



Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung

Speed on upgrades and downgrades; revision

Les vitesses dans les rampes et les pentes; vérification

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Dr. rer. nat. N. Latuske
E. Puffe, Dipl.-Ing. FH
Prof. P. Spacek, dipl. Ing. ETH

**Forschungsauftrag ASTRA 2009/010 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) appointed by the Swiss federal roads authority. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Supply: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung

Speed on upgrades and downgrades; revision

Les vitesses dans les rampes et les pentes; vérification

ETH Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule
Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT)
Dr. rer. nat. N. Latuske
E. Puffe, Dipl.-Ing. FH
Prof. P. Spacek, dipl. Ing. ETH

**Forschungsauftrag ASTRA 2009/010 auf Antrag des
Bundesamtes für Strassen (ASTRA)**

Impressum

Forschungsstellen und Projektteam

Projektleitung

Prof. Peter Spacek

Mitglieder

Dr. Nicolas Latuske

Enrico Puffe

Begleitkommission

Präsident

Andreas Gantenbein

Mitglieder

Jonathan Rudaz

Roger Schibler

KO-Finanzierung des Forschungsauftrags

Antragsteller

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://partnershop.vss.ch> heruntergeladen werden.

INHALTSVERZEICHNIS

IMPRESSUM.....	4
ZUSAMMENFASSUNG.....	3
RÉSUMÉ.....	5
SUMMARY	7
1. EINLEITUNG.....	9
1.1. Ausgangslage.....	9
1.2. Auftrag.....	9
1.3. Forschungsziele.....	10
1.4. Untersuchungsvorgehen.....	10
2. ERHEBUNGEN UND AUSWERTUNGEN	12
2.1. Untersuchungstrecken.....	12
2.2. Ergänzende Messstellen.....	12
2.3. Messeinrichtung.....	13
2.4. Fahrzeugarten.....	13
2.5. Messanordnung und -durchführung	14
2.6. Durchgeführte Auswertungen.....	15
3. ERGEBNISSE DER GESCHWINDIGKEITSMESSUNGEN	17
3.1. Ungehindert fahrende Fahrzeuge	17
3.2. Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$	17
3.2.1. Einleitung.....	17
3.2.2. Vergleich der Ergebnisse von 2009 und 2002.....	17
3.3. Mittlere Geschwindigkeiten und Standardabweichungen.....	19
3.4. Dauergeschwindigkeiten	19
3.5. Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe	20
3.6. Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke	21

4. ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN GESCHWINDIGKEIT UND LÄNGSNEIGUNG	24
4.1. Einleitung	24
4.2. Regressionsberechnungen 2009	24
4.3. Vergleich der Regressionen in Steigungsrichtung 2009 und 2002	25
4.4. Vergleich der Regressionen in Gefällsrichtung 2009 und 2002.....	26
4.5. Vergleich der diskreten Regressionswerte	27
4.6. Statistische Überprüfung	28
4.7. Folgerungen aus Geschwindigkeitserhebungen	30
5. GEWICHTSMESSUNGEN.....	32
5.1. WIM-Messstellen und Gewichtsklassen	32
5.2. Ergebnisse der Gewichtsmessungen.....	33
5.2.1. WIM - Messstelle Gotthardtunnel.....	33
5.2.2. WIM-Messstelle Mattstetten	34
5.2.3. WIM-Messstelle Ceneri	35
5.2.4. Repräsentativität der Messwerte.....	36
5.3. Folgerungen aus Gewichtsmessungen	36
6. WICHTIGSTE ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN.....	39
6.1. Wichtigste Ergebnisse	39
6.1.1. Geschwindigkeitsmessungen	39
6.1.2. Geschwindigkeit und Längsneigung.....	39
6.1.3. Gewichtsmessungen	40
6.2. Folgerungen	41
6.2.1. Auswirkungen auf den Verkehrsablauf.....	41
6.2.2. Auswirkungen auf die Normung.....	42
6.2.3. Fortschreibung der Geschwindigkeitserhebungen	42
7. VERZEICHNISSE UND QUELLEN.....	43
7.1. Quellenverzeichnis	43
7.2. Abbildungsverzeichnis.....	44
7.3. Tabellenverzeichnis.....	45
ANHÄNGE.....	47
ABKÜRZUNGEN	73
PROJEKTABSCHLUSS.....	74
VERZEICHNIS DER BERICHTE DER FORSCHUNG IM STRASSENWESEN	77

Zusammenfassung

Ausgangslage

Die Geschwindigkeiten auf Strassen umschreiben das Fahrverhalten und sind deshalb eine wichtige Projektierungs- bzw. Entwurfsgrösse. Die Geschwindigkeitsmodelle in den bestehenden VSS-Normen basieren einerseits auf physikalischen Berechnungen, andererseits dienen die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten, die als Vergleichsgrössen für dieses Modell dienen. Die Fahrgeschwindigkeiten werden vor allem durch die Strassengeometrie und durch die Tempolimiten beeinflusst. Die Geschwindigkeiten von Lastwagen beeinflussen zudem das Überholverhalten massgeblich. Das manifestiert sich vor allem in Steigungen und Gefällen, wo die Nutzfahrzeuge nur deutlich langsamer fahren können als die Personenwagen. Aus diesen Gründen wurde das tatsächliche Fahrverhalten von Motorfahrzeugen auf Steigungs- und Gefällsstrecken in der Vergangenheit wiederholt erhoben.

Nach dem im Jahr 2005 die Kontingentierung der Lastwagenfahrten mit Gesamtgewicht von über 28 t Gesamtgewicht weggefallen ist, muss davon ausgegangen werden, dass sich auf den Strassen der Anteil von Fahrten mit schweren Lastwagen gegenüber dem Jahr 2002 deutlich erhöht hat. Daher stellte sich die Frage, auf welchem Niveau sich die Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen eingestellt haben.

Forschungsziel

Das Ziel der Untersuchung ist die Überprüfung bzw. Fortschreibung der im Jahre 2002 erhobenen Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen auf längeren Neigungsstrecken. Dabei sollen mittels Erhebungen im Verkehrsablauf auf Autobahnen und auf Strassen ausserorts die Geschwindigkeiten der Lastwagen in Steigungen und Gefällen nach dem Wegfall der Kontingentierung für Lastwagen mit Gesamtgewicht von über 28 t ermittelt die Veränderungen gegenüber den früheren Erhebungen beurteilt werden. Im Vordergrund stehen dabei die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen am Ende von hinreichend langen Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen.

Zur Verifizierung der Auswirkungen der ab 2005 weggefallenen Kontingentierung von Lastwagenfahrten mit über 28 t Gesamtgewicht sind auch entsprechende Gewichtsmessungen einzubeziehen. Diese sollen vor allem Fahrten im alpenquerenden Nord-Süd-Verkehrs berücksichtigen.

Ergebnisse

Zur Beurteilung der Homogenität bzw. der *Streuung der Geschwindigkeiten* wurden einerseits die Differenzen zwischen den Geschwindigkeitsgrössen $V_{85\%}$ (schnell fahrende Lastwagen) und $V_{15\%}$ (langsam fahrende Lastwagen) und andererseits die Standardabweichungen um die mittlere Geschwindigkeit am jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke betrachtet. Die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV ($V_{85\%} - V_{15\%}$) haben sich im Vergleich der Zustände 2009 / 2002 nur wenig verändert und betragen im Mittel über alle Strecken nur 1.7 km/h in Steigungsrichtung bzw. 1.0 km/h in Gefällsrichtung. Auch bei der Betrachtung der Standardabweichung (s) um die mittlere Geschwindigkeit (V_M) resultiert im Mittel nur eine geringe Veränderung von 0.1 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 1.1 km/h (Gefällsrichtung). Daraus geht hervor, dass sich die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung insgesamt nicht verändert hat.

Die *Geschwindigkeitsverläufe* entlang von vier Steigungsstrecken zeigen, dass der distanzabhängige Geschwindigkeitsabfall im Zustand 2009 eine ähnliche Form aufweist wie im Zustand 2002. Aus dem Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten zu Beginn und am Ende der Steigung ergaben sich sowohl 2009 als auch 2002 fast ausschliesslich Verzögerungsvorgänge. Die *Geschwindigkeitsabnahmen* auf den einzelnen *Steigungsstrecken* in den zwei Betrachtungszuständen liegen in ähnlicher Grössenordnung. Im Jahr 2009 liegen diese zwischen 5 und 17 km/h, 2002 lagen sie zwischen 5 und 24 km/h.

Die *Dauergeschwindigkeiten* von langsamen, beladenen Lastwagen ($V_{15\%}$ -Werte) am Ende der Neigungsstrecken haben sich in der Steigungsrichtung im Zustand 2009 bei 3 der 6 vergleichbaren Strecken um bis zu 6 km/h erhöht, bei 2 der Strecken um bis zu 4 km/h reduziert. Im Durchschnitt der vergleichbaren Strecken ergab sich nur eine geringe Veränderung der Werte von 2009 (47.5 km/h) zu 2002 (46.7 km/h).

Wie bei den früheren Untersuchungen zeigt sich auch im Zustand 2009 bei zunehmender Längsneigung eine klare Tendenz zur Abnahme der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen. Aus der Gegenüberstellung der ermittelten Funktionskurven in den Zuständen „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) ergaben sich nur kleine Unterschiede. Die für die Steigungsrichtung durchgeführte Überprüfung hat ergeben, dass diese

Veränderungen statistisch nicht signifikant sind. Der Wegfall der Kontingentierung führte somit nicht zur adäquaten Veränderung der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen.

Die Zahl der alpenquerenden Lastwagenfahrten hat seit dem Beginn des Jahres 2002 infolge der Dosierungsmassnahmen abgenommen. Die Reduktion der Fahrtenzahl wird offensichtlich durch die im Mittel höheren Betriebsgewichte pro Fahrt weitgehend kompensiert. Im Rahmen der vorliegenden Gewichtsauswertungen und Vergleiche konnte die Tendenz zu höheren Betriebsgewichten nach der Aufhebung der Kontingente für Lastwagenfahrten mit über 28 t Gesamtgewicht bestätigt werden. Die Häufigkeit der schwer beladenen Lastwagenfahrten hat sich gegenüber dem Vorher – Zustand (Jahr 2002) wesentlich erhöht, und zwar sowohl im Nord – Süd- wie auch im West – Ost - Verkehr.

