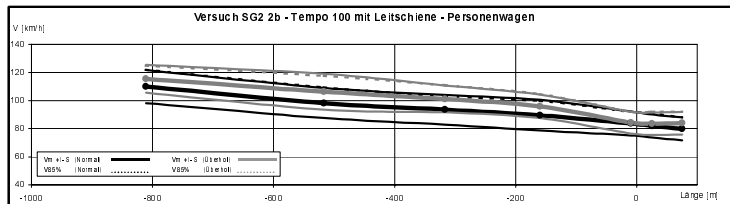
Versuch SG2 3b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001 / 21.50-23.50)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	107.1	96.9	89.0	84.0	83.6	76.1	72.7	n/a	657
	Stdabw.	13.6	11.8	11.4	10.7	9.6	8.2	7.7		
	V 85%	122.0	107.8	99.8	94.9	93.0	83.9	79.0		
Überhol	V mittel	118.8	106.9	91.5	86.6	75.0	76.5	74.0	n/a	102
	Stdabw.	10.2	14.4	14.6	8.2	9.0	9.8	8.7		
	V 85%	128.4	115.8	103.0	94.9	84.0	87.0	82.0		



Versuch SG2 2a		Tempo 100 mit Baken hoch (7.8.2001 / 13.30-15.30)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	108.9	98.3	92.6	89.8	82.5	81.4	81.6	n/a	1321
	Stdabw.	11.3	9.8	9.7	12.0	8.6	8.6	8.7		
	V 85%	120.0	109.4	101.4	101.4	92.0	90.7	90.0		
Überhol	V mittel	117.2	106.6	101.8	94.6	85.0	84.2	83.9	n/a	735
	Stdabw.	9.9	12.1	9.7	10.3	8.2	8.4	8.2		
	V 85%	127.0	117.5	112.6	104.6	93.0	92.7	92.0		



Versuch SG2 2b		Tempo 100 mit Leitschiene (14.8.2001 / 13.45-15.45)							PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#PW
Normal	V mittel	110.1	98.3	93.5	89.6	83.7	81.9	79.9	n/a	1173
	Stdabw.	11.8	10.8	10.6	11.0	8.5	8.2	8.2		
	V 85%	122.0	109.4	103.0	99.8	92.0	91.0	88.0		
Überhol	V mittel	115.5	106.4	101.2	95.9	84.3	83.5	83.9	n/a	692
	Stdabw.	10.0	12.8	9.6	8.4	7.8	8.0	8.2		
	V 85%	125.0	117.5	111.0	104.6	92.0	92.0	92.0		

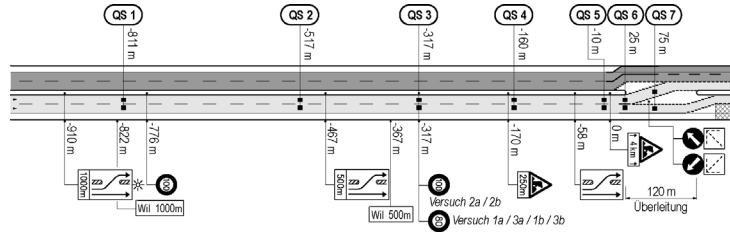


Geschwindigkeitsverhalten

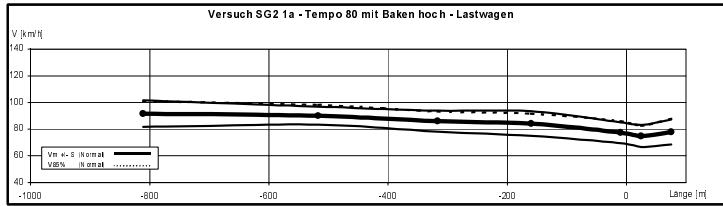
Untersuchungsstrecke SG2

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Lastwagen** ($L > 6.5m$)

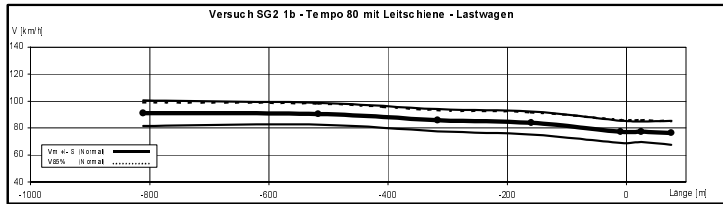
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Bakem hoch / blinkende Abweispeile
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Bakem niedrig / Tempo 100 / Nachtmessung



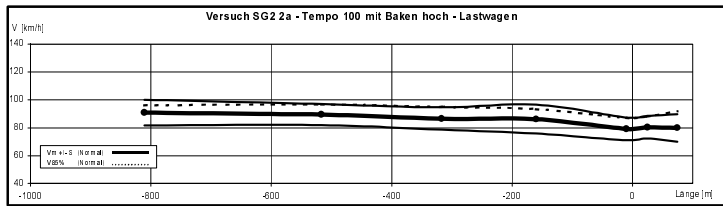
Versuch SG2 1a		Tempo 80 mit Bakem hoch (7.8.2001 / 08.45-10.45)							LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#LW
Normal	V mittel	91.7	90.1	85.9	84.2	77.4	74.9	77.9	n/a	401
	Stdabw.	9.9	6.7	7.9	9.2	7.8	8.2	9.3		
	V 85%	101.0	98.1	93.3	91.7	86.0	82.6	88.0		
Überhol	V mittel								n/a	n/a
	Stdabw.									
	V 85%									



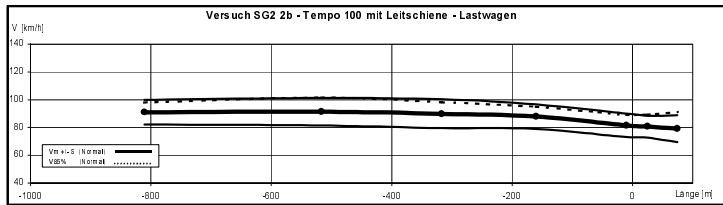
Versuch SG2 1b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001 / 08.45-10.45)							LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#LW
Normal	V mittel	91.1	90.6	85.9	83.8	77.3	77.2	76.4	n/a	436
	Stdabw.	9.4	8.2	8.2	8.6	8.2	7.6	8.8		
	V 85%	99.0	98.1	93.3	91.7	86.0	85.9	85.0		
Überhol	V mittel								n/a	n/a
	Stdabw.									
	V 85%									



Versuch SG2 2a		Tempo 100 mit Bakem hoch (7.8.2001 / 13.30-15.30)							LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#LW
Normal	V mittel	90.8	89.4	86.6	86.2	79.2	80.4	79.9	n/a	408
	Stdabw.	9.2	7.6	8.0	10.3	8.1	8.1	9.8		
	V 85%	96.0	96.5	94.9	93.3	87.0	88.1	92.0		
Überhol	V mittel								n/a	n/a
	Stdabw.									
	V 85%									



Versuch SG2 2b		Tempo 100 mit Leitschiene (14.8.2001 / 13.45-15.45)							LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	%LW	#LW
Normal	V mittel	91.0	91.4	89.9	87.8	81.5	80.6	79.1	n/a	429
	Stdabw.	8.9	9.9	10.5	8.9	8.5	7.9	9.8		
	V 85%	98.0	101.4	98.1	94.9	89.0	89.2	91.0		
Überhol	V mittel								n/a	n/a
	Stdabw.									
	V 85%									

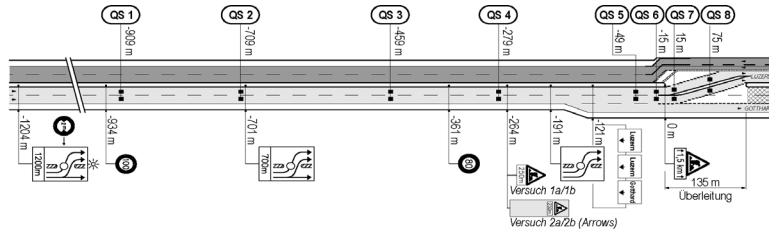


Geschwindigkeitsverhalten

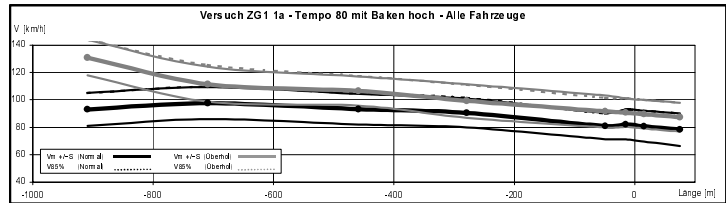
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für alle Fahrzeuge

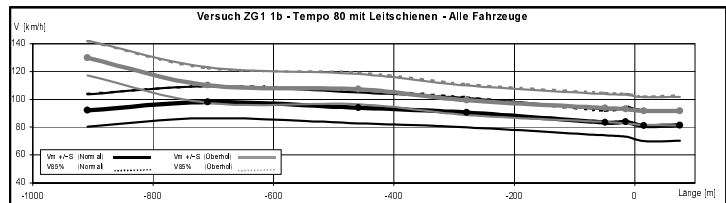
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)



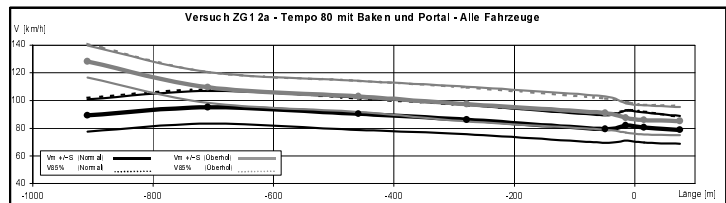
Versuch ZG1 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001 / 10.50-12.50)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	93,1	97,6	93,2	90,4	80,9	82,1	80,8	78,3	16,3	1826
	Std.abw.	12,1	11,8	11,2	10,5	9,6	10,9	11,2	11,8		
	V 85%	105,0	109,4	104,6	101,4	90,1	93,0	92,0	90,0		
Überhol	V mittel	130,9	111,5	106,5	99,2	91,6	90,7	89,5	87,4	11,5	912
	Std.abw.	13,0	12,7	10,7	12,3	11,7	10,3	10,4	10,6		
	V 85%	144,0	125,5	117,5	111,0	101,4	101,0	100,0	98,0		



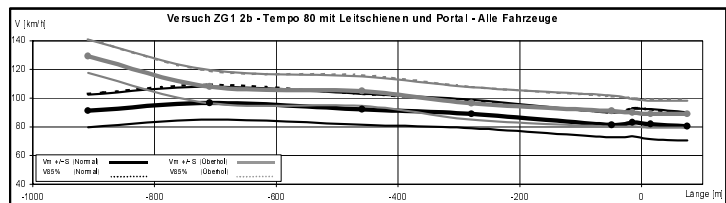
Versuch ZG1 1b		Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001 / 13.00-15.00)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	92,0	97,9	93,9	90,4	83,4	83,8	81,1	81,2	17,2	1801
	Std.abw.	11,5	11,4	11,1	10,5	9,3	10,4	11,1	11,0		
	V 85%	104,0	109,4	106,2	101,4	91,7	94,5	92,0	92,0		
Überhol	V mittel	129,7	110,2	107,3	99,4	93,8	93,0	91,6	91,6	11,7	1064
	Std.abw.	12,4	12,8	10,9	10,6	10,0	10,3	9,9	10,3		
	V 85%	142,0	122,3	119,1	111,0	104,6	104,0	102,1	103,0		



Versuch ZG1 2a		Tempo 80 mit Baken u. Portal (4.9.2001 / 14.20-15.10)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	89,2	95,0	90,4	86,2	79,4	81,9	80,5	78,8	22,9	739
	Std.abw.	11,6	11,8	11,8	10,5	10,0	10,8	10,8	10,1		
	V 85%	102,0	107,8	101,4	96,5	90,1	93,0	92,0	88,0		
Überhol	V mittel	128,2	109,5	103,0	97,4	90,9	87,4	86,0	85,1	10,4	394
	Std.abw.	11,7	11,2	11,2	12,5	12,0	10,5	10,5	10,1		
	V 85%	141,0	120,7	114,2	109,4	101,4	99,0	97,0	96,0		



Versuch ZG1 2b		T80 mit Leitschienen u. Portal (12.9.2001 / 08.30-10.30)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	91,2	96,6	92,2	89,0	81,4	83,0	81,9	80,4	19,7	1687
	Std.abw.	11,3	11,5	10,7	9,9	8,6	9,6	10,5	9,9		
	V 85%	103,0	109,4	103,0	98,1	90,1	93,0	92,0	89,0		
Überhol	V mittel	129,2	108,1	104,9	96,4	91,0	89,9	88,9	88,9	11,9	893
	Std.abw.	11,6	11,6	10,3	11,3	10,9	9,5	9,5	9,5		
	V 85%	141,0	119,1	115,8	107,8	101,4	100,0	99,0	99,0		

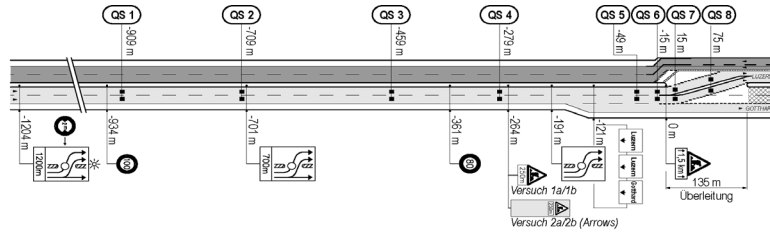


Geschwindigkeitsverhalten

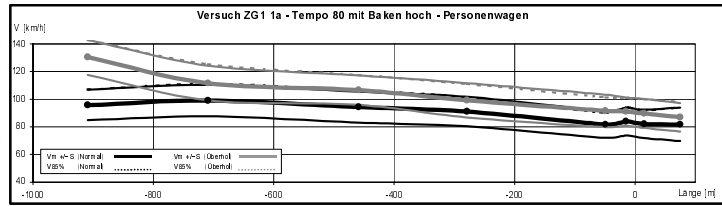
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Personenwagen**

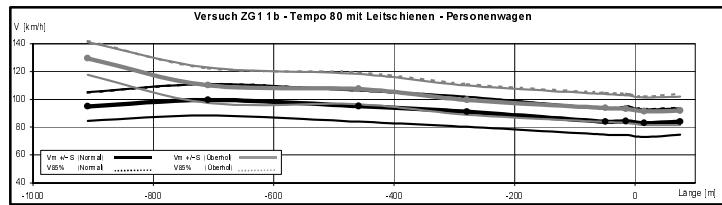
Betriebsform: 4 / 0
 V signalisiert: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)



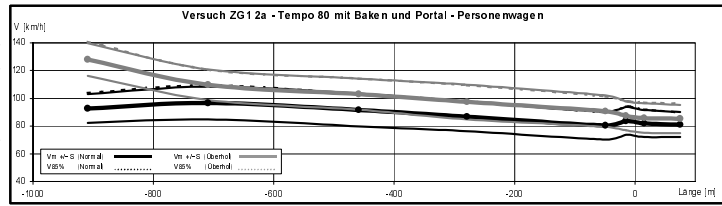
Versuch ZG1 1a										PW	
Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001 / 10.50-12.50)											
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	95,8	99,0	94,3	91,1	81,7	83,8	82,2	81,8	n/a	1528
	Stdabw.	11,0	11,5	11,2	10,7	9,7	10,0	10,3	12,1		
	V 85%	107,0	111,0	106,2	101,4	90,1	94,0	92,0	94,0		
Überhol	V mittel	130,4	111,7	106,6	99,2	91,6	91,0	89,7	86,9	n/a	807
	Stdabw.	12,7	12,5	10,6	12,4	11,7	10,2	10,4	10,4		
	V 85%	143,0	125,5	117,5	111,0	101,4	101,0	100,0	98,0		



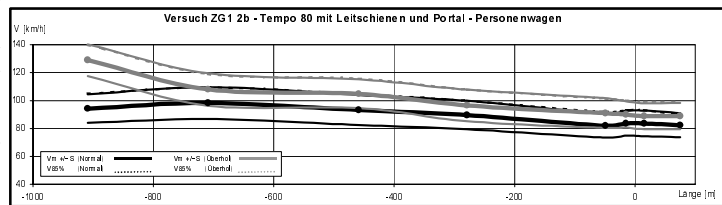
Versuch ZG1 1b										PW	
Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001 / 13.00-15.00)											
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	94,9	99,6	95,1	91,1	84,0	84,4	82,9	84,0	n/a	1491
	Stdabw.	10,3	11,3	11,1	10,8	9,3	9,9	9,9	9,3		
	V 85%	105,0	111,0	106,2	101,4	93,3	95,0	93,0	94,0		
Überhol	V mittel	129,4	110,2	107,4	99,5	93,8	93,1	91,5	91,9	n/a	940
	Stdabw.	11,8	12,7	10,9	10,5	10,0	9,9	9,8	10,2		
	V 85%	142,0	122,3	119,1	111,0	104,6	104,0	102,0	104,0		



Versuch ZG1 2a										PW	
Tempo 80 mit Baken u. Portal (4.9.2001 / 14.20-15.10)											
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	92,7	96,7	91,7	86,9	80,4	83,7	81,9	81,1	n/a	570
	Stdabw.	10,4	11,8	11,8	10,5	10,1	10,1	9,8	9,0		
	V 85%	104,0	109,4	103,0	98,1	90,1	94,0	92,0	90,0		
Überhol	V mittel	128,0	109,8	103,1	97,4	90,7	87,4	85,8	85,2	n/a	353
	Stdabw.	11,8	11,0	11,2	12,5	11,3	10,4	10,6	10,2		
	V 85%	141,0	120,7	114,2	109,4	101,4	98,0	97,0	96,0		



Versuch ZG1 2b										PW	
T80 mit Leitschienen u. Portal (12.9.2001 / 08.30-10.30)											
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	94,3	98,2	93,3	89,6	82,0	83,7	83,7	82,4	n/a	1355
	Stdabw.	10,2	11,5	10,8	10,2	8,5	8,9	9,2	8,6		
	V 85%	105,0	109,4	104,6	99,8	91,7	93,0	93,0	90,0		
Überhol	V mittel	129,0	108,0	104,9	96,5	91,0	90,0	88,8	88,8	n/a	787
	Stdabw.	11,3	11,6	10,3	11,3	10,7	9,4	9,3	9,4		
	V 85%	140,0	119,1	115,8	107,8	101,4	100,0	99,0	99,0		

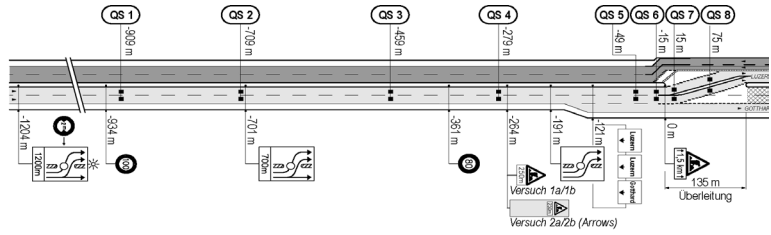


Geschwindigkeitsverhalten

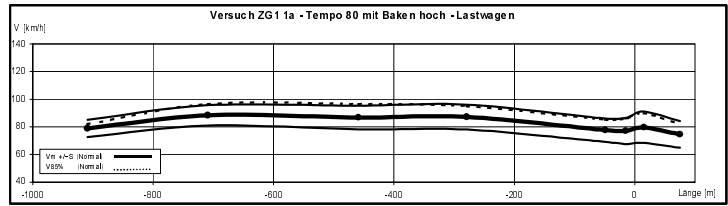
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die Gruppe der **Lastwagen** (L > 6.5m)

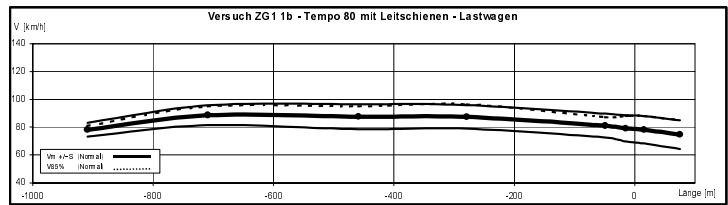
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)



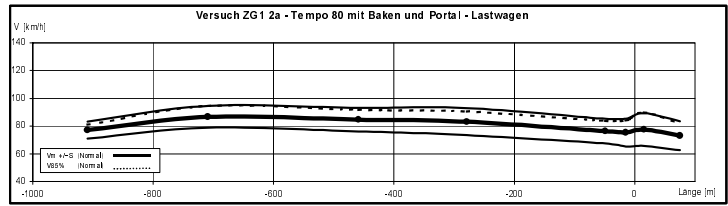
Versuch ZG1 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001 / 10.50-12.50)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	78.8	88.3	86.8	87.1	77.6	77.0	79.7	74.5	n/a	298
	Std.abw.	6.2	7.4	8.6	9.0	8.4	9.5	11.3	9.6		
	V 85%	82.0	96.5	96.5	94.9	85.3	86.0	90.0	82.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



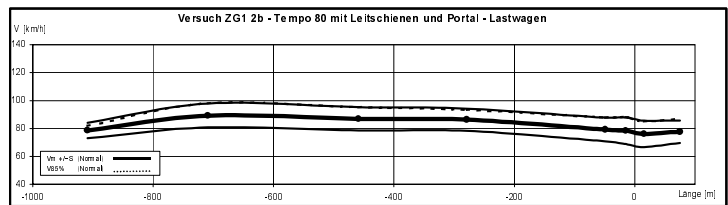
Versuch ZG1 1b		Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001 / 13.00-15.00)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	78.2	88.6	87.5	87.4	81.1	79.1	78.1	74.6	n/a	310
	Std.abw.	4.9	7.1	8.9	8.4	8.6	9.5	9.6	10.3		
	V 85%	81.0	94.9	94.9	96.5	87.3	88.0	88.0	85.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



Versuch ZG1 2a		Tempo 80 mit Baken u. Portal (4.9.2001 / 14.20-15.10)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	77.2	86.7	84.7	83.2	76.4	75.3	77.6	73.1	n/a	169
	Std.abw.	6.2	7.8	8.5	9.8	8.9	9.9	11.8	10.5		
	V 85%	81.0	94.6	91.7	90.4	83.7	84.0	90.0	82.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										



Versuch ZG1 2b		T80 mit Leitschienen u. Portal (12.9.2001 / 08.30-10.30)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	78.6	89.3	87.0	86.3	79.2	78.5	76.2	77.7	n/a	332
	Std.abw.	5.5	8.5	8.4	8.0	8.5	9.6	9.4	8.1		
	V 85%	82.0	98.1	95.1	93.3	87.8	88.0	85.0	87.0		
Überhol	V mittel									n/a	n/a
	Std.abw.										
	V 85%										

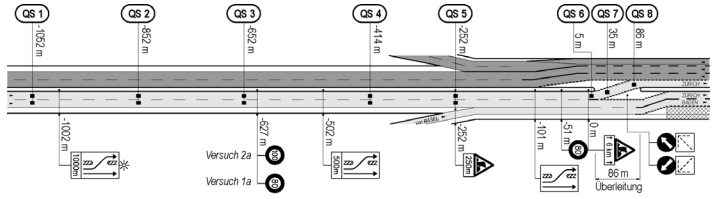


Geschwindigkeitsverhalten

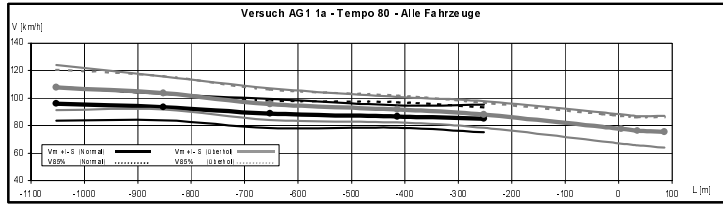
Untersuchungsstrecke AG 1

Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für alle Fahrzeuge / Personwagen / Lastwagen

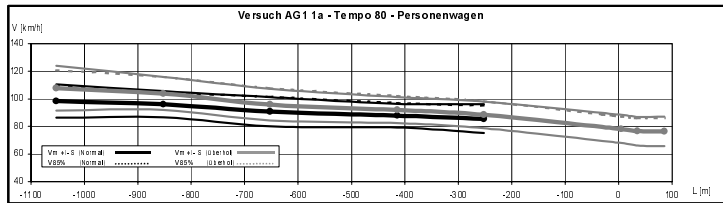
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch / Schranke
 blinkende Abweispeife
 Zusatzelemente: Tempo 100



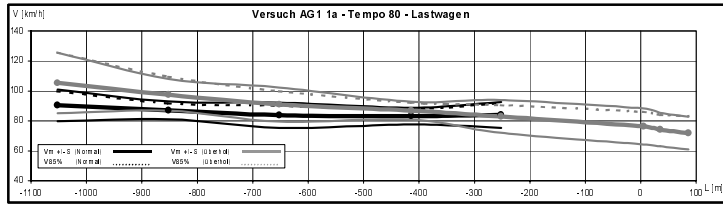
Versuch AG1 1a		Tempo 80 (8.7.2003 / 11.00-12.40)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	96,1	93,5	88,8	86,7	85,2				25,9	1371
	Stdabw.	12,3	9,5	10,5	8,2	10,0					
	V 85%	107,8	103,0	98,2	97,0	93,3					
Überhol	V mittel	107,7	103,7	95,7	91,7	88,1	77,6	76,3	75,5	3,5	1231
	Stdabw.	16,4	12,0	11,5	9,3	9,7	10,7	10,6	11,5		
	V 85%	120,7	115,9	106,2	102,0	96,6	87,0	86,0	86,0		



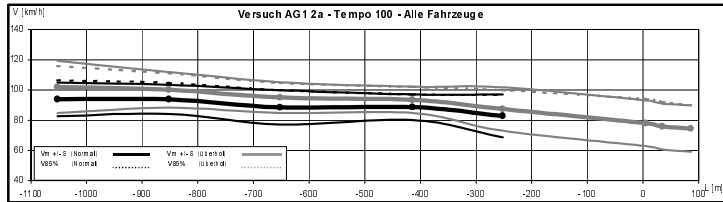
Versuch AG1 1a		Tempo 80 (8.7.2003 / 11.00-12.40)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	98,4	96,1	90,7	87,9	85,6				n/a	1016
	Stdabw.	12,1	9,5	10,6	8,6	10,4					
	V 85%	109,4	104,6	101,4	97,0	95,0					
Überhol	V mittel	107,8	103,9	95,9	91,9	88,4	78,2	76,5	76,4	n/a	1188
	Stdabw.	16,3	12,0	11,5	9,4	9,6	10,2	10,3	10,7		
	V 85%	120,7	115,9	107,8	102,0	98,2	87,0	86,0	86,0		



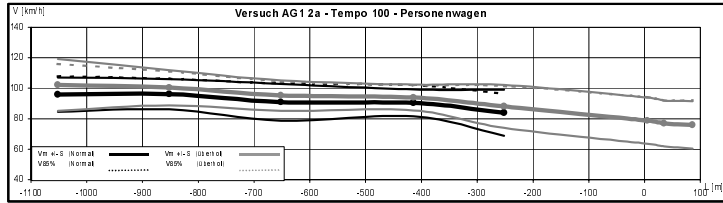
Versuch AG1 1a		Tempo 80 (8.7.2003 / 11.00-12.40)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	90,4	87,0	83,8	83,2	84,0				n/a	355
	Stdabw.	10,7	5,9	8,4	5,6	8,6					
	V 85%	99,6	91,7	90,1	88,0	91,7					
Überhol	V mittel	105,4	97,5	90,9	88,6	82,9	76,3	74,2	71,8	n/a	43
	Stdabw.	20,3	10,6	11,4	5,9	10,9	12,0	11,2	11,0		
	V 85%	125,7	109,4	99,8	92,0	90,5	86,0	84,0	83,0		