Aus dem „Vorher“ - / „Nachher“ – Vergleich zwischen den Erhebungen in den Jahren 2002 (mit Kontingentierung) und 2009 (ohne Kontingentierung) ergab sich für die Gewichtsgruppe > 31 t auf der *Nord – Süd – Achse* eine starke Zunahme. Das Dosierungssystem am Gotthard beschränkt zwar die Anzahl der Lastwagenfahrten insgesamt, die Anzahl von Fahrten mit Betriebsgewichten über 31 t hat sich jedoch auf der Nord – Süd – Achse um einen Faktor von ca. 1.6 deutlich erhöht. Der Anteil dieser Fahrten beträgt am Gotthard bereits knapp 30%, während er noch vor 7 Jahren nur ca. 19% ausmachte. In der *West - Ost - Richtung* (WIM-Messstelle Mattstetten) hat sich die Anzahl der Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über 31 t um einen Faktor von ca. 1.8, also noch stärker als am Gotthard erhöht. Der Anteil dieser Fahrten an allen Lastwagenfahrten betrug im Jahr 2009 ca. 13%, gegenüber 7.5% im Jahr 2002.

Folgerungen

Bereits aufgrund des Vergleichs zwischen den Zuständen 1999 (mit Beschränkung auf 28 t Gesamtgewicht) und 2002 (mit Kontingentierung für Gesamtgewichte über 28 t) wurde festgestellt, dass die höheren Lade- und somit Gesamtgewichte sich auf die empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten nicht proportional auswirken. Diese Feststellung wurde mit der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Aus diesen Tatsachen muss gefolgert werden, dass zumindest auf der Nord-Süd-Achse für die schwerbeladenen Güterfahrzeuge die entsprechende Nutzleistung bereitgestellt wird. Offensichtlich haben sich die Transportunternehmer auf die Situation mit erhöhter Gewichtslimite eingestellt, indem sie für alpenquerende (und damit steigungsreiche) Fernfahrten mit hohen Betriebsgewichten Fahrzeuge mit entsprechend hoher Motorleistung und mit besser abgestimmten Getriebeverhältnissen einsetzen.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann auch davon ausgegangen werden, dass eine künftige Zunahme des Anteils von Lastwagenfahrten mit Gesamtgewichten von über 28t nicht zu wesentlichen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen führen wird. Eine weitere Überprüfung der Geschwindigkeiten würde sich erst nach der Umsetzung der geplanten Absicht, den schweren Güterverkehr von der Strasse auf die Bahn zu verlagern, aufdrängen.

Aufgrund der nur geringen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten und der Form der Geschwindigkeitsverläufe entlang von Neigungsstrecken zwischen den Zuständen 2002 und 2009 drängen sich keine Anpassungen des bestehenden Geschwindigkeitsmodells in den VSS-Normen auf.

Die erhöhten Geschwindigkeiten von Lastwagen und die durch die Herabsetzung der Tempolimiten bewirkte Reduktion der Geschwindigkeiten von Personenwagen haben zu einer Annäherung der Geschwindigkeitsniveaus dieser beiden Fahrzeuggruppen beigetragen. Obwohl sich dadurch das Bedürfnis zum Überholen grundsätzlich verringert hat, entstehen bei Überholvorgängen mit kleineren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem überholenden und dem überholten Fahrzeug längere Überholwege, die v.a. bei Überholungen durch Lastwagen typisch sind und zu Behinderungen des Verkehrsflusses führen können. Die negativen Auswirkungen der Überholungen durch Lastwagen versucht man durch vermehrte Anordnung von Überholverboten für Lastwagen zu beschränken. Die Zweckmässigkeit dieser Massnahme wurde in Deutschland wissenschaftlich untersucht. Wie weit die ausländischen Ergebnisse auf die Verhältnisse auf schweizerischen Autobahnen übertragen werden können, sollte durch entsprechende Untersuchungen in der Schweiz geprüft werden.

Résumé

Situation de départ

Les vitesses sur les routes déterminent le comportement de conduite et constituent donc une valeur importante pour la planification et le projet. Les modèles de vitesse dans les normes VSS existantes se basent d'une part sur des calculs physiques et d'autre part sur les vitesses réelles de conduite qui servent de valeurs de comparaison pour ce modèle. Les vitesses de conduite sont influencées en grande partie par la géométrie des routes et les limitations de vitesses. Par ailleurs, les vitesses des poids lourds ont une influence déterminante sur le comportement lors du dépassement. Ceci se vérifie surtout dans les rampes et les pentes où les véhicules routiers commerciaux ne peuvent rouler que beaucoup plus lentement que les véhicules de tourisme, c'est pourquoi le comportement de conduite réel des véhicules à moteur sur des tronçons en rampe et en pente a déjà été enregistré à plusieurs reprises.

Le contingentement des courses des poids lourds d'un poids total supérieur à 28 tonnes ayant été supprimé en 2005, il faut s'attendre à ce que le nombre de courses sur les routes de tels poids lourds a nettement augmenté par rapport à 2002. Il s'agit dès lors de savoir à quels niveaux se situent les vitesses des poids lourds dans les rampes et les pentes.

Objectif de la recherche

L'objectif de la recherche est d'évaluer et de poursuivre les recensements, débutés en 2002, des vitesses dans les rampes et les pentes sur de longs tronçons à déclivité. Pour ce faire, les modifications des vitesses des poids lourds dans les rampes et les pentes – suite à la suppression du contingentement pour les poids lourds d'un poids total supérieur à 28 tonnes – doivent être évaluées grâce à des recensements de l'écoulement du trafic sur des autoroutes et des routes situées hors localité et en les comparant aux recensements antérieurs. A cet effet, les vitesses soutenues des poids lourds lents et chargés à la fin de tronçons suffisamment longs à déclivité dans des déclivités diverses seront en particulier observées.

Afin d'évaluer les répercussions de l'abrogation du contingentement des poids lourds d'un poids total supérieur à 28 tonnes depuis 2005, il faut également procéder à des mesures de poids y relatives en prenant particulièrement en compte les courses du trafic Nord-Sud traversant les Alpes.

Résultats

Afin d'évaluer l'homogénéité et la *dispersion des vitesses*, les différences entre les valeurs de vitesse $V_{85\%}$ (poids lourds roulant vite) et $V_{15\%}$ (poids lourds roulant lentement) et les écarts types de la vitesse moyenne pour chaque dernière section du tronçon à déclivité ont été observées. Ces différences de vitesse ΔV ($V_{85\%} - V_{15\%}$) ont peu changées entre 2002 et 2009 et ne sont en moyenne, tous tronçons confondus, que de 1,7 km/h en rampe et de 1,0 km/h en pente. L'observation de l'écart type (s) relatif à la vitesse moyenne (V_M) a également mis en évidence de faibles modifications de 0,1 km/h (rampe) et de 1,1 km/h (pente). L'homogénéité de la répartition des vitesses ne s'est donc dans l'ensemble pas modifiée.

Les *variations de la vitesse* sur les quatre tronçons en rampe indiquent que la baisse de vitesse en fonction de la distance pour l'état 2009 est similaire à celle de l'état 2002. La comparaison des vitesses $V_{15\%}$ au début et à la fin de la rampe a mis en évidence presque uniquement des décélérations en 2009 tout comme en 2002. Les *diminutions de vitesse* sur chaque tronçon en rampe lors des deux états d'observation se situent dans le même ordre de grandeur. En 2009, ils se situaient entre 5 et 17 km/h et en 2002 entre 5 et 24 km/h.

Les *vitesses soutenues* de poids lourds lents et chargés (valeurs $V_{15\%}$) à la fin des tronçons à déclivité ont augmenté en rampe jusqu'à 6 km/h dans l'état 2009 pour 3 des 6 tronçons comparés et ont diminué jusqu'à 4 km/h pour 2 des tronçons. En moyenne, pour tous les tronçons comparés, la modification des valeurs de 2009 (47,5 km/h) par rapport à 2002 (46,7 km/h) est faible.

Comme pour les recherches antérieures, une nette tendance à la diminution des vitesses soutenues des poids lourds lorsque la déclivité augmente se confirme dans l'état 2009. Seules de petites différences résultent de la comparaison des courbes de fonctions établies pour les états «avant» (2002) et «après» (2009). L'évaluation effectuée pour la direction en rampe a mis en évidence que ces modifications n'ont pas un grand impact du point de vue statistique. L'abandon du contingentement n'a ainsi pas engendré la modification appropriée des vitesses soutenues des poids lourds dans les rampes.

Le nombre de courses de poids lourds traversant les Alpes a diminué depuis le début de l'année 2002 suite aux mesures de dosage. Cette réduction est apparemment compensée en grande partie par les poids effectifs qui sont en moyenne plus élevés par course. Les présentes évaluations de poids et les comparaisons ont confirmé cette tendance, à savoir des poids effectifs plus élevés suite à la suppression du contingentement pour les poids lourds d'un poids total supérieur à 31 tonnes. La fréquence des courses des poids lourds chargés lourdement a considérablement augmenté par rapport à l'état «avant» (2002), et cela pour le trafic Nord-Sud tout comme pour le trafic Ouest-Est.

La comparaison «avant» / «après» entre les recensements de 2002 (avec contingentement) et de 2009 (sans contingentement) a mis en évidence une forte augmentation pour le groupe de poids > 31 tonnes sur l'axe Nord-Sud. Le système de dosage au Gothard limite dans l'ensemble le nombre de courses de poids lourds mais leur nombre sur l'axe Nord-Sud avec des poids effectifs supérieurs à 31 tonnes a cependant nettement augmenté (facteur de 1,6 environ). La proportion de ces courses au Gothard est déjà de 30% alors qu'il y a 7 ans elles ne représentaient encore que 19% environ. Dans la *direction Ouest-Est* (station de mesure WIM Mattstetten) le nombre de courses de poids lourds ayant des poids effectifs de plus de 31 tonnes a même augmenté d'un facteur de 1,8 environ, c'est-à-dire encore plus fortement qu'au Gothard. Pour tous les poids lourds, leur proportion était de 13% environ en 2009 alors qu'elle était de 7,5% en 2002.