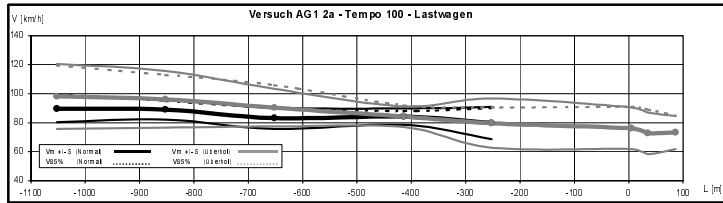
Versuch AG1 2a		Tempo 100 (8.7.2003 / 13.30-14.10)								Alle FZ	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#FZ
Normal	V mittel	93,8	93,8	88,5	88,6	82,8				29,3	569
	Stdabw.	11,1	9,6	11,4	8,5	14,2					
	V 85%	106,2	104,6	99,8	97,0	96,6					
Überhol	V mittel	102,0	100,2	95,0	93,5	87,5	78,0	75,8	74,5	4,8	627
	Stdabw.	17,3	11,8	10,2	8,7	14,4	15,1	15,2	15,4		
	V 85%	115,9	111,0	104,6	102,0	99,8	94,0	92,0	90,0		



Versuch AG1 2a		Tempo 100 (8.7.2003 / 13.30-14.10)								PW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#PW
Normal	V mittel	95,8	96,1	90,8	90,4	83,9				n/a	402
	Stdabw.	11,3	9,9	12,0	8,8	15,0					
	V 85%	107,8	106,2	103,0	102,0	96,6					
Überhol	V mittel	102,2	100,3	95,2	93,9	88,1	78,7	76,9	75,9	n/a	597
	Stdabw.	17,1	11,5	10,0	8,5	14,1	15,1	15,0	15,5		
	V 85%	115,9	111,0	104,6	102,0	101,4	94,0	92,0	92,0		



Versuch AG1 2a		Tempo 100 (8.7.2003 / 13.30-14.10)								LW	
Querschnitt QS		1	2	3	4	5	6	7	8	%LW	#LW
Normal	V mittel	89,6	89,0	83,1	84,2	79,8				n/a	167
	Stdabw.	9,3	6,8	7,3	5,7	11,1					
	V 85%	99,6	95,0	90,1	88,0	90,1					
Überhol	V mittel	98,1	96,2	90,4	84,2	79,7	76,2	72,7	73,3	n/a	30
	Stdabw.	22,4	19,5	13,0	7,1	16,9	14,3	14,3	11,4		
	V 85%	119,5	113,0	105,9	92,0	90,4	91,0	89,0	85,0		

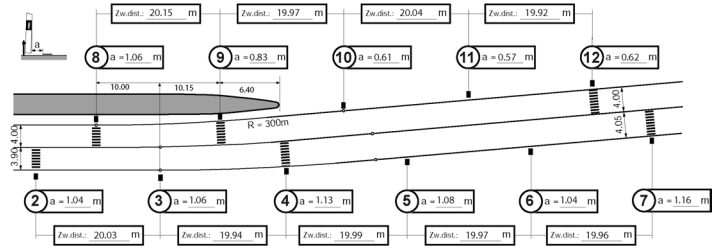


Spurverhalten

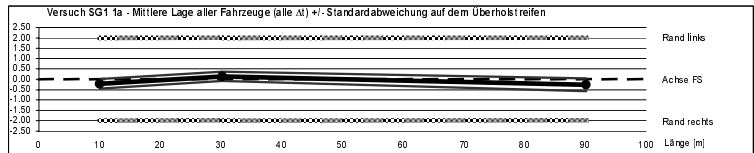
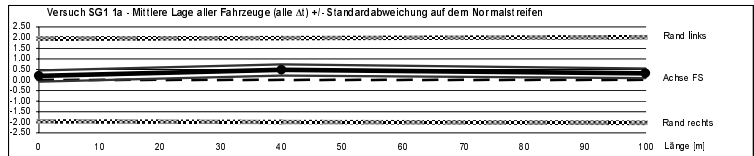
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für alle Fahrzeuge

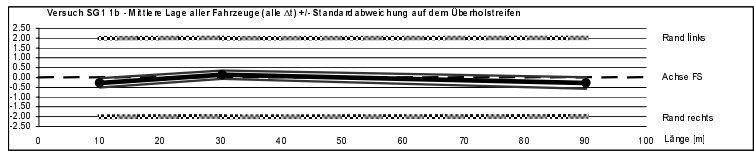
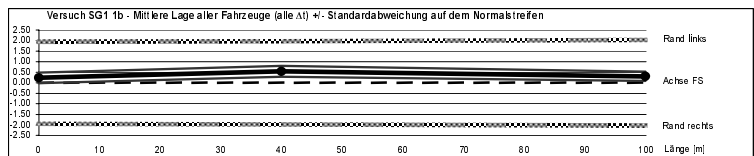
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0) (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



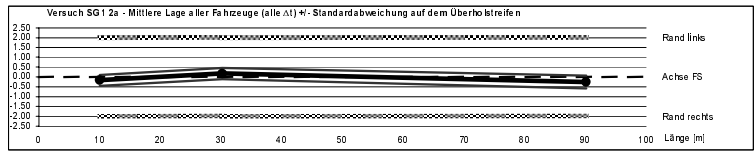
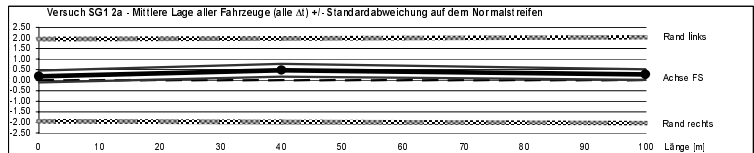
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001/09.00-10.00)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	713	639	379	309	272	158
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.19	0.48	0.32	0.13	0.48	0.32
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	249	197	167	147	115	99
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.22	0.14	-0.27	-0.25	0.14	-0.28
Standardabw. (m)		0.23	0.23	0.31	0.22	0.21	0.26



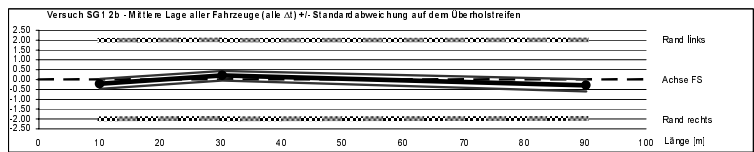
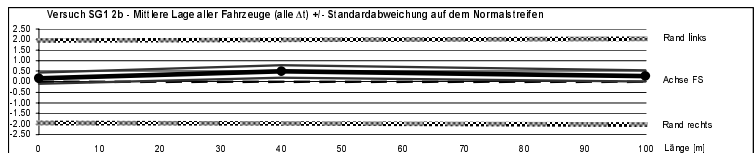
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001/08.30-10.30)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1325	1336	803	547	518	333
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.23	0.55	0.31	0.21	0.56	0.34
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	433	433	290	293	293	191
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.28	0.14	-0.28	-0.31	0.13	-0.28
Standardabw. (m)		0.23	0.22	0.29	0.22	0.22	0.29



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001/13.45-15.45)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1417	1166	476	618	527	219
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.18	0.48	0.27	0.16	0.50	0.32
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	516	516	397	285	285	220
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.17	0.18	-0.25	-0.19	0.19	-0.29
Standardabw. (m)		0.27	0.28	0.33	0.27	0.29	0.35



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001/13.30-15.30)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1424	1096	519	637	486	251
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.16	0.49	0.28	0.16	0.52	0.31
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	363	363	287	230	230	184
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.22	0.20	-0.29	-0.23	0.20	-0.31
Standardabw. (m)		0.25	0.24	0.31	0.24	0.23	0.32

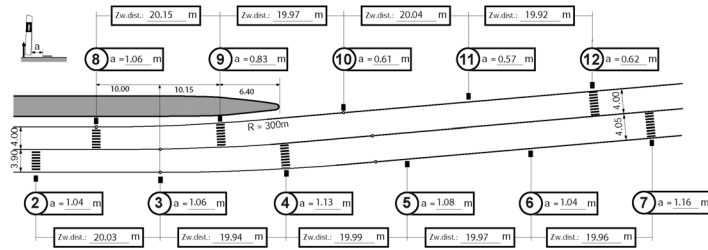


Spurverhalten

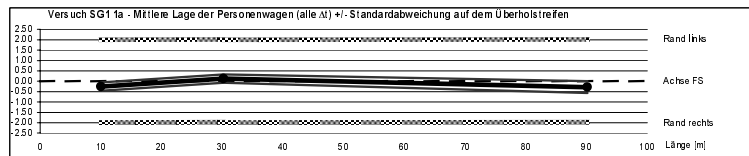
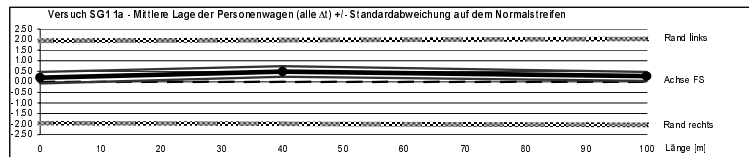
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für die Gruppe der **Personenwagen**

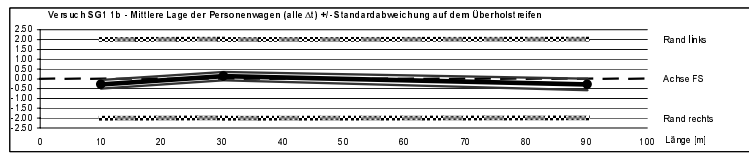
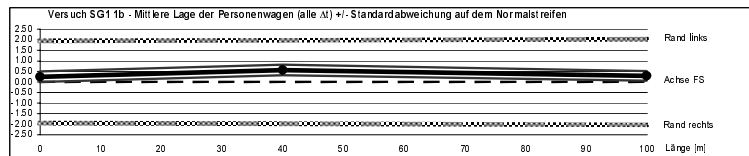
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0) (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



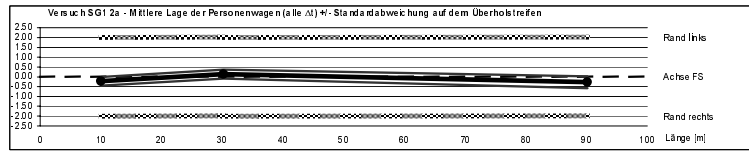
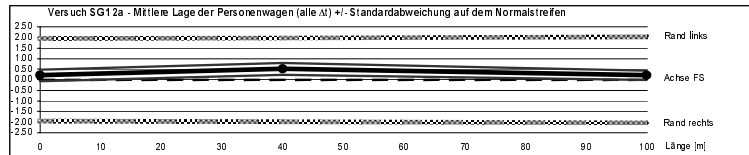
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001/ 09.00-10.00)					
Zeittücke		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	548	479	221	225	198	87
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.20	0.50	0.27	0.11	0.48	0.25
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	231	183	157	140	109	95
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.25	0.13	-0.28	-0.26	0.13	-0.28
Standardabw. (m)		0.20	0.20	0.28	0.19	0.19	0.28



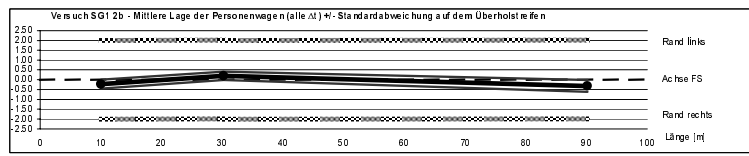
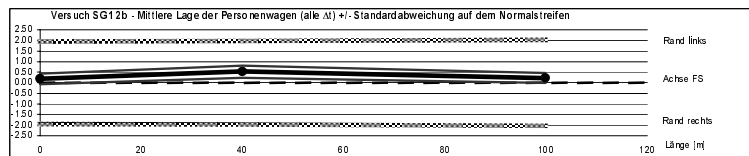
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001/ 08.30-10.30)					
Zeittücke		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1205	1045	616	440	393	247
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.25	0.57	0.30	0.24	0.59	0.33
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	419	419	287	265	285	190
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.28	0.14	-0.28	-0.30	0.13	-0.28
Standardabw. (m)		0.22	0.22	0.29	0.22	0.22	0.29



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001/ 13.45-15.45)					
Zeittücke		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1014	781	221	416	326	90
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.21	0.52	0.22	0.19	0.55	0.25
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	467	467	368	256	256	200
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.22	0.14	-0.27	-0.24	0.13	-0.31
Standardabw. (m)		0.22	0.23	0.30	0.21	0.23	0.31



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001/ 13.30-15.30)					
Zeittücke		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1054	778	264	457	328	118
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.19	0.53	0.23	0.18	0.55	0.25
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	12	8	9	12
	Anzahl Fahrzeuge	341	341	270	221	221	175
	Breite Fahrstr. (m)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
	Mittlere Lage (m)	-0.22	0.20	-0.31	-0.25	0.19	-0.33
Standardabw. (m)		0.23	0.22	0.30	0.22	0.21	0.31

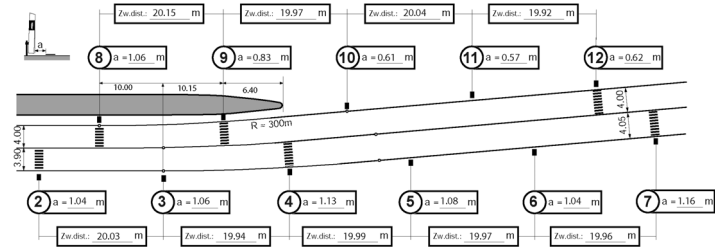


Spurverhalten

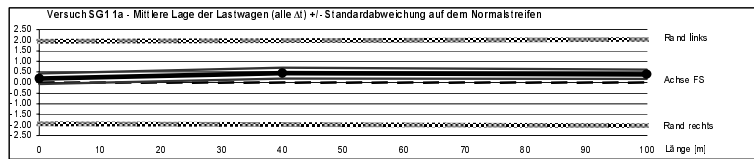
Untersuchungsstrecke SG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für die Gruppe der **Lastwagen** ($L > 6.5\text{ m}$)

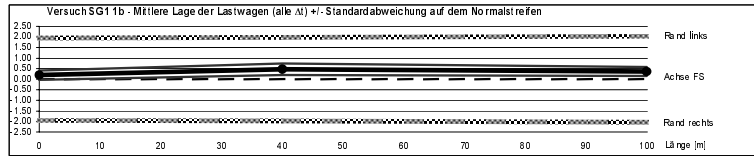
Betriebsform: 4 / 0
 $V_{\text{signalisiert}}$: 80
 Leitelemente: Baken hoch, vor Schranke
 Zusatzelemente: mit Radar / Tempo 100
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0) (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



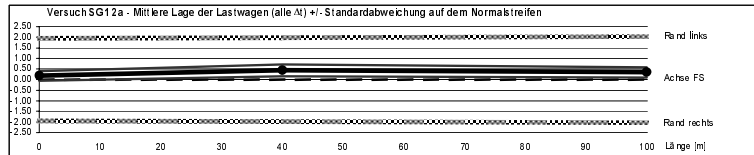
Versuch SG1 1a		Tempo 80 ohne Radar (17.7.2001/ 09.00-10.00)					
Lastwagen		Alle Δt			$\Delta t > 4\text{ Sek.}$		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	162	153	148	77	72	67
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.19	0.45	0.40	0.17	0.46	0.41
	Standardabw. (m)	0.25	0.26	0.22	0.26	0.27	0.21



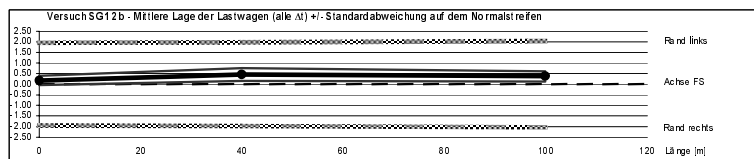
Versuch SG1 1b		Tempo 80 mit Radar (24.7.2001/ 08.30-10.30)					
Lastwagen		Alle Δt			$\Delta t > 4\text{ Sek.}$		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	293	268	179	127	119	79
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.19	0.48	0.37	0.15	0.46	0.39
	Standardabw. (m)	0.22	0.27	0.21	0.20	0.24	0.20



Versuch SG1 2a		Tempo 100 ohne Radar (17.7.2001/ 13.45-15.45)					
Lastwagen		Alle Δt			$\Delta t > 4\text{ Sek.}$		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	300	284	220	163	157	122
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.18	0.45	0.35	0.18	0.48	0.38
	Standardabw. (m)	0.23	0.28	0.24	0.23	0.30	0.24



Versuch SG1 2b		Tempo 100 mit Radar (24.7.2001/ 13.30-15.30)					
Lastwagen		Alle Δt			$\Delta t > 4\text{ Sek.}$		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	281	262	227	153	141	119
	Breite Fahrstr. (m)	3.90	3.95	4.05	3.90	3.95	4.05
	Mittlere Lage (m)	0.17	0.47	0.38	0.17	0.51	0.40
	Standardabw. (m)	0.22	0.30	0.24	0.23	0.30	0.23

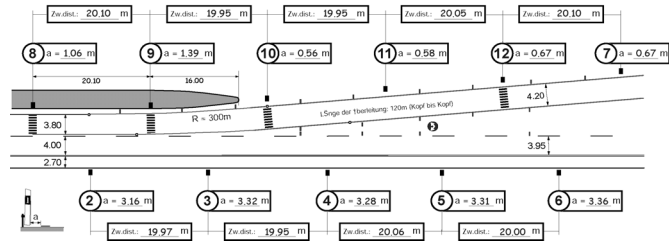


Spurverhalten

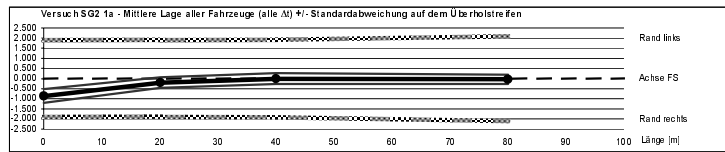
Untersuchungsstrecke SG2

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für alle Fahrzeuge

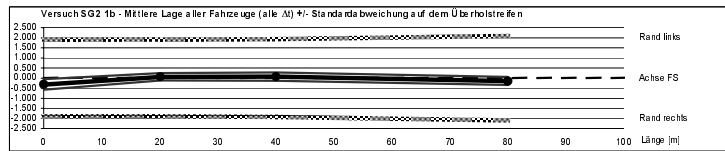
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch / blinkende Abweispfeile
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / Tempo 100 / Nachtmessung
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0)
 (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



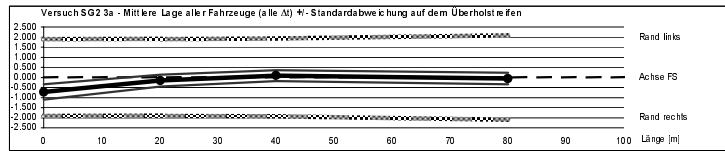
Versuch SG2 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001/08.45-10.45)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	639	494	479	463	398	312	308	299
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.86	-0.20	-0.01	-0.04	-0.88	-0.21	-0.02	-0.05
	Standardabw. (m)	0.34	0.26	0.27	0.23	0.32	0.25	0.26	0.22



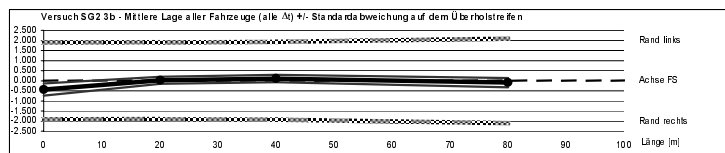
Versuch SG2 1b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001/08.45-10.45)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	814	614	592	421	330	319	294	
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.32	0.06	0.07	-0.15	-0.32	0.07	0.07	-0.17
	Standardabw. (m)	0.27	0.19	0.21	0.20	0.24	0.18	0.20	0.18



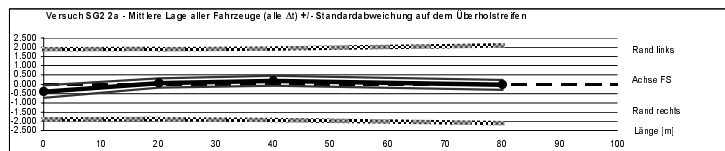
Versuch SG2 3a		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001/21.50-23.50)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	147	143	142	136	131	127	126	121
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.72	-0.15	0.10	-0.05	-0.72	-0.15	0.10	-0.05
	Standardabw. (m)	0.38	0.29	0.27	0.29	0.39	0.29	0.27	0.30



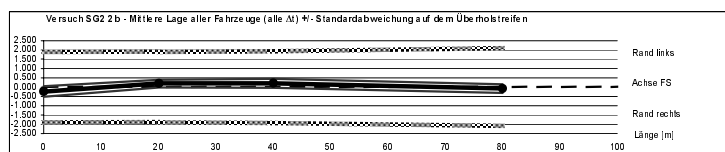
Versuch SG2 3b		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001/21.50-23.50)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	184	134	125	107	158	116	111	94
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.43	0.03	0.12	-0.09	-0.43	0.03	0.11	-0.09
	Standardabw. (m)	0.30	0.18	0.19	0.23	0.31	0.18	0.19	0.23



Versuch SG2 2a		Tempo 100 mit Baken hoch (7.8.2001/13.30-15.30)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	640	640	586	555	375	375	341	324
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.40	0.07	0.19	-0.03	-0.41	0.07	0.20	-0.03
	Standardabw. (m)	0.33	0.26	0.27	0.26	0.33	0.25	0.25	0.25



Versuch SG2 2b		Tempo 100 mit Leitschiene (14.8.2001/13.45-15.45)							
Alle Fahrzeuge		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R	Ende R	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	741	643	635	625	412	362	357	352
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.24	0.19	0.21	-0.08	-0.24	0.19	0.22	-0.08
	Standardabw. (m)	0.29	0.20	0.23	0.23	0.28	0.20	0.22	0.22

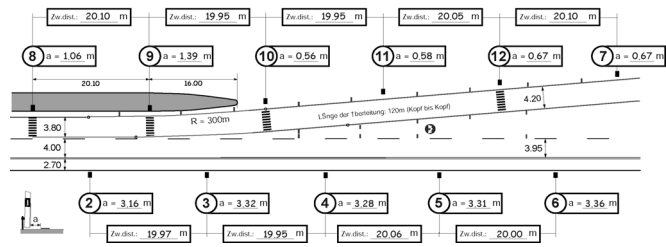


Spurverhalten

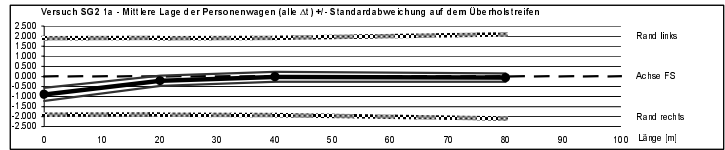
Untersuchungsstrecke SG2

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für die Gruppe der **Personenwagen**

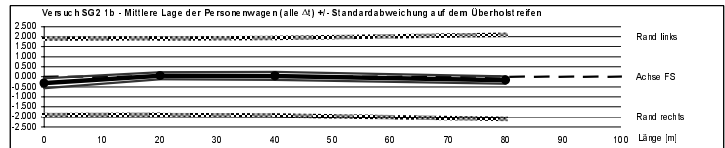
Betriebsform: 3 / 1
 V_{signaliert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch / blinkende Abweispfeile
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / Tempo 100 / Nachtmessung
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0)
 (+) nach links / (-) nach rechts
 in Fahrtrichtung



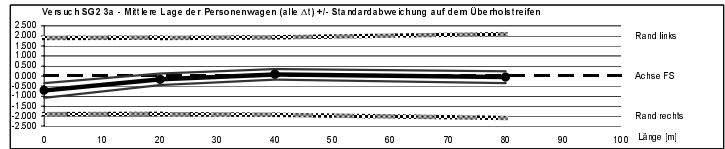
Versuch SG2 1a Personenwagen		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001/08.45-10.45)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	595	464	451	437	376	298	295	287
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.89	-0.22	-0.03	-0.06	-0.90	-0.22	-0.04	-0.07
	Standardabw. (m)	0.33	0.25	0.25	0.21	0.31	0.25	0.25	0.21



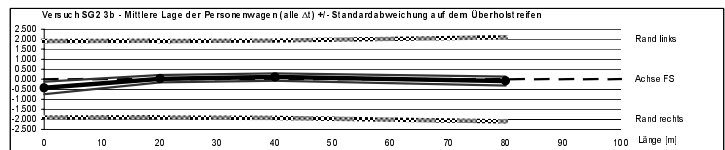
Versuch SG2 1b Personenwagen		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001/08.45-10.45)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	754	576	556	509	392	315	305	280
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.32	0.05	0.05	-0.17	-0.33	0.06	0.06	-0.18
	Standardabw. (m)	0.25	0.18	0.20	0.18	0.23	0.16	0.19	0.17



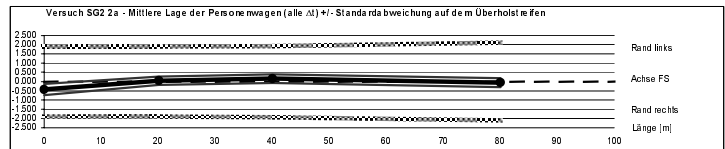
Versuch SG2 3a Personenwagen		Tempo 80 mit Baken hoch (7.8.2001/21.50-23.50)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	142	138	137	131	127	123	122	117
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.72	-0.16	0.09	-0.06	-0.72	-0.16	0.09	-0.06
	Standardabw. (m)	0.37	0.28	0.28	0.29	0.38	0.28	0.27	0.30



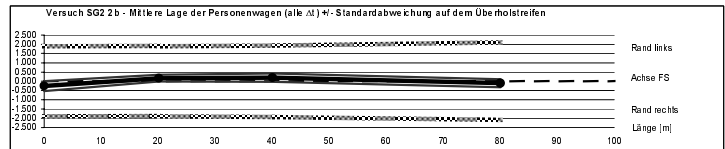
Versuch SG2 3b Personenwagen		Tempo 80 mit Leitschiene (14.8.2001/21.50-23.50)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	181	131	122	104	155	113	108	91
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.43	0.03	0.12	-0.09	-0.44	0.03	0.11	-0.09
	Standardabw. (m)	0.30	0.18	0.18	0.23	0.31	0.18	0.19	0.23



Versuch SG2 2a Personenwagen		Tempo 100 mit Baken hoch (7.8.2001/13.30-15.30)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	571	571	522	497	336	336	305	291
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.43	0.05	0.16	-0.05	-0.44	0.05	0.17	-0.06
	Standardabw. (m)	0.30	0.23	0.24	0.24	0.30	0.23	0.24	0.23



Versuch SG2 2b Personenwagen		Tempo 100 mit Leitschiene (14.8.2001/13.45-15.45)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt	Zufahrt	Anf. R.	Ende R.	Ausfahrt
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	9	10	12	8	9	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	674	584	579	570	365	318	316	311
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.85	4.20	3.80	3.80	3.85	4.20
	Mittlere Lage (m)	-0.28	0.17	0.20	-0.10	-0.25	0.18	0.20	-0.11
	Standardabw. (m)	0.28	0.18	0.22	0.21	0.25	0.18	0.20	0.19