Conclusions

Lors de la comparaison entre les situations 1999 (avec limitation à un poids total de 28 tonnes) et 2002 (avec le contingentement des poids lourds d'un poids total supérieur à 28 tonnes) il avait déjà été constaté que les poids de charges – et donc également les poids totaux – plus élevés n'ont pas de répercussions proportionnelles sur les vitesses soutenues établies de manière empirique. Or la présente recherche a confirmé cette constatation. Il faut en conclure que tout au moins sur l'axe Nord-Sud la puissance utile appropriée est mise à disposition pour les véhicules de transport de marchandises lourdes. Les entrepreneurs de transport se sont apparemment adaptés à la limitation plus forte relative aux poids en travaillant avec des véhicules ayant des moteurs plus puissants et des rapports de transmission mieux adaptés pour les courses traversant les Alpes (et donc avec de nombreuses rampes) avec des poids effectifs élevés.

D'après les présents résultats, il est à prévoir qu'une augmentation future de la proportion de courses de poids lourds d'un poids total supérieur à 28 tonnes ne va pas provoquer de modifications importantes des vitesses soutenues dans les rampes et les pentes. Une réévaluation des vitesses ne serait nécessaire qu'après la mise en œuvre de l'objectif prévu, à savoir transférer le transport de marchandises lourdes de la route au rail.

Les modifications des vitesses soutenues et de la forme des variations de vitesses pour les tronçons à déclivité entre les états 2002 et 2009 étant faibles, aucune adaptation du modèle de vitesses existant dans les normes VSS ne s'impose.

Les vitesses plus élevées des poids lourds et la baisse des vitesses des véhicules de tourisme résultant de la diminution des limitations de vitesse ont contribué à rapprocher les niveaux de vitesses des deux groupes de véhicules. Le besoin de dépasser a diminué d'une manière générale. Cependant, lorsque les différences de vitesse entre le véhicule qui dépasse et celui qui est dépassé sont faibles, les temps de dépassement sont plus longs. C'est en particulier le cas pour les dépassements effectués par les poids lourds qui peuvent entraver le flux de trafic. Or l'on tente de limiter les répercussions négatives engendrées par les dépassements effectués par les poids lourds en édictant davantage d'interdictions de dépasser pour les poids lourds. L'opportunité de cette mesure a fait l'objet d'une recherche scientifique en Allemagne. Il faudrait également procéder à des recherches en Suisse afin d'évaluer dans quelles mesures les résultats obtenus à l'étranger peuvent être transposés à la situation des autoroutes suisses.

Summary

Background

The speed on roads describes the driving behavior and therefore is a fundamental value of design standards. On the one hand the speed models of the existing standards (VSS) are based on physical calculations and on the other hand on speed measurements. Latter stated values are used to compare with the models. The driving speed was mainly affected by the geometry of the roads as well as of the speed limits. Furthermore the speed of heavy vehicles affects the overtaking behavior essentially. This manifests mainly at upgrades and downgrades, where the speed of heavy vehicles is much lower than the speed of the passenger cars. This is why the real driving behavior of vehicles on upgrades and downgrades is repeatedly measured in the past.

After the year 2005 the allocation of heavy vehicles with weights above 28t are no longer applicable. So it must be assumed that the percentage share of drives with commercial vehicles increased essentially since the year 2002. Accordingly the question at which standard the speed of heavy vehicles in upgrades and downgrades has leveled off must be stated.

Research aim

The aim of this research project is to review respectively update the speed on upgrades and downgrades, which were surveyed in the year 2002. Therefore the surveys of traffic flow on motorways and rural roads were analyzed for heavy vehicles with gross vehicle weight above 28t after the repeal of allocation, so that the results of this investigation can be compared to previous results. The priority is the crawl speed of slow and heavy loaded vehicles which travels without hindrance at the end of a sufficient long upgrade stretches at different gradients.

To verify the effects at drives of heavy vehicles for the no longer existing allocation of weights above 28t, corresponding weight in motion (WIM) measurements were analyzed. The WIM should be executed primary for the transalpine north-south-traffic.

Results

For the appraisal of the homogeneity respectively the statistical *spread of speed*, the speed difference between fast ($V_{85\%}$) and slow, loaded ($V_{15\%}$) heavy vehicles were regarded. In addition the standard deviations of average speeds at each last cross section of the gradient were considered. The speed difference (ΔV) between faster ($V_{85\%}$) and slower ($V_{15\%}$) vehicles reveals only a small change, compared to the states between 2002 and 2009. For all values the average speed differences are at 1.7 km/h for upgrades and at 1.0 km/h for downgrades. Equally the standard deviation s of the average speed V_M reflects a small change for upgrades (0.1 km/h) and downgrades (1.1 km/h). It follows altogether that the homogeneity of the speed distribution has not changed.

The *speed profiles* along four upgrades stretches prove that the dependence between distance and loss of speed in 2009 were similar to that in the year 2002. The comparison of $V_{15\%}$ at the beginning and the end of upgrades expose for the year 2009 as well as for the year 2002 a deceleration of the speed exclusively. The *decreases of speed* at the single *upgrades stretches* viewed at both periods under observation have similar ranges, in the year 2009 between 5 to 17 km/h and in the year 2002 between 5 to 24 km/h.

In 2009 at three of six comparable stretches the *crawl speed* of slow, loaded heavy vehicles ($V_{15\%}$ - values) at the end of upgrades increased up to 6 km/h and reduced for two stretches up to 4 km/h. Only small changes in average speeds have revealed in 2009 (47.5 km/h) and 2002 (46.7 km/h) at all comparables routes.

As in previous investigations recognized, the tendency of declined crawl speed with increasing gradient persists in 2009 also. The comparison of the determined functions of the states "before" (2002) and "after" (2009) reflects small differences. The carried out investigation performed for reflect the changes in the direction of the gradient shows no significance from the statistical point of view. That is, the abolition of the allocation of heavy vehicles with weights above 28t does not cause adequate changes in the crawl speed of heavy vehicles in upgrades.

As a result of the dosage measures, started at the beginning of the year 2002, a decrease for the number of transalpine heavy vehicles drives was revealed. This reduction was apparently compensated by heavier operating weights per drive. Within the scope of the available weight evaluations and comparisons, tendencies to higher operating weights after the allocation of total weight of 28t could be confirmed. Compared to the state before (2002) the frequency of drives of heavy loaded vehicles has considerably increased for the north – south traffic and the west – east traffic.

The before and after comparison between the measured data from 2002 (with allocation) and 2009 (without allocation) reveals for the north – south axis a strong growth for the weight group above 31t. The dosage system at the Gotthard restricts the number of heavy vehicles in total, the number of drives with operating weights above 31t however have been significantly increased by a factor of 1.6. The proportion of these drives at the Gotthard reaches already 30% while seven years ago it was only about 19%. In the west – east direction (WIM measuring point Mattstetten) the number of drives with operating weights above 31t increased at the factor 1.8, even more than at Gotthard. The proportion of these drives reaches in the year 2009 about 13%; in 2002 it was only about 7.5%.

Conclusion

According to the comparison made between the conditions of 1999 (with restriction of gross weight up to 28t) and 2002 (with allocation for gross weights over 28t) it was assessed that higher gross weights and thus load weights are not proportional to the empirically determined crawl speed. That result could be proven through this investigation. Accordingly it can be concluded that at least for the north – south – transalpine axis the engine power of heavy loaded vehicles is supplied. Obviously the transport companies have well adapted to the situation of higher weight limits. For transalpine rides and thus large upgrades they equipped their heavy vehicles with superior engines and a better aligned gear box ratio.

Due to these results it can be assumed that in the future an increasing part of heavy vehicle traffic with gross weight over 28t will not affect changes of crawl speed in upgrades and downgrades basically. A further investigation of speed would not be necessary until the planned relocation of the freight traffic from road to railway will be realized.

By reason of the small changes of crawl speed and the characteristics of speed form alongside the gradient stretches between the conditions of 2002 and 2009 no further modifying of the existing Swiss standard (VSS) has to be done.

The increased speed of heavy vehicles and through the reduction of speed limits slower passenger cars have contributed to an approximation of driving speed levels for both vehicle groups. Although the need to overtaking decreased thereby, the distances needed to overtake were longer because of the smaller speed difference between faster and slower vehicles. Especially the overtaking process from heavy vehicles tends to results in disability of traffic flow. It will be attempted to reduce the negative effects of overtaking caused by heavy vehicles due to increased restrictions of overtaking for this vehicle category. The expediency of this measure was scientifically investigated in Germany. In which way these results can be applied to Swiss motorways should be verified in further investigations in Switzerland.

1. EINLEITUNG

1.1. Ausgangslage

Die Geschwindigkeiten auf Strassen umschreiben das Fahrverhalten und sind deshalb eine wichtige Projektierungs- bzw. Entwurfsgrösse. Die Geschwindigkeitsmodelle in den bestehenden VSS-Normen basieren einerseits auf physikalischen Berechnungen, andererseits dienen die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten, die als Vergleichsgrössen für dieses Modell dienen. Die Fahrgeschwindigkeiten werden vor allem durch die Strassengeometrie und durch die Tempolimiten beeinflusst. Die Geschwindigkeiten von Lastwagen beeinflussen zudem das Überholverhalten massgeblich. Das manifestiert sich vor allem in Steigungen und Gefällen, wo die Nutzfahrzeuge nur deutlich langsamer fahren können als die Personenwagen. Aus diesen Gründen wurde das tatsächliche Fahrverhalten von Motorfahrzeugen auf Steigungs- und Gefällsstrecken in der Vergangenheit wiederholt erhoben (z.B. in [1], [2], [3]).

Die letzte Untersuchung erfolgte im Rahmen eines Forschungsauftrags¹ in den Jahren 1999 / 2002. Dabei wurden Geschwindigkeiten ungehindert fahrender Personen- und Lastwagen auf insgesamt 19 Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen erhoben und ausgewertet. Diese Messwiederholung im Abstand von drei Jahren war nötig, weil sich im Zeitraum der Untersuchungen verschiedene gesetzlichen Grundlagen für den Schwerverkehr verändert haben:

- Herabsetzung der Mindestnutzleistung (10 PS/t) auf das Niveau der EU-Länder (6.8 PS/t), per 1.11.1998
- Heraufsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit für Lastenzüge und Sattelschlepper auf Strassen ausserorts von 60km/h auf 80 km/h, per 1.1.2001
- Schrittweise Erhöhung der zulässigen Betriebsgewichte für Nutzfahrzeuge von 28 t auf 40 t und Einführung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA), im Zeitraum 2001 bis 2005.

Zur Berücksichtigung dieser Veränderungen mussten im erwähnten Forschungsauftrag zwei Messserien durchgeführt werden. Bei der zweiten Messserie im Jahr 2002 standen ca. 350'000 Bewilligungen für Lastwagenfahrten mit Gesamtgewichten von über 28t zur Verfügung. Gemäss den Auswerteergebnissen haben sich die Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen im Vergleich zu jenen aus der ersten Messserie (Jahr 1999) reduziert, allerdings war die Abnahme mit durchschnittlich 3.8 km/h nur gering.

Im Hinblick auf die generelle Zulassung von Betriebsgewichten bis zu 40t ab dem Jahr 2005 musste in damaligen Forschungsauftrag [1] eine Prognose angestellt werden. Sie basiert auf Vergleichen der Gewichtsmessungen von Lastwagen in der Schweiz und in Österreich. Aufgrund der Prognose wurden die im Jahr 2002 erhobenen Dauergeschwindigkeiten der Lastwagen in Steigungen pauschal um 10% reduziert.

Nach dem im Jahr 2005 die Kontingentierung der Lastwagenfahrten mit Gesamtgewicht von über 28 t Gesamtgewicht weggefallen ist, muss davon ausgegangen werden, dass sich auf den Strassen der Anteil von Fahrten mit schweren Lastwagen gegenüber dem Jahr 2002 deutlich erhöht hat. Daher stellt sich nun die Frage, auf welchem Niveau sich die Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen eingestellt haben. Im Schlussbericht zum oben erwähnten Forschungsauftrag wurde auch empfohlen, die Erhebungen zum Geschwindigkeitsverhalten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen zu gegebener Zeit zu wiederholen.

1.2. Auftrag

Aufgrund dieser Ausgangslage wurde das Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) an der ETH Zürich beauftragt, mittels Erhebungen im Verkehrsablauf auf Autobahnen und auf Strassen ausserorts die Geschwindigkeiten der Lastwagen in Steigungen und Gefällen nach dem Wegfall der Kontingentierung für Lastwagen mit Gesamtgewicht von über 28 t zu ermitteln und mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2002 zu vergleichen. Im Vordergrund stehen dabei die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen auf hinreichend langen Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen.

¹ Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, Forschungsauftrag VSS 1998/079, IVT-ETH Zürich, 2003; Schriftenreihe des UVEK, Heft 1054 [1]

Aufgrund der Ergebnisse sind entsprechende Folgerungen abzuleiten und Empfehlungen an das Bundesamt für Strassen (ASTRA) zu unterbreitern. Dabei sind auch allfällige Auswirkungen auf Geschwindigkeitsmodell in den VSS-Normen abzuklären.

1.3. Forschungsziele

Das Ziel der Untersuchung ist die Überprüfung bzw. Fortschreibung der im Jahre 2002 erhobenen Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen auf längeren Neigungsstrecken. Dabei sollen aufgrund von Erhebungen im Verkehrsablauf auf Autobahnen sowie auf Strassen ausserorts die Zusammenhänge zwischen der Grösse der Längsneigung und den Geschwindigkeiten von Motorfahrzeugen ermittelt und die Veränderungen gegenüber den früheren Erhebungen beurteilt werden.

Zu diesem Zweck sind Geschwindigkeitsmessungen durchzuführen. Aus Vergleichbarkeitsgründen erfolgen sie an gleichen Neigungsstrecken und bei möglichst identischer Messanordnung wie in der Messserie 2002 [1]. Eingesetzt wird dabei die gleiche Messeinrichtung (IVT-Messpfosten) wie bei der letzten Erhebung. Bei den Auswertungen werden Geschwindigkeitswerte für die Fahrzeuggruppen Lastwagen und Personenwagen, getrennt nach Steigungs- und Gefällsrichtung aufbereitet. Im Vordergrund stehen dabei schwere Motorfahrzeuge (Lastwagen). Für die angesprochenen Zusammenhänge sind quantitative Veränderungen zu ermitteln zwischen dem Zustand 2002 (Fahrten mit über 28t kontingentiert) und dem Zustand nach der Aufhebung der Kontingentierung.

Wie seinerzeit in [1] erwähnt, können die hohen Betriebsgewichte (28 bis 40 t) theoretisch nur bei Lastenzügen / Sattelschleppern vorkommen (gesetzliche Beschränkung des zulässigen Achslastgewichtes auf 10.0 bzw. 11.5 t). In diesem Zusammenhang wurden in [1] Auswertungen zusätzlich zur Gruppe „alle Lastwagen“ auch für diese Lastwagengruppe allein gemacht. Diese Auswertung basierte auf der Annahme, dass bei der Gruppe „Lastenzüge und Sattelschlepper“ niedrigeren Geschwindigkeiten in Steigungen resultieren werden als bei der Gruppe „alle Lastwagen“. Diese Annahme hat sich nicht bestätigt: Die Geschwindigkeiten ($V_{15\%}$) der Gruppe „Lastenzüge und Sattelschlepper“ waren in allen Steigungsstrecken höher oder mindestens gleich hoch wie bei der Gruppe „alle Lastwagen“, und zwar sowohl bei Erhebungen im Jahr 1999 wie auch bei jenen im Jahr 2002. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Untersuchung auf diese separate Auswertung verzichtet.

Zur Verifizierung der Auswirkungen der ab 2005 weggefallenen Kontingentierung von Lastwagenfahrten mit über 28 t Gesamtgewicht sind auch entsprechende Gewichtsmessungen einzubeziehen. Diese sollen vor allem Fahrten im alpenquerenden Nord-Süd-Verkehr berücksichtigen.

Aufgrund der Ergebnisse sollen die Auswirkungen auf den Verkehrsablauf auf Strassen und gegebenenfalls auf die bestehenden Projektierungsnormen des VSS (z.B. [4]) beurteilt werden.

1.4. Untersuchungsvorgehen

Das Untersuchungsvorgehen ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Darin lassen sich die folgenden Arbeitsschritte unterscheiden:

→ Schritt 1: Geschwindigkeitserhebungen

Zur Abdeckung des Neigungsspektrums werden aus dem Angebot an Neigungsstrecken im früheren Forschungsaufträgen [1], [2] geeignete Messstrecken mit Ausrichtung auf Nord-Süd-Verkehr ausgewählt und besichtigt. Falls bauliche oder betriebliche Randbedingungen die Messung auf einer der Strecken verhindern, mussten Ersatzstrecken festgelegt werden.

Anschliessend erfolgten je Strecke die Absteckung der Messorte gemäss den bei der Forschungsstelle vorhandenen Unterlagen und die Durchführung von Geschwindigkeitsmessungen. Falls erforderlich, wurden die Erhebungen nach vorheriger Absprache mit den Polizei- und Unterhaltsdiensten vorgenommen. Die Messdaten werden nach jeder Messung aus den Speicherkarten ausgelesen und für die Messauswertungen abgelegt.

→ Schritt 2: Auswertungen

In diesem Schritt werden die Geschwindigkeitsverläufe entlang der Neigungsstrecken ermittelt und die Zusammenhänge zwischen den Dauergeschwindigkeiten und der Grösse der Längsneigung untersucht.

Einbezogen wird auch die Auswertung von Gewichtsmessungen an den massgebenden WIM-Messstellen des ASTRA (Häufigkeitsverteilung von gemessenen Betriebsgewichten der Lastwagen, vgl. Kapitel 4).

→ *Schritt 3: Vergleiche mit Messwerten 2002*

Das Ziel der Untersuchung sind die Vergleiche der allfälligen Geschwindigkeitsveränderungen zwischen den Zuständen „vorher“ (2002) und „heute“ (2009) sowie die Beurteilung der Auswirkungen auf den Verkehrsablauf. Im Vordergrund steht dabei die Fahrzeuggruppe „alle Lastwagen“.

Analoge Vergleiche wurden auch bei den Ergebnissen der Gewichtsmessungen durchgeführt.

→ *Schritt 4: Berichterstattung*

Der Schlussbericht wird analog zu jenem in [1] aufgebaut. Die wichtigsten Erkenntnisse und Folgerungen werden im Kapitel 5 zusammengestellt. Wie in [1] werden die Messergebnisse im Berichtsanhang dokumentiert.