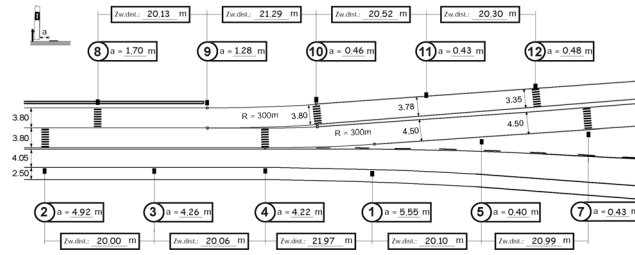


Spurverhalten

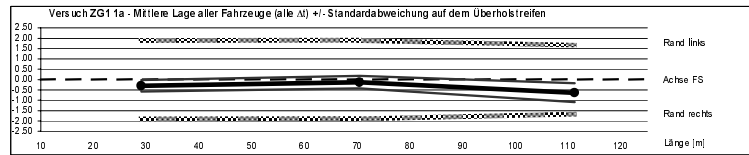
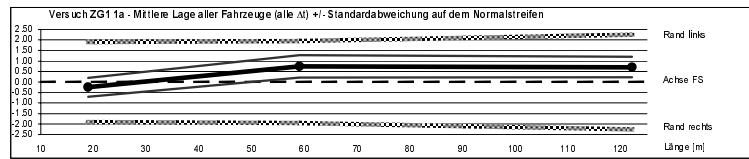
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für alle Fahrzeuge

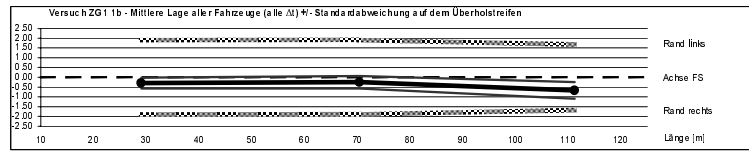
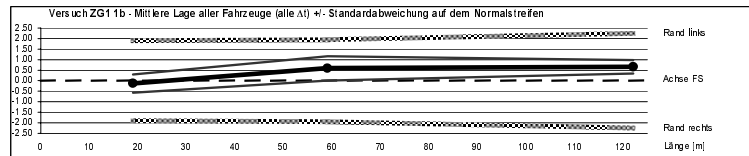
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signaliert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0)
 (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



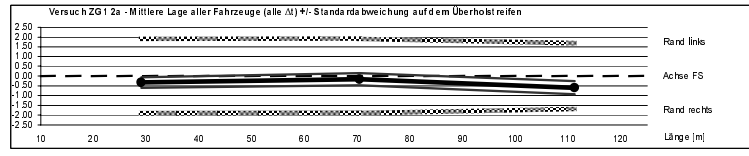
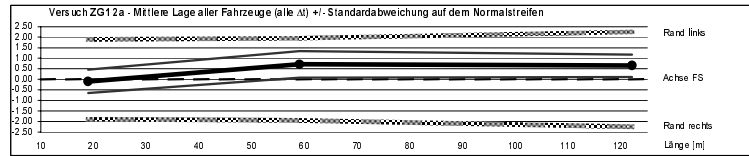
Versuch ZG1 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001/10.50-12.50)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	811	624	863	454	343	449
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.25	0.74	0.71	-0.23	0.78	0.70
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	583	382	289	326	203	154
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.29	-0.12	-0.63	-0.34	-0.14	-0.69
Standardabw. (m)		0.28	0.30	0.46	0.28	0.31	0.50



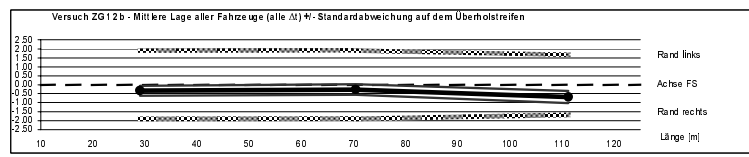
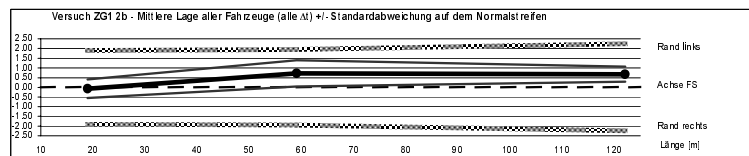
Versuch ZG1 1b		Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001/13.00-15.00)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1055	809	71	557	438	52
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.13	0.59	0.66	-0.09	0.53	0.68
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	748	647	491	393	345	267
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.30	-0.25	-0.68	-0.34	-0.25	-0.69
Standardabw. (m)		0.28	0.31	0.43	0.28	0.25	0.41



Versuch ZG1 2a		T80 mit Baken u. Portal (4.9.2001/14.20-15.10)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	521	469	69	230	209	48
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.10	0.71	0.65	-0.08	0.68	0.68
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	311	258	191	179	152	109
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.33	-0.16	-0.60	-0.37	-0.17	-0.63
Standardabw. (m)		0.27	0.31	0.34	0.25	0.30	0.37



Versuch ZG1 2b		T80 m. Leitschiene u. Portal (12.9.2001/08.30-10.30)					
Alle Fahrzeuge		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	1177	1038	858	546	494	540
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.07	0.72	0.68	-0.03	0.77	0.68
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	635	577	417	346	322	230
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.33	-0.27	-0.69	-0.38	-0.30	-0.72
Standardabw. (m)		0.28	0.29	0.34	0.26	0.29	0.36

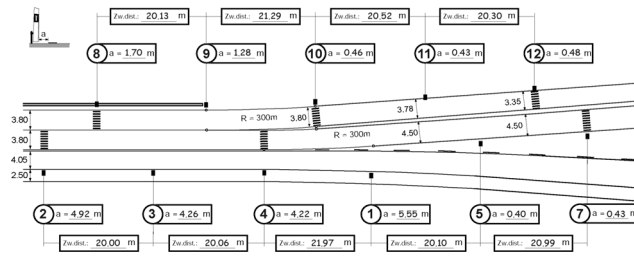


Spurverhalten

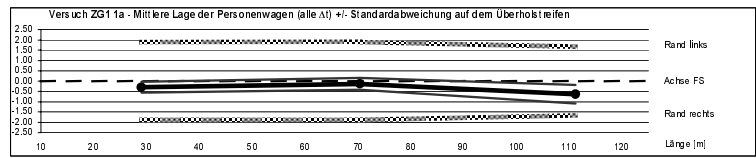
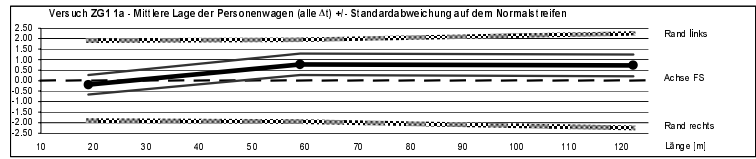
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für die Gruppe der **Personenwagen**

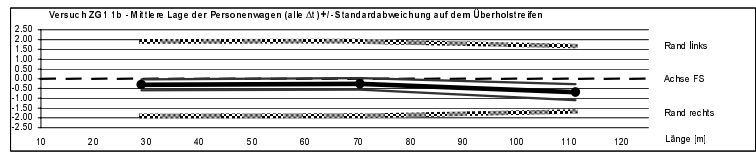
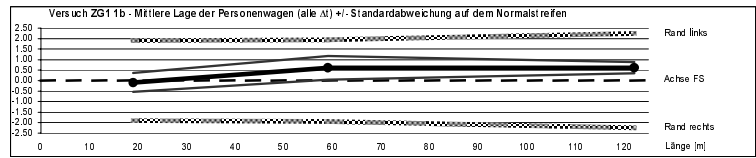
Betriebsform: 4 / 0
 V_{signalisiert}: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0) (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



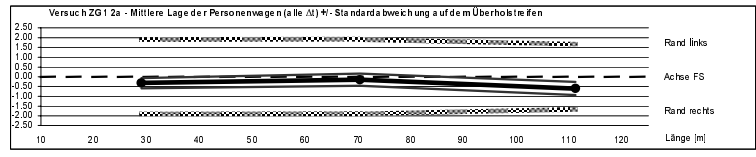
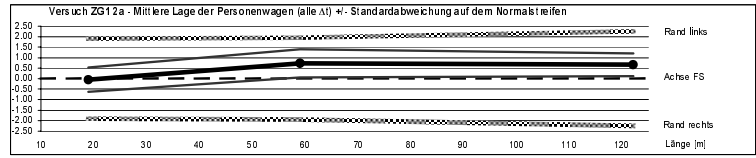
Versuch ZG1 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001/10.50-12.50)					
Personenwagen		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	568	423	701	311	224	360
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.20	0.77	0.73	-0.20	0.79	0.70
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	557	346	260	318	198	151
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.30	-0.13	-0.65	-0.34	-0.15	-0.69
Standardabw. (m)		0.26	0.28	0.45	0.24	0.29	0.50



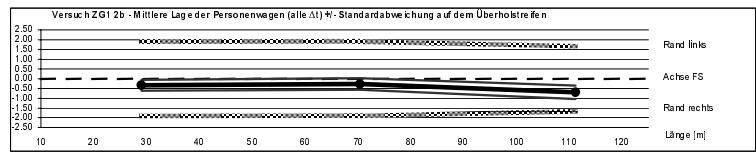
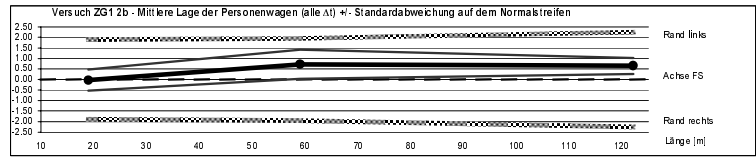
Versuch ZG1 1b		Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001/13.00-15.00)					
Personenwagen		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	829	601	56	428	320	39
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.09	0.61	0.61	-0.03	0.65	0.63
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	719	823	480	376	331	260
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.31	-0.26	-0.69	-0.35	-0.26	-0.70
Standardabw. (m)		0.27	0.29	0.41	0.25	0.23	0.40



Versuch ZG1 2a		T80 mit Baken u. Portal (4.9.2001/14.20-15.10)					
Personenwagen		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	398	354	61	171	155	43
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.05	0.73	0.66	-0.05	0.95	0.70
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	302	253	187	177	152	109
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.32	-0.15	-0.60	-0.36	-0.17	-0.63
Standardabw. (m)		0.26	0.31	0.34	0.25	0.30	0.37



Versuch ZG1 2b		T80 m. Leitschiene u. Portal (12.9.2001/08.30-10.30)					
Personenwagen		Alle Δt			Δt > 4 Sek.		
Zeittücke							
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	919	792	610	422	372	402
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.03	0.73	0.65	0.02	0.78	0.66
Überholstreifen	Pfosten Nr.	8	10	12	8	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	617	562	410	334	310	224
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.80	3.35	3.80	3.80	3.35
	Mittlere Lage (m)	-0.33	-0.27	-0.69	-0.38	-0.30	-0.72
Standardabw. (m)		0.28	0.29	0.34	0.26	0.28	0.35

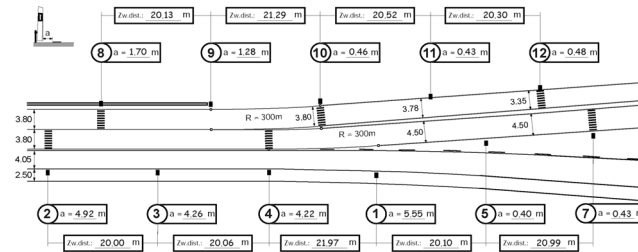


Spurverhalten

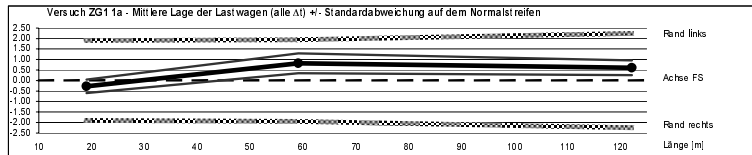
Untersuchungsstrecke ZG1

Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten für die Gruppe der **Lastwagen** ($L > 6.5$ m)

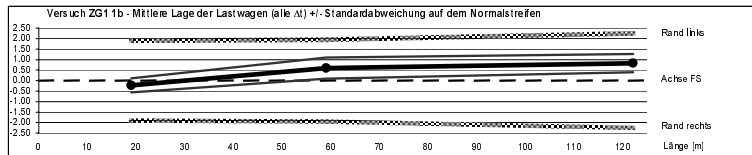
Betriebsform: 4 / 0
 $V_{\text{signalisiert}}$: 80
 Leitelemente: Baken hoch mit Lauflicht
 Zusatzelemente: Leitschiene mit Baken niedrig / mit Portal (beidseitig)
 Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0)
 (+) nach links / (-) nach rechts in Fahrtrichtung



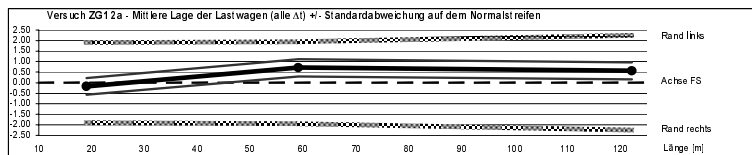
Versuch ZG1 1a		Tempo 80 mit Baken hoch (4.9.2001/ 10.50-12.50)					
Zeittücke		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	136	129	162	79	74	89
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.28	0.62	0.61	-0.25	0.92	0.68
	Standardabw. (m)	0.32	0.47	0.35	0.37	0.49	0.39



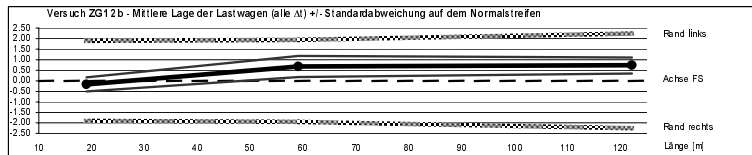
Versuch ZG1 1b		Tempo 80 mit Leitschienen (12.9.2001/ 13.00-15.00)					
Zeittücke		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	185	175	15	104	99	13
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.22	0.60	0.83	-0.20	0.64	0.80
	Standardabw. (m)	0.33	0.50	0.43	0.37	0.53	0.42



Versuch ZG1 2a		T80 mit Baken u. Portal (4.9.2001/ 14.20-15.10)					
Zeittücke		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	104	100	8	49	47	5
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.18	0.71	0.56	-0.13	0.75	0.54
	Standardabw. (m)	0.40	0.41	0.40	0.48	0.44	0.44



Versuch ZG1 2b		T80 m. Leitschiene u. Portal (12.9.2001/ 08.30-10.30)					
Zeittücke		Alle Δt			$\Delta t > 4$ Sek.		
Querschnitt		Zufahrt	Mitte	Ausfahrt	Zufahrt	Mitte	Ausfahrt
Normalstreifen	Pfosten Nr.	2	4	7	2	4	7
	Anzahl Fahrzeuge	223	218	248	112	111	137
	Breite Fahrstr. (m)	3.80	3.90	4.50	3.80	3.90	4.50
	Mittlere Lage (m)	-0.17	0.68	0.74	-0.17	0.74	0.73
	Standardabw. (m)	0.33	0.50	0.38	0.34	0.50	0.42



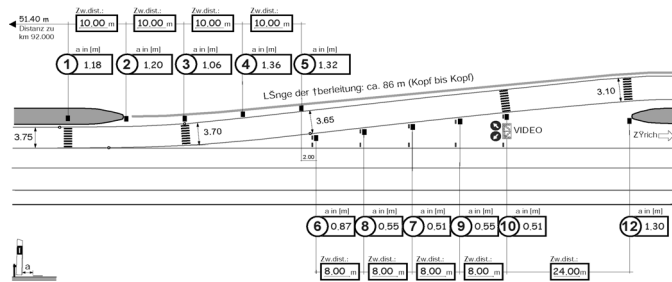
Spurverhalten

Untersuchungsstrecke AG1

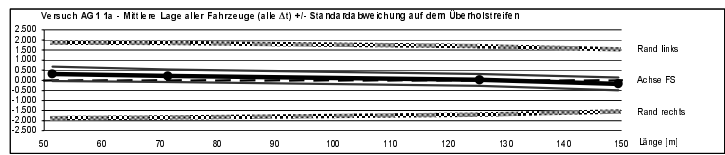
Ergebnisse der Messungen zum Spurverhalten

für alle Fahrzeuge und die Gruppe der Personwagen

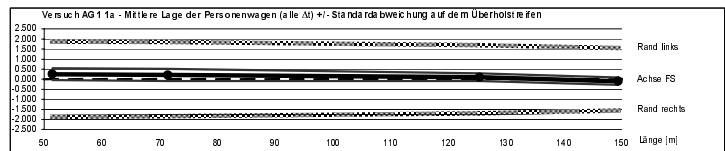
- Betriebsform: 3 / 1
- V_{signalisiert}: 80
- Leitelemente: Baken hoch / Schranke / blinkende Abweisfeile
- Zusatzelemente: Tempo 100
- Mittlere Lage: bzgl. Fahrstreifen-Achse (= 0)
(+) nach links / (-) nach rechts
in Fahrtrichtung



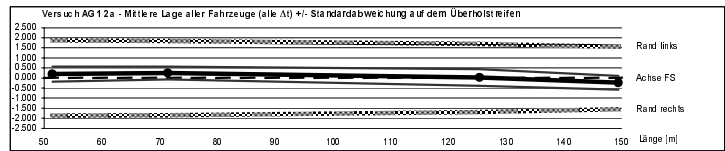
Versuch AG1 1a		Tempo 80							
Alle Fahrzeuge		(8.7.2003 / 11.00-12.40)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2	Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2
Überholstreifen	Pfosten Nr.	1	3	10	12	1	3	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	1018	1329	899	899	254	363	244	244
	Breite Fahrstr. (m)	3.75	3.70	3.40	3.10	3.75	3.70	3.40	3.10
	Mittlere Lage (m)	0.32	0.22	0.02	-0.18	0.28	0.25	0.01	-0.18
Standardabw. (m)		0.35	0.31	0.29	0.31	0.32	0.27	0.29	0.25



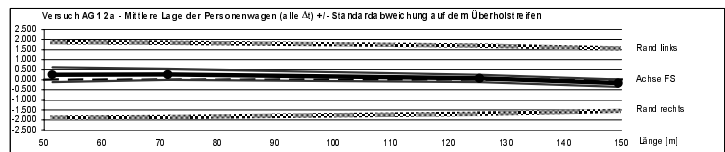
Versuch AG1 1a		Tempo 80							
Personenwagen		(8.7.2003 / 11.00-12.40)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2	Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2
Überholstreifen	Pfosten Nr.	1	3	10	12	1	3	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	715	1172	595	595	214	325	161	161
	Breite Fahrstr. (m)	3.75	3.70	3.40	3.10	3.75	3.70	3.40	3.10
	Mittlere Lage (m)	0.28	0.21	0.10	-0.10	0.28	0.24	0.08	-0.10
Standardabw. (m)		0.29	0.30	0.18	0.18	0.31	0.25	0.19	0.18



Versuch AG1 2a		Tempo 100							
Alle Fahrzeuge		(8.7.2003 / 13.30-14.10)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2	Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2
Überholstreifen	Pfosten Nr.	1	3	10	12	1	3	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	267	267	215	170	n/a	n/a	4	4
	Breite Fahrstr. (m)	3.75	3.70	3.40	3.10	3.75	3.70	3.40	3.10
	Mittlere Lage (m)	0.20	0.25	0.03	-0.24			0.26	-0.32
Standardabw. (m)		0.38	0.32	0.42	0.34			0.24	0.21

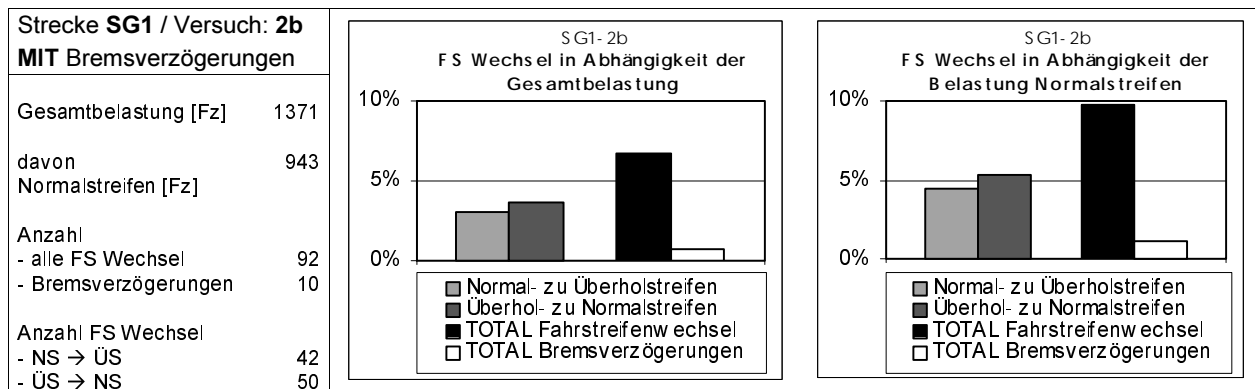
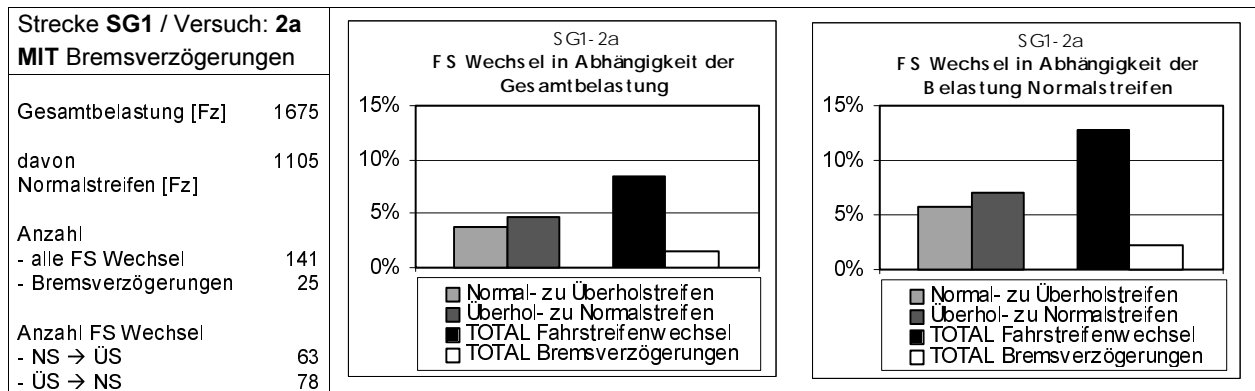
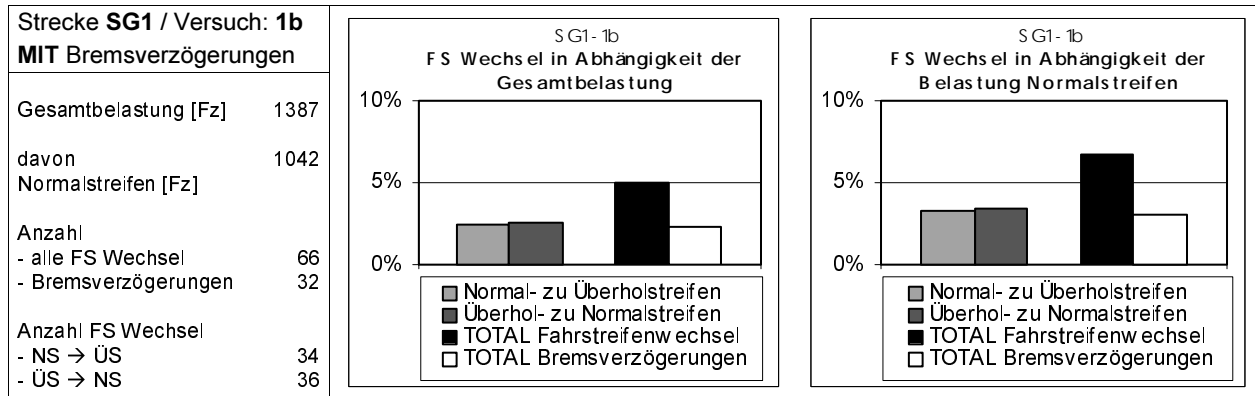
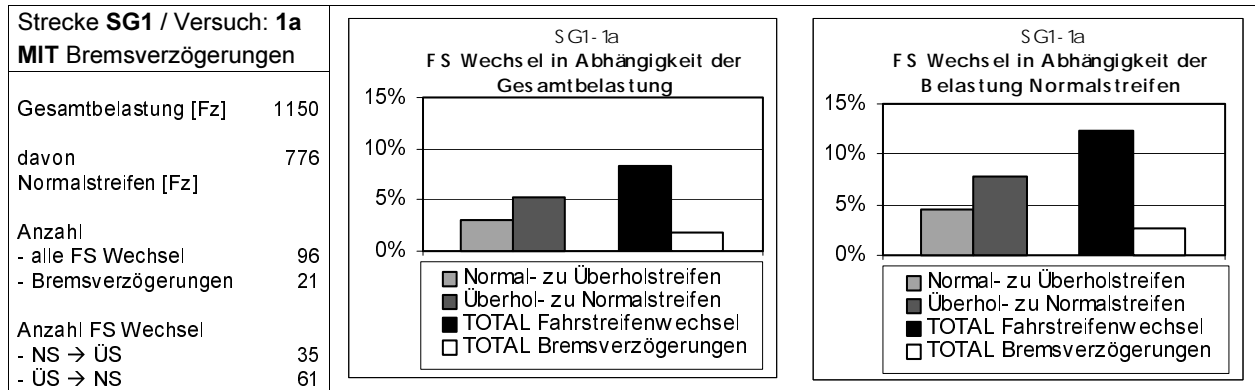


Versuch AG1 2a		Tempo 100							
Personenwagen		(8.7.2003 / 13.30-14.10)							
Zeittücke		Alle Δt				Δt > 4 Sek.			
Querschnitt		Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2	Zufahrt	Mitte R1	Anf. R2	Mitte R2
Überholstreifen	Pfosten Nr.	1	3	10	12	1	3	10	12
	Anzahl Fahrzeuge	181	181	103	103	n/a	n/a	3	3
	Breite Fahrstr. (m)	3.75	3.70	3.40	3.10	3.75	3.70	3.40	3.10
	Mittlere Lage (m)	0.25	0.27	0.07	-0.17			0.25	-0.39
Standardabw. (m)		0.36	0.27	0.18	0.19			0.29	0.20