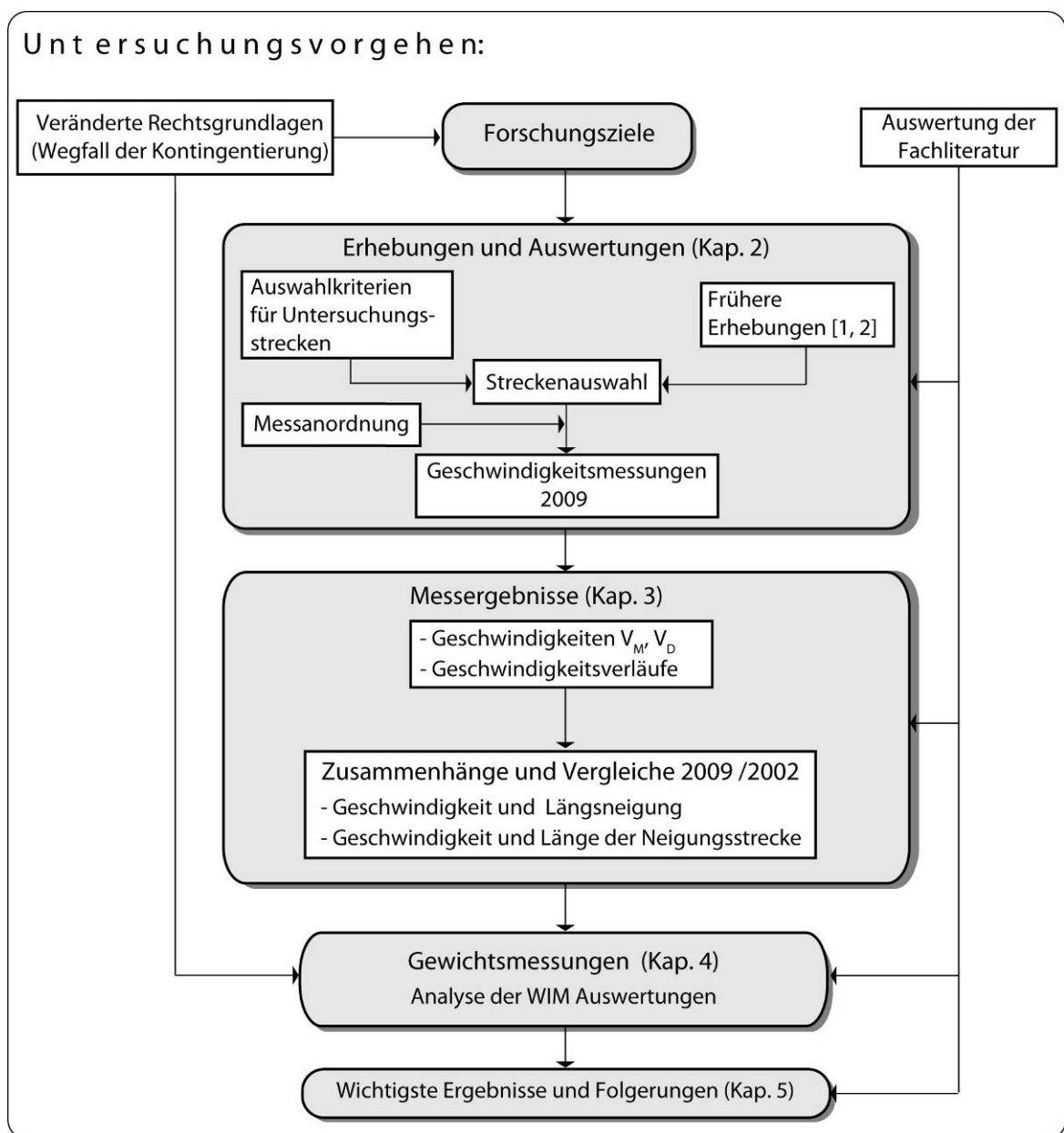


Abb. 1: Untersuchungsvorgehen

2. ERHEBUNGEN UND AUSWERTUNGEN

2.1. Untersuchungsstrecken

Bei der Auswahl der Steigungs- und Gefällsstrecken wurde von den 9 im Jahr 2002 verwendeten Strecken ausgegangen. Eine Überprüfung ergab, dass einige dieser Strecken für die vorliegende Untersuchung nicht mehr verwendet werden konnten. Bei diesen wurden in den letzten Jahren entweder bauliche Veränderungen vorgenommen, oder sie wiesen ein zu geringes Verkehrsaufkommen mit einem zu geringen LW-Anteil auf. Bei einigen der Strecken wurden während der Messperiode Baustellen eingerichtet (beispielsweise auf der A2 im Raum Boelchen konnten nur 3 der 5 Messstrecken berücksichtigt werden), sodass auch diese Strecken ersetzt werden mussten. Die verbleibenden 6 Strecken (vgl. Tabelle 1) wurden deshalb durch 3 neue ergänzt. Dabei wurde darauf geachtet, dass das ursprüngliche Spektrum der Längsneigungen gewährleistet bleibt.

Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- möglichst konstante Längsneigung im Bereich von ca. 2 bis 10% mit Abweichungen auf der Strecke von max. $\pm 0.5\%$
- möglichst gestreckte Linienführung mit einer genügenden Länge des Messabschnitts
- nur Messstrecken ausserhalb des Einflussbereichs von Knoten und engeren Kurven
- genügend langer Zufahrtsbereich in der Ebene, von dem angenommen werden kann, dass die Fahrzeuge mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit fahren (Ausnahmen bilden die Strecken, auf denen das Anfahren aus dem Stand erhoben wird)
- keine örtlich abweichende Höchstgeschwindigkeit von weniger als 80 km/h.
- Hauptverkehrsstrassen (HVS) ausserorts mit möglichst grossem LW-Anteil

Für die Erhebungen im Zustand „Nachher“ aus dem Jahr 2009 musste als Ersatz eine weitere Messstrecke auf der Autobahn (A2, bei Seelisberg) mit einbezogen werden. Zudem wurden Erhebungen auf 3 Messstrecken von Hauptverkehrsstrassen durchgeführt, auf welchen im Jahr 1999, nicht aber im Jahr 2002 gemessen wurde. Neben den Messungen im Raum Boelchen (A2) und auf der Nordrampe des Gotthards (A2), wurden auch auf der Nord- und Südrampe des San Bernardino (A13) HLS-Erhebungen durchgeführt (vgl. Tab. 1).

Nr.	Strecke	i_{massg} [%]	$V_{\text{zul.}}$ [km/h]	Länge		Messungen für				Bemerkungen
				Messstr.	Total	Steigung	Gefälle	2002	2009	
* 2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7	120	1'910	2'450	x		x	x	HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein
* 20	Buochs – Beckenried (A2)	3.4	120	1200	1350	x	x		x	HLS, Ersatzmessung, Zulaufstrecke mit i klein
* 8	Amsteg – Wassen (A2)	4.9	80	2'625	2'750	x		x	x	HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein
* 10	Egerkingen – Belchen Süd (A2)	5.0	120	1'200	2'680	x	x	x	x	HLS (mit Zusatzstr.), nur LW, Zulaufstrecke mit i klein
* 13	Andeer – Sufers (A13)	6.0	100	3'140	3'140	x	x	x	x	HLS, nur LW, Zulaufstrecke mit i klein
* 14	Mesocco – San Bernardino (A13)	6.0	100	1'980	1'980	x	x	x	x	HLS, nur LW, nur 1 Messquerschnitt
* 15	Regensdorf – Zürich	6.1	80	985	1'100	x			x	Anfahrten ab LSA, Zusatzstr. aufwärts, V_0
* 15a	Regensdorf – Zürich	6.5	80	985	1'100	x			x	Zusatzstreifen, aufwärts, V_0
* 17	Pfäffikon – Schindellegi (unten)	7.1	80	1'000	1'400	x	x		x	Anfahrten nach Knoten/Kurve, V_0
* 19	Densbüren – Staffelegg	9.5	80	380	550	x	x	x	x	V_1 bei i klein, V_0

* Strecken, auf welchen auch in [1] Messungen durchgeführt wurden

* Strecke, auf welcher nur 2009 Messungen durchgeführt wurden

Tab. 1: Ausgewählte Untersuchungsstrecken

2.2. Ergänzende Messstellen

Um das Neigungsspektrum für die Regressionsberechnungen (Kapitel 4) bis in den Bereich mit kleinen Längsneigungen zu erweitern, wurden ergänzende Messungen durchgeführt. Sie umfassten drei Messstrecken mit Längsneigungen zwischen -0.19 und 0.3%. Diese wurden mit der gleichen Messmethode durchgeführt wie bei den in Tab. 1 aufgeführten Messstrecken. Für die vorliegende Arbeit wurden drei Messstellen zur Ergänzung der Stichprobe ausgewählt. Das Datenmaterial lässt eine Unterteilung nach Fahrzeugart (PW/LW) und vorhandener Zeitlücke zu.

Messstelle (Strassen-Nr.)	$i_{\text{massg.}}$ [%]	Messung in Richtung	
		Steigung	Gefälle
Kloten (A51)	-0.19	x	x
Thayngen (J15)	0	x	x
Frauenfeld (A7)	0.30		x

Tab. 2: Ergänzende Messstellen

2.3. Messeinrichtung

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 dann zur Auswertung im PC eingelesen werden können. Die als Gehäuse der Messeinrichtung verwendeten Leitpfosten dienen zur Tarnung (vgl. Abb. 2). 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 einen Zeitgeber synchronisiert werden.

Die Übermittlung der Befehle an die Messpfosten erfolgt mit einem speziellen Steuergerät, das über die serielle Schnittstelle die entsprechenden Steuerbefehle sendet. Ausserdem sorgt es beim Start einer Messung für die zeitliche Synchronisation der Messpfosten untereinander. Das batteriebetriebene Steuergerät ist mit einer zweizeiligen, beleuchtbaren LCD-Anzeige ausgerüstet, auf dem der Benutzer sämtliche Informationen über den Zustand des Geräts und auch des jeweils angeschlossenen Messpfostens ablesen kann.

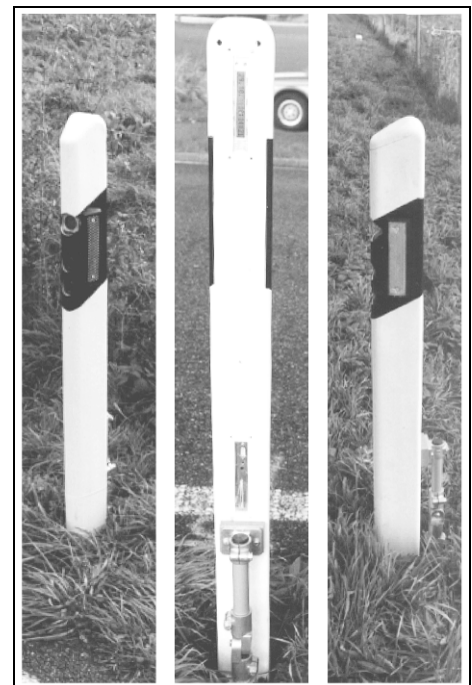


Abb. 2: Verschiedene Ansichten des Messpfostens

Zur Fahrzeugdetektion dienen zwei Paare von Infrarot (IR)-Sendern und -Empfängern, welche ununterbrochen die Fahrbahn überwachen, sowie ein Ultraschall-Distanzmesser, der auf dem Echolot-Prinzip basiert. Der Ultraschallsensor dient zur Distanzmessung der Querabstände vorbeifahrender Fahrzeuge². Die Messgenauigkeit ist bei den Geschwindigkeiten vergleichbar mit jener der Induktionsschlaufen. Entsprechende Untersuchungen wurden hierzu in [5] und [6] durchgeführt.

2.4. Fahrzeugarten

Bei der Auswertung der Messungen im Verkehrsablauf muss zwischen verschiedenen Fahrzeugkategorien unterschieden werden. Im Hinblick auf das fahrdynamische Verhalten in Steigungen und Gefällen steht dabei die Unterscheidung von im Vergleich zu den Personenwagen untermotorisierten „langsameren“ Fahr-

² Eine ausführliche Beschreibung der Messanlage ist in [10] enthalten.

zeugen im Vordergrund. Zu solchen gehören neben Lastwagen und Bussen auch Personenwagen mit Anhänger. Fahrzeuge für den Gütertransport bis 3,5 t Gesamtgewicht (Lieferwagen) zählen nicht dazu.

In vorliegender Untersuchung wird zwischen zwei Fahrzeuggruppen aufgrund der gemessenen Fahrzeuglänge unterschieden. Die Gruppe der Lastwagen (LW) umfasst alle Fahrzeuge mit einer Länge von mehr als 6,5 m. Zu dieser Gruppe gehören sämtliche schweren Lastwagen sowie Personen- und Lieferwagen mit Anhänger. Zur Gruppe der Personenwagen (PW, Fahrzeuglänge unter 6,5 m) werden sämtliche Personenwagen sowie alle Fahrzeuge für den Gütertransport mit einem Gesamtgewicht unter 3,5 t zugeordnet. Auf Grund des Wegfalls der Kontingentierung liegt das Interesse der Auswertung in diesem Forschungsauftrag jedoch nur in den Lastwagen.

2.5. Messanordnung und -durchführung

Die Anordnung der Messpfosten entlang der Neigungsstrecken richtete sich nach der jeweiligen Länge der Untersuchungsstrecke. Pro Messquerschnitt wurden jeweils zwei Messpfosten benötigt, welche 10 m vor bzw. nach dem eigentlichen Querschnitt aufgestellt wurden³. In Steigungsstrecken wurden zwischen 3 und 6 Messquerschnitte⁴, in Gefällsrichtung zwischen 1 bis 4 Messquerschnitte angeordnet, wobei in der Regel der erste Messquerschnitt die Zufahrtsgeschwindigkeit vor der Neigungsstrecke erfasste. Die restlichen Messquerschnitte wurden entlang der Untersuchungsstrecke so verteilt, dass zu Beginn der Neigung (nach Ende der Ausrundung), wo mit einer ausgeprägten Geschwindigkeitsänderung gerechnet werden kann, eine dichtere Anordnung erfolgte, als gegen Ende der Neigungsstrecke, wenn sich bereits eine entsprechende Dauergeschwindigkeit eingestellt hat. Die prinzipielle Anordnung der Messpfosten (als Beispiel eine Messung in Steigungsrichtung) ist in Abb. 3 dargestellt. Die Lage der einzelnen Messquerschnitte auf den Untersuchungsstrecken ist aus dem Anhang 1 (Beilagen 1.1 – 1.15) ersichtlich.

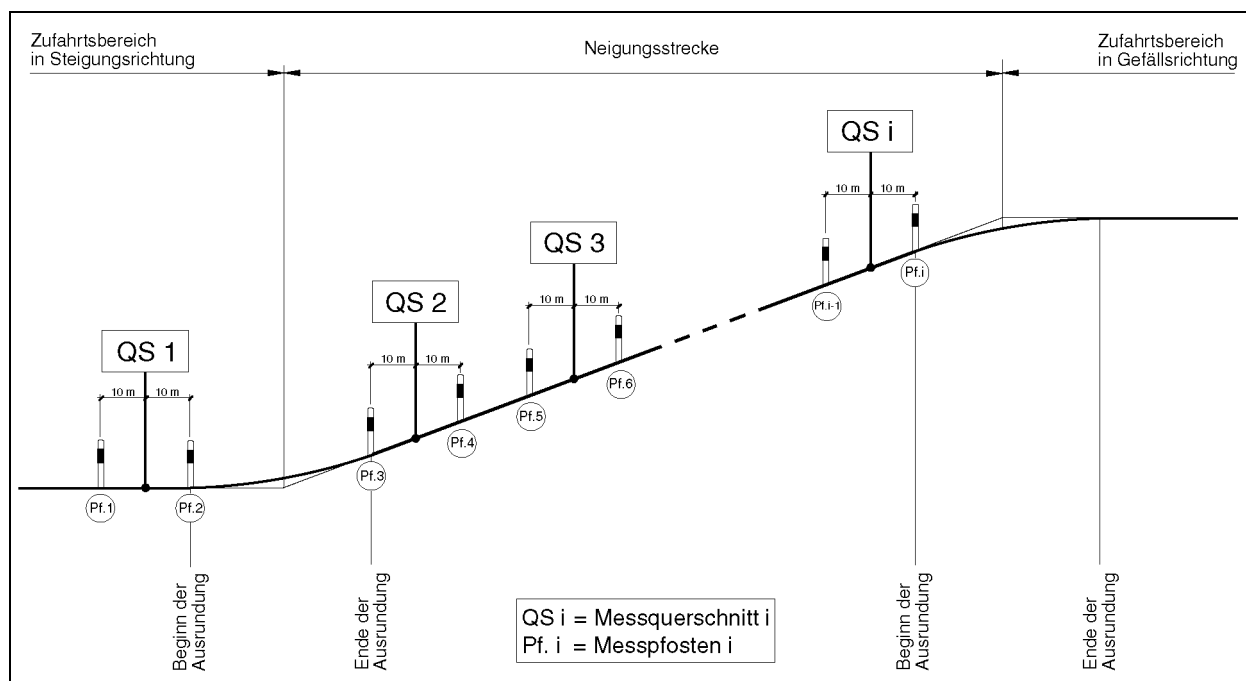


Abb. 3: Prinzip der Messanordnung für Geschwindigkeitsmessungen in Steigungsrichtung

Für die Durchführung der Messung mussten im Feld zunächst die Messquerschnitte aufgrund von Planunterlagen und der vor Ort vorhandenen Fixpunkte abgesteckt und dauerhaft mit Bolzen und Farbe markiert werden. Anschliessend wurde - vom jeweiligen Messquerschnitt ausgehend - die Lage der beiden

³ Vereinzelt wurden pro Messquerschnitt 3 Messpfosten verwendet (bei -10m, 0m, +10m), um die Zuverlässigkeit der Messung zu erhöhen.

⁴ Eine Ausnahme bildet die Messung auf der Südrampe des San Bernardino (Messstrecke Nr. 14, vgl. Tab. 1) mit nur einem Messquerschnitt.

Messpfosten (10 m vor bzw. nach dem Messquerschnitt) genau festgelegt und ebenfalls markiert. Die Absteckungsarbeiten wurden in der Regel vorgängig, anlässlich der Streckenbesichtigung durchgeführt.

Die Messungen für den Zustand „Vorher“ wurden in der Zeit von Juli bis Oktober 2002, diejenigen für den Zustand „Nachher“ zwischen Juli und Oktober 2009 durchgeführt. Sie fanden jeweils am Tag, bei trockener Fahrbahn und ausserhalb der Morgen- und Abendspitze statt. Nach dem Aufstellen der Messeinrichtung wurden die einzelnen Messpfosten mit dem Steuergerät aufgestartet, auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft und anschliessend per Zeituhr auf einen vorgängig eingestellten Messbeginn programmiert. Die entlang der Messstrecke vorhandenen Leitpfosten wurden für die Messdauer so entfernt, dass keine auffällige Massierung der Leiteinrichtungen auftrat.

Die Messdaten der Speicherkarten der einzelnen Messpfosten wurden nach der Rückkehr im Büro im Computer ausgelesen. Anschliessend standen die Speicherkarten für einen weiteren Messeinsatz wieder zur Verfügung. Nach jedem Messeinsatz mussten auch die Akkus der einzelnen Messpfosten aufgeladen werden.

Insgesamt wurden mehrere tausend Fahrzeuge erfasst. Die Anzahl der pro Querschnitt und Messrichtung erfassten Fahrzeuge betrug zwischen ca. 500 und 4'000. Von dieser Gesamtmenge konnten pro Messung als *ungehindert* fahrende Lastwagen ca. 100 bis 600 Fahrzeuge auf HLS und ca. 60 bis 100 Fahrzeuge auf den übrigen Strassen ausgewertet werden.

2.6. Durchgeführte Auswertungen

Das für die Messpfosten entwickelte EDV-Programmsystem erlaubt eine Vielzahl von Auswertungen. Neben den Berechnungen der statistischen Kennwerte können auch Geschwindigkeitsverläufe entlang der Messpfosten berechnet werden. Dies bedingt jedoch eine gleichmässige Verteilung der Messpfosten entlang der Messstrecke in Abständen von maximal 80 bis 100 m. Bei grösseren Abständen ist die Fahrzeugzuordnung nicht mehr gewährleistet.