Fahrstreifenwechsel und Bremsverzögerungen

Untersuchungsstrecke SG1



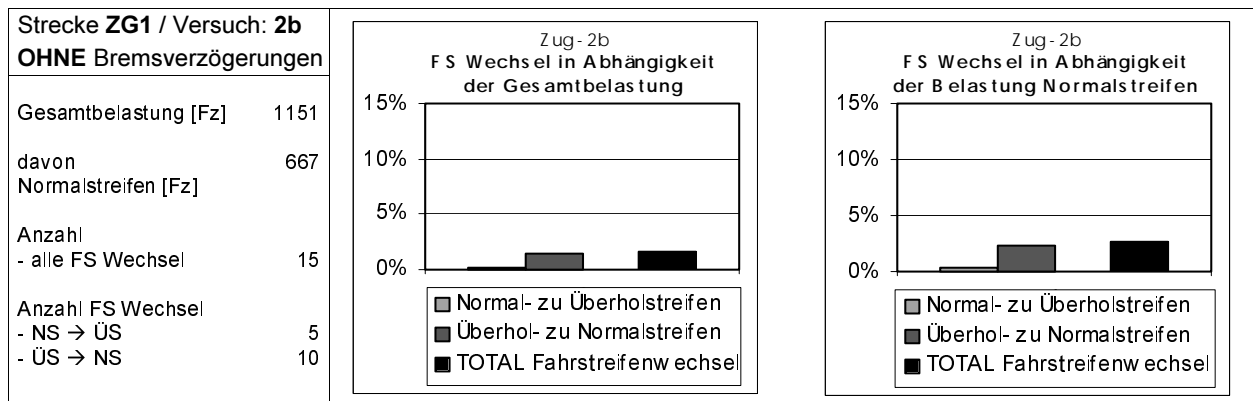
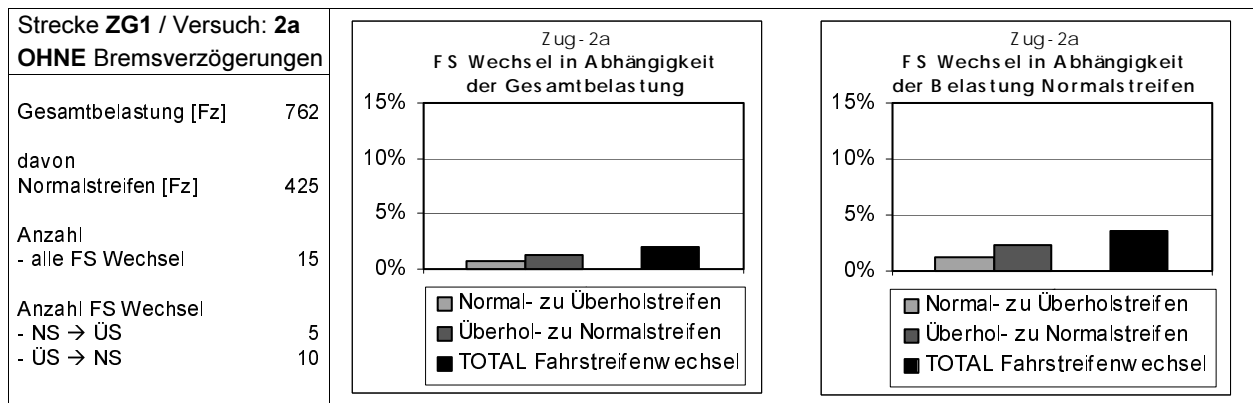
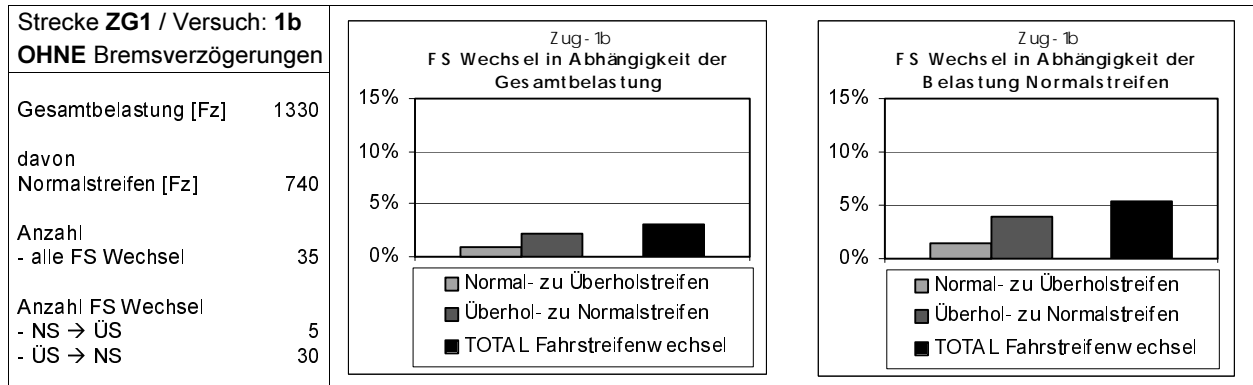
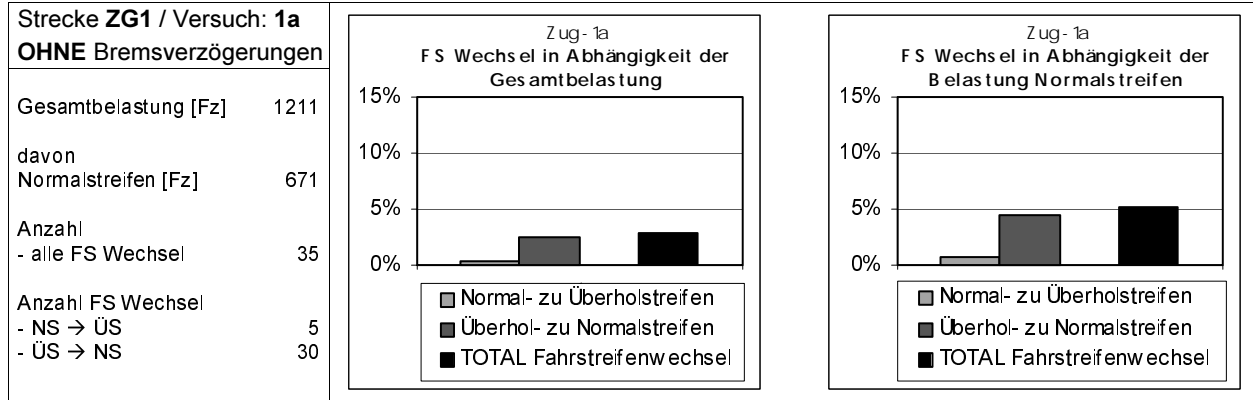
Fahrstreifenwechsel und Bremsverzögerungen

Untersuchungsstrecke SG2

Strecke SG2 / Versuch: 1a MIT Bremsverzögerungen	SG2 - 1a FS Wechsel in Abhängigkeit der Gesamtbelastung	SG2 - 1a FS Wechsel in Abhängigkeit der Belastung Normalstreifen
Gesamtbelastung [Fz] 1601		
davon 1083		
Normalstreifen [Fz]		
Anzahl		
- alle FS Wechsel 143 - Bremsverzögerungen 6		
Anzahl FS Wechsel		
- NS → ÜS 122		
- ÜS → NS 21		
Strecke SG2 / Versuch: 1b MIT Bremsverzögerungen	SG2 - 1b FS Wechsel in Abhängigkeit der Gesamtbelastung	SG2 - 1b FS Wechsel in Abhängigkeit der Belastung Normalstreifen
Gesamtbelastung [Fz] 1803		
davon 1174		
Normalstreifen [Fz]		
Anzahl		
- alle FS Wechsel 118 - Bremsverzögerungen 20		
Anzahl FS Wechsel		
- NS → ÜS 106		
- ÜS → NS 12		
Strecke SG2 / Versuch: 2a MIT Bremsverzögerungen	SG2 - 2a FS Wechsel in Abhängigkeit der Gesamtbelastung	SG2 - 2a FS Wechsel in Abhängigkeit der Belastung Normalstreifen
Gesamtbelastung [Fz] 1756		
davon 1231		
Normalstreifen [Fz]		
Anzahl		
- alle FS Wechsel 152 - Bremsverzögerungen 44		
Anzahl FS Wechsel		
- NS → ÜS 122		
- ÜS → NS 30		
Strecke SG2 / Versuch: 2b MIT Bremsverzögerungen	SG2 - 2b FS Wechsel in Abhängigkeit der Gesamtbelastung	SG2 - 2b FS Wechsel in Abhängigkeit der Belastung Normalstreifen
Gesamtbelastung [Fz] 1635		
davon 1092		
Normalstreifen [Fz]		
Anzahl		
- alle FS Wechsel 120 - Bremsverzögerungen 23		
Anzahl FS Wechsel		
- NS → ÜS 111		
- ÜS → NS 9		

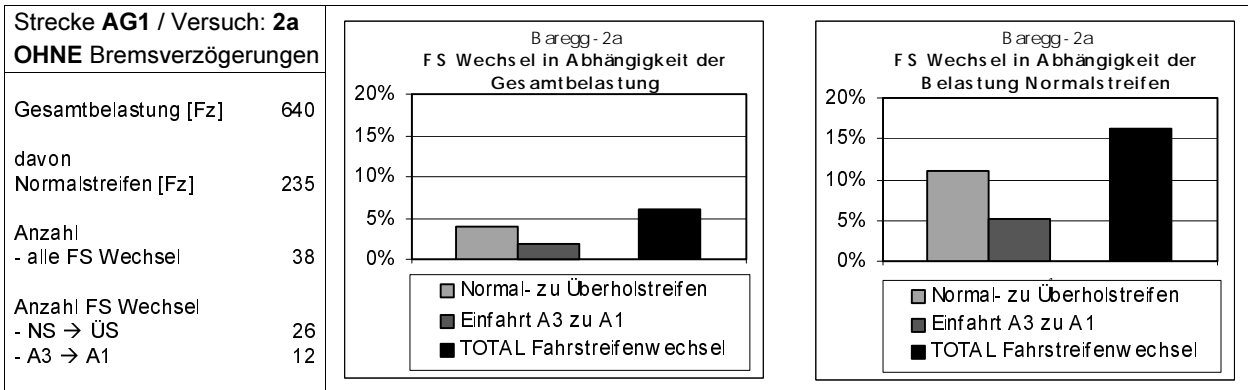
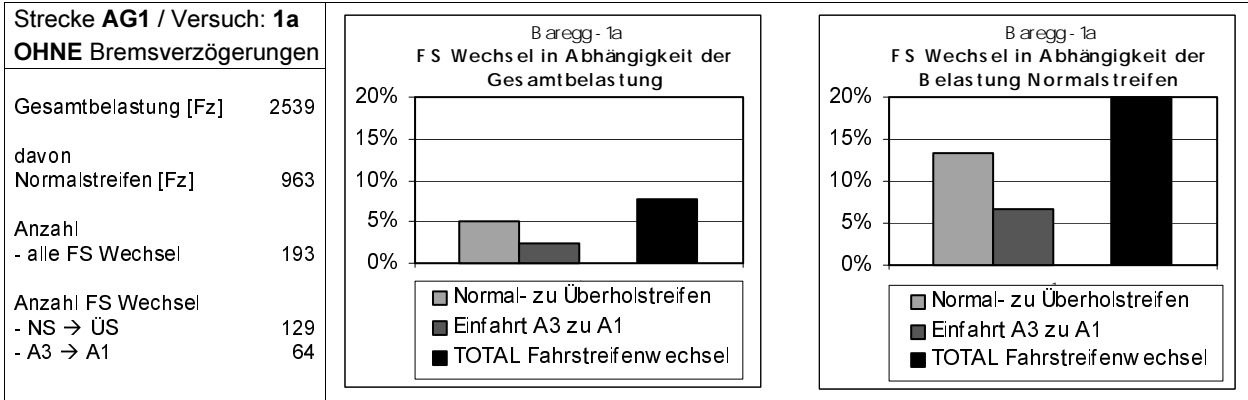
Fahrstreifenwechsel

Untersuchungsstrecke ZG1



Fahrstreifenwechsel

Untersuchungsstrecke AG1



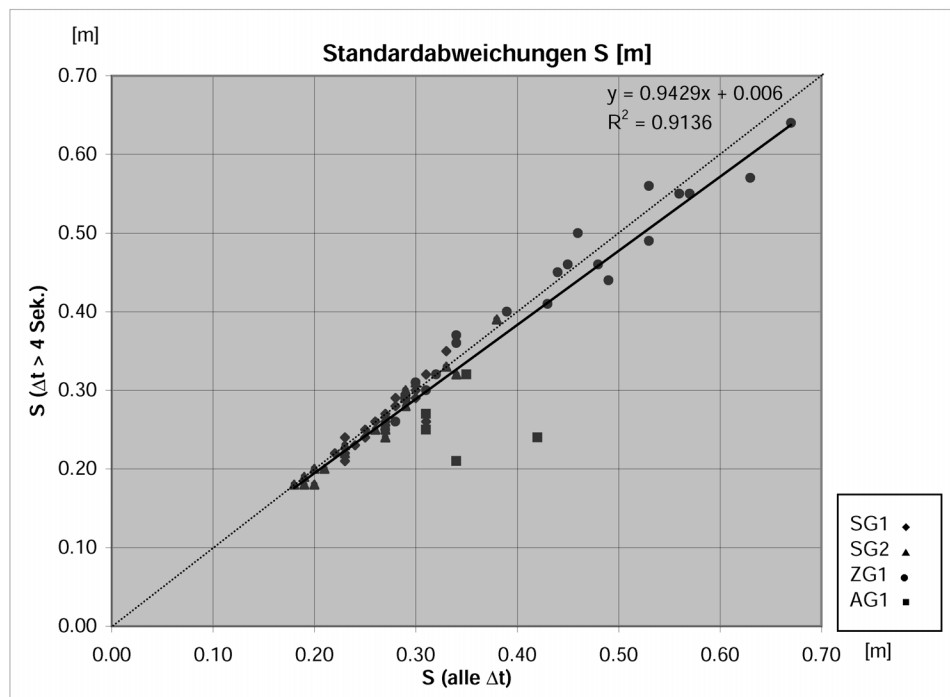
Einfluss des Nachfahreffekts auf das Spurverhalten

Problemstellung

Bei der Beurteilung des Spurverhaltens stellt sich die Frage, ob die Messwerte der Gruppe „alle Fahrzeuge“ (analog zum Geschwindigkeitsverhalten) oder jene der Gruppe „ungehindert fahrende Fahrzeuge“ einbezogen werden sollen. Bei Fahrten in Fahrzeugpulk durch die Überleitung könnten sich infolge des Nachfahreffekts Abweichungen zwischen den zwei genannten Fahrzeuggruppen einstellen.