Bei den vorliegenden Untersuchungsstrecken lagen die Querschnitte in der Regel mehr als die „verträglichen“ 80 bis 100 m voneinander entfernt, so dass eine Verfolgung der Fahrzeuge über die gesamte Messstrecke und damit die Berechnung des Geschwindigkeitsverlaufs mit diesem Programm nicht opportun war. Aus diesem Grund musste jeder Messquerschnitt bestehend aus mindestens zwei Messpfosten separat ausgewertet werden. Anschliessend erfolgte die Berechnung und Darstellung der Geschwindigkeitsverläufe für mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel (vgl. Beispiel in Abb. 4).

Für jeden Messquerschnitt liessen sich die üblichen statistischen Geschwindigkeitswerte $V_{5\%}$, $V_{15\%}$, $V_{50\%}$, $V_{85\%}$, $V_{95\%}$, V_m und s berechnen. Die Standardabweichung s wurde nach folgender Beziehung ermittelt:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V_m)^2}{n - 1}}$$

- V_i = Einzelwert der quasi lokalen Geschwindigkeiten
- V_m = arithmetisches Mittel aller Einzelgeschwindigkeiten
- n = Anzahl Messwerte

Die Zuordnung der Fahrzeuge erfolgte anhand der gemessenen Länge. Um Fehlzusammenordnungen ausschliessen zu können, wurde der untere Schwellenwert für LW von den üblichen 6.0 m Länge auf 6.5 m erhöht.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Auswertung der Geschwindigkeitsverläufe und -verteilungen für eine Messstrecke.

Strecke: 2 Tenniken - Diegten (TeDi)
Steigungsrichtung

 Neigung bei QS: 0.50% 2.70% 2.70% 2.70% 2.70%
 Distanz zu Nullpunkt: 0 950 1945 2273 3387

Personenwagen (t = 4 sec.)

Querschnitt:	QS1	QS2	QS3	QS4	QS5
V-Bereich:	80 - 150	80 - 150	80 - 150	80 - 150	80 - 150
Dist.-Bereich	50 - 600	60 - 600	50 - 550	50 - 550	50 - 650
Anzahl Fz.:	469	417	354	461	750
V_m	102.2	104.2	102.6	105.6	108.2
Stab.	11.2	13.0	14.1	12.2	11.2
V_{05}	83.0	83.0	82.0	84.0	87.0
V_{15}	87.0	87.0	86.0	92.0	96.0
V_{50}	107.0	107.0	103.0	106.0	109.0
V_{85}	114.0	117.0	116.0	118.0	119.0
V_{95}	117.0	124.0	127.0	124.0	124.0

Lastwagen (t = 4 sec.)

Querschnitt:	QS1	QS2	QS3	QS4	QS5
V-Bereich:	70 - 135	65 - 130	60 - 120	55 - 120	55 - 120
Dist.-Bereich	50 - 600	60 - 600	50 - 550	50 - 550	50 - 650
Anzahl Fz.:	432	451	343	495	491
V_m	88.4	87.7	89.6	87.7	86.4
Stab.	8.7	8.3	12.9	11.9	10.2
V_{05}	76.0	76.0	71.0	70.0	71.0
V_{15}	82.0	82.0	78.0	77.0	77.0
V_{50}	87.0	87.0	86.0	87.0	87.0
V_{85}	95.0	91.0	105.0	99.0	93.0
V_{95}	105.0	102.0	114.0	112.0	104.0

Festgelegte V-dauer

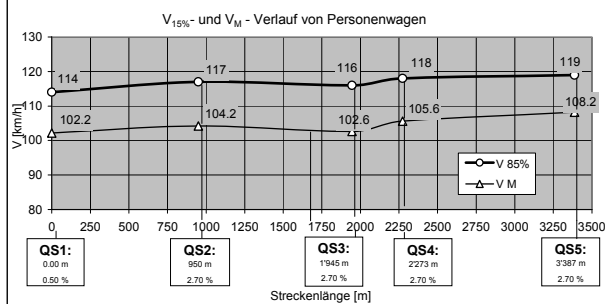
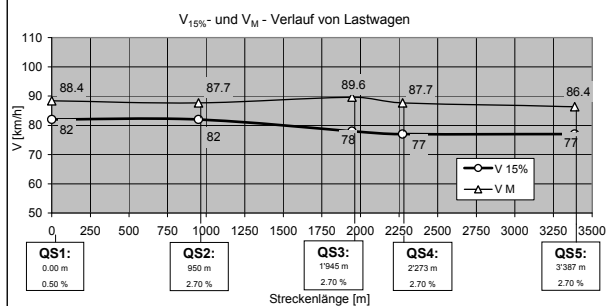

Tenniken - Diegten, Steigungsrichtung (2009)

Tenniken - Diegten, Steigungsrichtung (2009)


Abb. 4: Beispiel einer Geschwindigkeitsauswertung für die Messstrecke 2

3. ERGEBNISSE DER GESCHWINDIGKEITSMESSUNGEN

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen beschrieben. Sie basieren auf den Grunddaten, welche in Anhang 1 (Beilagen 1.1 – 1.39) zusammengestellt sind. Ausgewertet und verglichen wurden die statistischen Kennwerte $V_{15\%}$ und $V_{85\%}$, ihre Differenzen sowie die mittlere Geschwindigkeiten und Standardabweichungen. Bei den nachfolgenden Ergebnissen handelt es sich um die Geschwindigkeitswerte der ungehindert fahrenden Lastwagen.

3.1. Ungehindert fahrende Fahrzeuge

Die Projektierungsnormen für den Entwurf der Linienführung basieren sowohl im In- als auch im Ausland grundsätzlich auf Geschwindigkeiten von sogenannt frei- oder ungehindert fahrenden Fahrzeugen. Mit dieser Betrachtungsweise sollen die Verkehrseinflüsse auf die Geschwindigkeitswahl ausgeschlossen werden. Die Festlegung eines solchen Teilkollektivs von Fahrzeugenkern erfolgt üblicherweise mit Hilfe von Zeitlücken (t) zwischen den Fahrzeugen. Wird ein bestimmter Wert des zeitlichen Abstands eines Fahrzeuges zum vorausfahrenden Fahrzeug („Frontzeitlücke“) überschritten, so wird davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeit des nachfolgenden Fahrzeugs nur noch durch die geometrischen Gegebenheiten des Strassenabschnitts und durch die zulässige Höchstgeschwindigkeit beeinflusst wird.

In Anlehnung an frühere Forschungsarbeiten, in welchen sich die Frage der Zeitlückengrösse für die Abgrenzung von frei fahrenden Fahrzeuge ebenfalls gestellt hat, wird hier auf eine neuerliche Untersuchung des Einflusses der Zeitlücken auf die Geschwindigkeiten verzichtet. Aufgrund der in [1] und [2] gewonnenen Erkenntnisse werden die *ungehindert fahrenden Fahrzeuge* in dieser Untersuchung ebenfalls *mit einer Zeitlücke von ≥ 4 Sekunden charakterisiert*. Dieser Wert wurde auch für die Fahrzeugkategorie Lastwagen (LW) verwendet.

3.2. Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$

3.2.1. Einleitung

Zur Beurteilung der Homogenität bzw. der Streuung der Geschwindigkeiten an einem Messquerschnitt dienen die Geschwindigkeitsverteilungen. Aus diesen lassen sich die verschiedenen statistische Kennwerte wie z.B. die $V_{15\%}$, $V_{50\%}$ oder $V_{85\%}$ ermitteln. In der Projektierungspraxis sind vor allem die Geschwindigkeitswerte $V_{15\%}$ und $V_{85\%}$ von Bedeutung: Der $V_{15\%}$ -Wert umschreibt die Geschwindigkeit der Gruppe von langsam fahrenden Fahrzeugen (nur 15% der erfassten Fahrzeuge sind noch langsamer), der $V_{85\%}$ -Wert jene der Gruppe von schnell fahrenden Fahrzeugen (nur 15% der erfassten Fahrzeuge sind noch schneller). Der Unterschied dieser zwei Geschwindigkeitswerte (ΔV bzw. $V_{85\%} - V_{15\%}$) gibt auch Aufschluss über die Homogenität des Geschwindigkeitsverhaltens.

Für die vorliegende Untersuchung wurden die genannten Kennwerte auf allen Steigungs- und Gefällsstrecken ausgewertet. Sie beziehen sich jeweils auf den letzten Messquerschnitt der Neigungsstrecke in der Fahrtrichtung (vgl. dazu auch Anhang 1).

3.2.2. Vergleich der Ergebnisse von 2009 und 2002

Die Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) der Lastwagen, welche im Zustand „Nachher“ im Jahr 2009 erhoben wurden, sind je Untersuchungsstrecke in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt und den entsprechenden Werten aus Messungen des Jahres 2002 („vorher“) gegenübergestellt.

Untersuchungsstrecke		Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) in km/h													
		in Steigungsrichtung							in Gefällsrichtung						
		Neigung	2009			2002			Neigung	2009			2002		
			$V_{85\%}$	$V_{15\%}$	ΔV	ΔV	$V_{85\%}$	$V_{15\%}$		$V_{85\%}$	$V_{15\%}$	ΔV	ΔV	$V_{85\%}$	$V_{15\%}$
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7 %	93	77	16	21	94	73	—	—	—	—	—	—	—
20	Buochs – Beckenried	3.4 %	88	71	17	—	—	—	- 3.4 %	99	83	16	—	—	—
8	Amsteg – Wassen (A2)	4.9 %	73	43	30	24	66	42	- 4.9 %	84	73	11	—	—	—
10	Egerkingen – Belchen S. (A2)	5.0 %	86	54	32	37	85	48	- 5.0 %	95	83	12	25	98	73
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0 %	74	43	31	26	73	47	- 6.0 %	84	64	20	15	76	61
14	Mesocco – S. Bernardino	6.0 %	74	38	36	29	68	39	- 6.0 %	72	55	17	14	65	51
15	Regensdorf – Zürich	6.1 %	70	49	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15a	Regensdorf – Zürich	6.5 %	70	49	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	Pfäffikon – Schindellegi	7.1 %	74	42	32	—	—	—	- 7.1 %	86	66	20	—	—	—
19	Densbüren – Staffelegg	9.5 %	62	34	28	26	57	31	- 9.5 %	74	54	20	19	78	59
Mittlere ΔV vergleichbarer Strecken					28.9	27.2						17.3	18.3		

Tab. 3: Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) von LW am Ende der Neigungsstrecke zwischen den Zuständen 2002 und 2009

Aus der Zusammenstellung in Tab. 3 lassen sich folgende Erkenntnisse gewinnen:

- *Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) in Steigungsrichtung*

Die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV zwischen den schnellen Lastwagen ($V_{85\%}$) und den langsamen Lastwagen ($V_{15\%}$) liegen 2009 für die Steigungsrichtung im Bereich von 16 bis 36 km/h, ein Zusammenhang mit der Grösse der Steigung ist dabei nicht ersichtlich. Bei Messungen 2002 lagen die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV zwischen 21 und 37 km/h. Die grösste Veränderung der ΔV zwischen 2002 und 2009 ergab sich bei der Strecke Nr. 14 (Zunahme von 29 auf 36 km/h).