Überprüfung

Um den allfälligen Einfluss des Nachfahreffekts in Fahrzeugpulk auf die Spurverteilung herauszustellen, wurden die Standardabweichungen S um die mittlere Lage der Fahrzeugachsen an den Messquerschnitten der Überleitung betrachtet. Im folgenden Diagramm sind die Standardabweichungen der Gruppe alle Fahrzeuge (alle Δt) denen der Gruppe ungehindert fahrender Fahrzeuge ($\Delta t > 4$ Sek.) gegenübergestellt. Einbezogen sind die Ergebnisse aller Untersuchungsstrecken. Daraus ist ersichtlich, dass sich die S -Werte mit zwei auffälligen Ausnahmen um die Diagonale ($y = x$), welche eine Übereinstimmung bedeutet, gruppieren.



Anhand einer linearen Regressionsanalyse wurde die Struktur der Abhängigkeit zwischen den Streuungen der zwei Fahrzeuggruppen untersucht. Als Mass für die Güte des Regressionsansatzes ist der Bestimmtheitsmass (R^2) angegeben. Wie aus dem angegebenen, hohen Bestimmtheitsmass ersichtlich, ergab die Analyse eine gute Annäherung der Regressionslinie an die S -Werte. Das Bestimmtheitsmass beträgt bei der Betrachtung aller Untersuchungsstrecken 0.9136 (Korrelationskoeffizient $R = 0.9558$). Auffallend sind die Ergebnisse für die Untersuchungsstrecke AG1, welche stärker abweichen. Die Ursache dieser Abweichung liegt in den staubedingten Behinderungen während eines der Versuche. Darauf wurde in den Abschnitten 5.4.1. und 5.4.4. hingewiesen. Eine Berechnung ohne diese Ausreisser ergab jedoch nur leicht unterschiedliche Ergebnisse, das Bestimmtheitsmass lag hier bei 0.9704 ($R = 0.9851$).

Fazit

Die Untersuchung ergab, dass zwischen den S -Werten der beiden Fahrzeuggruppen nur geringe Unterschiede bestehen. Sie nehmen zwar mit zunehmender Grösse der Standardabweichung geringfügig zu (bei $S = 0.60$ bis 0.70 m maximal ca. 4 cm) und liegen im Bereich der Messgenauigkeit des eingesetzten Detektors. Aufgrund dieser Ergebnisse wird für die weiteren Beurteilungen die Gruppe alle Fahrzeuge (alle Δt) herangezogen. Damit kann auf eine wesentlich grössere Stichprobenmenge abgestellt werden.

Unfallauswertungen

SG 1

Baustelle St. Gallen: A1 bei Anschluss Uzwil / Oberbüren

Betriebsform: 4+0

Zusammenstellung „mit Baustelle“

SG1

DTV (Fz/d*Ri)	22000
Zeit (d)	83

Form	4+0
Jahr	2001
Ort	während Bauphase

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	1.038	0.100	9.905	0.150	0.100	11.293
Anzahl Unfälle			2	1		3
Anzahl Verunfallte			1			1
Unfallrate	0.000	0.000	0.111	3.651	0.000	0.145
Verunfalltenrate	0.00	0.00	5.53	0.00	0.00	4.85

Zusammenstellung „ohne Baustelle“

SG1

DTV (Fz/d*Ri)	22000
Zeit (d)	83

Form	-
Jahr	2003
Ort	ohne Baustelle

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	1.038	0.100	9.905	0.150	0.100	11.293
Anzahl Unfälle	1		5			6
Anzahl Verunfallte	3		1			4
Unfallrate	0.528	0.000	0.276	0.000	0.000	0.291
Verunfalltenrate	158.28	0.00	5.53	0.00	0.00	19.40

Zusammenstellung „Vergleichsstrecke“

SG1

DTV (Fz/d*Ri)	22000
Zeit (d)	83

Form	-
Jahr	2001
Ort	Vergleichsstrecke

	Baustellenabschnitt	
	A	Total
Streckenlänge (km)	9.503	9.503
Anzahl Unfälle		0
Anzahl Verunfallte		0
Unfallrate	0.000	0.000
Verunfalltenrate	0.00	0.00

MIT-/OHNE-Vergleich

MIT- / OHNE-Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	A	Z-Test	
Streckenlänge (km)	11.293	9.503		
Anzahl Unfälle	3	0	2.31	(signifikant)
Anzahl Verunfallte	1	0	2.00	(signifikant)
Unfallrate	0.15	0.00		
Verunfalltenrate	4.85	0.00		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

VORHER-/NACHHER-Vergleich

VORHER- / NACHHER-Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.138	10.055	11.293	1.138	10.055	11.293		
Anzahl Unfälle	0	3	3	1	5	6	1.33	zufällig
Anzahl Verunfallte	0	1	1	3	1	4	1.79	(zufällig)
Unfallrate	0.00	0.16	0.15	0.48	0.27	0.29		
Verunfalltenrate	0.00	5.45	4.85	144.37	5.45	19.40		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

Unfallauswertungen

SG 2

Baustelle St. Gallen: A1 Kantonsgrenze TG / SG

Betriebsform: 3+1

Zusammenstellung „mit Baustelle“

SG2

DTV (Fz/d*Ri)	20000
Zeit (d)	83

Form	3+1
Jahr	2001
Ort	während Bauphase

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	0.910	0.120	2.725	0.150	0.120	4.025
Anzahl Unfälle			1	3		4
Anzahl Verunfallte			0	7		7
Unfallrate	0.000	0.000	0.221	12.048	0.000	0.599
Verunfalltenrate	0.00	0.00	0.00	2811.24	0.00	104.77

Zusammenstellung „ohne Baustelle“

SG2

DTV (Fz/d*Ri)	20000
Zeit (d)	83

Form	-
Jahr	2003
Ort	ohne Baustelle

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	0.910	0.120	2.725	0.150	0.120	4.025
Anzahl Unfälle			2	1		3
Anzahl Verunfallte			0	0		0
Unfallrate	0.000	0.000	0.442	4.016	0.000	0.449
Verunfalltenrate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Zusammenstellung „Vergleichsstrecke“

SG2

DTV (Fz/d*Ri)	20000
Zeit (d)	83

Form	-
Jahr	2001
Ort	Vergleichsstrecke

	Baustellenabschnitt	
	C	Total
Streckenlänge (km)	4.000	4.000
Anzahl Unfälle		0
Anzahl Verunfallte		0
Unfallrate	0.000	0.000
Verunfalltenrate	0.00	0.00

MIT-/OHNE-Vergleich

MIT- / OHNE-Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	C	Z-Test	
Streckenlänge (km)	4.025	4		
Anzahl Unfälle	4	0	2.50	(signifikant)
Anzahl Verunfallte	7	0	3.02	signifikant
Unfallrate	0.60	0.00		
Verunfalltenrate	104.77	0.00		

(Klammerausdruck) = Testbedingungen nicht eingehalten

VORHER-/NACHHER-Vergleich

VORHER- / NACHHER-Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.030	2.875	4.025	1.030	2.875	4.025		
Anzahl Unfälle	0	4	4	0	3	3	0.76	zufällig
Anzahl Verunfallte	0	7	7	0	0	0	3.02	signifikant
Unfallrate	0.00	0.84	0.60	0.00	0.63	0.45		
Verunfalltenrate	0.00	146.67	104.77	0.00	0.00	0.00		

Unfallauswertungen

AG 1

Baustelle Aargau: A1 Baden - Baregg

Betriebsform: 4+2 / 4+1

Zusammenstellung „mit Baustelle“

AG1

DTV (Fz/d*Ri)	49000
Zeit (d)	61

Form	4+2 bzw. 4+1
Jahr	2003
Ort	während Bauphase

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	1.002	0.086	2.014	0.300	0.170	3.572
Anzahl Unfälle	4		8			12
Anzahl Verunfallte	2		5			7
Unfallrate	1.336	0.000	1.329	0.000	0.000	1.124
Verunfalltenrate	66.78	0.00	83.06	0.00	0.00	65.56

Zusammenstellung „ohne Baustelle“

AG1

DTV (Fz/d*Ri)	49000
Zeit (d)	61

Form	-
Jahr	2002
Ort	ohne Baustelle

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	1.002	0.086	2.014	0.300	0.170	3.572
Anzahl Unfälle			15			15
Anzahl Verunfallte			8			8
Unfallrate	0.000	0.000	2.492	0.000	0.000	1.405
Verunfalltenrate	0.00	0.00	132.89	0.00	0.00	74.93

Zusammenstellung „Vergleichsstrecke“

AG1

DTV (Fz/d*Ri)	49000
Zeit (d)	61

Form	-
Jahr	2003
Ort	Vergleichsstrecke

	Baustellenabschnitt	
	A	Total
Streckenlänge (km)	3.600	3.600
Anzahl Unfälle	3	3
Anzahl Verunfallte	0	0
Unfallrate	0.279	0.279
Verunfalltenrate	0.00	0.00

MIT-/OHNE-Vergleich

MIT- / OHNE-Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	A	Z-Test	
Streckenlänge (km)	3.572	3.600		
Anzahl Unfälle	12	3	2.58	signifikant
Anzahl Verunfallte	7	0	3.02	signifikant
Unfallrate	1.12	0.28		
Verunfalltenrate	65.56	0.00		

VORHER-/NACHHER-Vergleich

VORHER- / NACHHER-Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	1.088	2.314	3.572	1.088	2.314	3.572		
Anzahl Unfälle	4	8	12	0	15	15	0.77	zufällig
Anzahl Verunfallte	2	5	7	0	8	8	0.52	zufällig
Unfallrate	1.23	1.16	1.12	0.00	2.17	1.40		
Verunfalltenrate	61.50	72.29	65.56	0.00	115.66	74.93		

Unfallauswertungen

Alle Baustellen

Zusammenfassung alle Baustellen

Zusammenstellung „mit Baustelle“

alle Baustellen	DTV (Fz/d*Ri)	28625	Form	-
	Zeit (d)	276	Jahr	
			Ort	während Bauphase

Zusammenstellung „ohne Baustelle“

alle Baustellen	DTV (Fz/d*Ri)	28625	Form	-
	Zeit (d)	276	Jahr	
			Ort	ohne Baustelle

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	3.974	0.441	16.044	0.600	0.540	21.599
Anzahl Unfälle	4	0	11	4	0	19
Anzahl Verunfallte	2	0	6	7	0	15
Unfallrate	0.127	0.000	0.087	0.844	0.000	0.111
Verunfalltenrate	6.37	0.00	4.73	147.67	0.00	8.79
Unfalldichte	1.33	0.00	0.91	8.82	0.00	1.16
Verunfalltendichte	0.67	0.00	0.49	15.43	0.00	0.92

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	3.974	0.441	16.044	0.600	0.540	21.599
Anzahl Unfälle	1	0	22	1	0	24
Anzahl Verunfallte	3	0	9	0	0	12
Unfallrate	0.032	0.000	0.174	0.211	0.000	0.141
Verunfalltenrate	9.56	0.00	7.10	0.00	0.00	7.03
Unfalldichte	0.33	0.00	1.81	2.20	0.00	1.47
Verunfalltendichte	1.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.73

Zusammenstellung „Vergleichsstrecke“

alle Baustellen	DTV (Fz/d*Ri)	28625	Form	-
	Zeit (d)	276	Jahr	
			Ort	Vergleichsstrecke

	Baustellenabschnitt	
	A/C	Total
Streckenlänge (km)	11.275	11.275
Anzahl Unfälle	3	3
Anzahl Verunfallte	0	0
Unfallrate	0.034	0.034
Verunfalltenrate	0.00	0.00
Unfalldichte	0.35	0.35
Verunfalltendichte	0.00	0.00

MIT-/OHNE-Vergleich

MIT- / OHNE-Vergleich	MIT	OHNE	Veränderung	
	Total	A/C	Z-Test	
Streckenlänge (km)	21.599	11.275		
Anzahl Unfälle	19	3	3.62	signifikant
Anzahl Verunfallte	15	0	4.13	signifikant
Unfallrate	0.11	0.03		
Verunfalltenrate	8.79	0.00		

VORHER-/NACHHER-Vergleich

VORHER- / NACHHER-Vergleich	VORHER			NACHHER			Z-Test	
	B1 + B2	B3	Total	B1 + B2	B3	Total	Total	Total
Streckenlänge (km)	4.415	16.644	21.599	4.415	16.644	21.599		
Anzahl Unfälle	4	15	19	1	23	24	0.91	zufällig
Anzahl Verunfallte	2	13	15	3	9	12	0.77	zufällig
Unfallrate	0.11	0.11	0.11	0.03	0.17	0.14		
Verunfalltenrate	5.73	9.89	8.79	8.60	6.84	7.03		

Übersicht: Betriebsform 4+0

Betriebsform 4+0	DTV (Fz/d*Ri)	22750	Form	4+0
	Zeit (d)	132	Jahr	
			Ort	während Bauphase

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	2.062	0.235	11.305	0.150	0.250	14.002
Anzahl Unfälle	0	0	2	1	0	3
Anzahl Verunfallte	0	0	1	0	0	1
Unfallrate	0.000	0.000	0.059	2.220	0.000	0.071
Verunfalltenrate	0.00	0.00	2.95	0.00	0.00	2.38
Unfalldichte	0.00	0.00	0.49	18.43	0.00	0.59
Verunfalltendichte	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.20

Übersicht: andere Betriebsformen

andere Betriebsformen	DTV (Fz/d*Ri)	34500	Form	andere
	Zeit (d)	144	Jahr	
			Ort	während Bauphase

	Baustellenabschnitt					
	B1	B2	B3i	B3a	B4	Total
Streckenlänge (km)	1.912	0.206	4.739	0.450	0.290	7.597
Anzahl Unfälle	4	0	9	3	0	16
Anzahl Verunfallte	2	0	5	7	0	14
Unfallrate	0.42	0.00	0.38	1.34	0.00	0.42
Verunfalltenrate	21.06	0.00	21.24	313.12	0.00	37.09
Unfalldichte	5.30	0.00	4.81	16.90	0.00	5.34
Verunfalltendichte	2.65	0.00	2.67	39.43	0.00	4.67