Werden nur die 6 direkt vergleichbaren Strecken, also jene bei welchen sowohl 2002 als auch 2009 Messungen durchgeführt wurden, betrachtet, so zeigen sich 2009 bei 4 Messquerschnitten grössere Differenzen ΔV , bei zwei Messquerschnitten kleinere Differenzen ΔV als im Jahr 2002. Dementsprechend hat sich der Mittelwert der Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV bei den 6 vergleichbaren Strecken von 27.2 km/h (2002) auf 28.9 km/h erhöht.

Die Differenzen der Lastwagengeschwindigkeiten $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) am Ende der Steigungsstrecke hat sich also im Zustand 2009 gegenüber jener im Zustand 2002 insgesamt vergrössert.

- *Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) in Gefällsrichtung*

Für die Gefällsrichtung liegen die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV zwischen den schnellen Lastwagen ($V_{85\%}$) und den langsamen Lastwagen ($V_{15\%}$) 2009 im Bereich von 11 bis 20 km/h. Bei Messungen 2002 lagen die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV zwischen 14 und 25 km/h. Auch hier zeigt sich kein Zusammenhang mit der Grösse des Gefälles. Die grösste Veränderung der ΔV zwischen 2002 und 2009 ergab sich bei der Strecke Nr. 10 (Abnahme von 25 auf 12 km/h⁵).

Werden nur die 4 direkt vergleichbaren Strecken betrachtet, so zeigen sich 2009 bei 3 Messquerschnitten grössere Differenzen ΔV , bei einem Messquerschnitt eine kleinere Differenz ΔV als im Jahr 2002. Dennoch hat sich der Mittelwert der Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV bei den 4 vergleichbaren Strecken von 18.3 km/h (2002) auf 17.3 km/h verringert. Dies ist die Folge der starken Veränderung bei Messstrecke Nr. 10⁵.

⁵ Zu dieser starken Veränderung vgl. Bemerkung am Ende von Abschnitt 3.4.

3.3. Mittlere Geschwindigkeiten und Standardabweichungen

Das Geschwindigkeitsniveau wird üblicherweise mit der mittleren Geschwindigkeit (V_M) umschrieben. Zur Umschreibung der Streuung um diesen Mittelwert verwendet man die Standardabweichung (s), vgl. auch 2.6.

Die im folgenden betrachteten mittleren Geschwindigkeiten V_M und deren Standardabweichungen s wurden für den jeweils letzten Messquerschnitt der Neigungsstrecke ermittelt und sind in Tab. 4 zusammengestellt. Die Differenzen ΔV_M und Δs beziehen sich auf den direkten Vergleich zwischen den Zuständen „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009).

Untersuchungsstrecke		Mittlere Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichung s in km/h													
		in Steigungsrichtung							in Gefällsrichtung						
		Neigung (%)	2009		2002		Veränderung gegenüber 2002		Neigung (%)	2009		2002		Veränderung gegenüber 2002	
			V_M	s	V_M	s	ΔV_M	Δs		V_M	s	V_M	s	ΔV_M	Δs
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7	86.4	10.2	83.4	11.7	3.0	-1.5	—	—	—	—	—	—	—
20	Buochs - Beckenried	3.4	80.9	10.9	—	—	—	—	-3.4	90.6	8.5	—	—	—	—
8	Amsteg – Wassen (A2)	4.9	57.9	13.9	53.7	11.5	4.2	2.4	-4.9	82.1	6.7	—	—	—	—
10	Egerkingen – Belchen	5.0	72.0	14.3	67.4	16.4	4.6	-2.1	-5.0	89.4	6.7	85.6	11.7	3.8	-5.0
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0	58.6	14.6	60.8	12.2	-2.2	2.4	-6.0	73.0	10.5	68.9	8.5	4.1	2.0
14	Mesocco – S. Bernardino	6.0	54.9	16.0	54.2	17.0	0.7	-1.0	-6.0	63.9	10.6	57.4	7.1	6.5	3.5
15	Regensdorf - Zürich	6.1	58.6	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15a	Regensdorf – Zürich	6.5	60.0	11.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	Pfäffikon – Schindellegi	7.1	61.0	14.2	—	—	—	—	-7.1	75.8	10.1	—	—	—	—
19	Densbüren – Staffelegg	9.5	49.8	12.6	44.3	12.1	5.5	0.5	-9.5	65.5	13.2	67.6	9.5	-2.1	3.7
V_M - Mittel vergleichbarer Strecken			63.3	13.6	60.6	13.5	2.7	0.1		73.0	10.3	69.9	9.2	3.1	1.1

Tab. 4: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von LW zwischen 2002 und 2009

Wie bereits für die Messergebnisse aus dem Jahr 2002 festgestellt wurde, zeigt sich auch bei den Erhebungen im Jahr 2009 eine relativ deutliche Abhängigkeit zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung. Sie ist in der Steigungsrichtung ausgeprägter als in der Gefällsrichtung (vgl. auch Kapitel 4).

- *Veränderung der mittleren Geschwindigkeiten*

Aus Tab. 4 ist ersichtlich, dass sich die mittleren Geschwindigkeiten V_M im Jahr 2009 sowohl in der Steigungs- wie auch in der Gefällsrichtung gegenüber dem Zustand 2002 erhöht haben. Der Unterschied beträgt im Mittel ca. 3 km/h. Aus der Gegenüberstellung der vergleichbarer Messquerschnitte ist zudem ersichtlich, dass sich die V_M bei 5 der 6 Steigungsstrecken um bis zu 5.5 km/h und bei 3 der 4 Gefällsstrecken um bis zu 6.5 km/h erhöht haben.

- *Veränderung der Standardabweichungen*

Bei den Standardabweichungen sind die Veränderungen uneinheitlich. In der Steigungsrichtung haben sie sich bei je 3 Strecken vergrößert bzw. verringert, sodass im Mittel der 6 vergleichbaren Strecken keine Veränderung resultiert. In der Gefällsrichtung resultiert in 3 der 4 vergleichbaren Strecken eine deutliche Erhöhung der Standardabweichungen. Die Ausnahme bildet die Strecke Nr. 10, wo sich die Standardabweichung fast halbiert hat (vgl. dazu Bemerkung am Ende von Abschnitt 3.4).

3.4. Dauergeschwindigkeiten

Als Dauergeschwindigkeit wird jener Geschwindigkeitswert am Ende einer ausreichend langen Neigungsstrecke bezeichnet. Sie ist die Mindestgeschwindigkeit von Lastwagen, die bei einer gegebenen Längsneigung erreicht werden kann. Im Vordergrund stehen dabei die Geschwindigkeitswerte der beladenen und somit langsamen Fahrzeuge. Zu diesem Zweck wird in Anlehnung an frühere Untersuchungen [1], [2], [4]

und im Sinne einer Konvention der Geschwindigkeitswert $V_{15\%}$ verwendet. Damit sollen bei der Normung ungünstige, jedoch nicht extreme Verhältnisse abgedeckt werden. Es wird angenommen, dass diese Geschwindigkeiten für beladene Lastwagen repräsentativ sind.

In Tab. 5 sind die $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten im jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke aus den Erhebungen im Zustand „Nachher“ (2009) und „Vorher“ (2002) zusammengestellt.

Wie bereits für die Ergebnisse von 2002 festgestellt wurde, zeigen auch die Erhebungen von 2009 eine Neigungsabhängigkeit. Eine deutliche Reduktion der Dauergeschwindigkeiten ($V_{15\%}$) tritt im Zustand 2009 erst bei Längsneigungen $\geq 5\%$ (Steigungsrichtung) bzw. $\geq -6\%$ (Gefällsrichtung) ein (vgl. auch Kapitel 4).

Untersuchungsstrecke		$V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in km/h							
		in Steigungsrichtung				in Gefällsrichtung			
		Neigung	2009	2002	ΔV	Neigung	2009	2002	ΔV
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7 %	73	73	0	—	—	—	—
20	Buochs – Beckenried (A2)	3.4 %	71	—	—	- 3.4 %	83	—	—
8	Amsteg – Wassen (A2)	4.9 %	43	42	1	- 4.9 %	72	—	—
10	Egerkingen – Belchen S.(A2)	5.0 %	54	48	6	- 5.0 %	83	73	10
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0 %	43	47	-4	- 6.0 %	64	61	3
14	Mesocco – S. Bernardino (A13)	6.0 %	38	39	-1	- 6.0 %	55	51	4
15	Regensdorf – Zürich	6.1 %	49	—	—	—	—	—	—
15a	Regensdorf – Zürich	6.5 %	49	—	—	—	—	—	—
17	Pfäffikon – Schindellegi	7.1 %	42	—	—	- 7.0 %	66	—	—
19	Densbüren – Staffelegg	9.5 %	34	31	3	- 9.5 %	54	59	- 5
Mittlere $V_{15\%}$ vergleichbarer Strecken			47.5	46.7	0.8		64	61	3

Tab. 5: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten ($V_{15\%}$) von LW zwischen 2009 und 2002

Die Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten ($V_{15\%}$) zwischen 2009 und 2002 ähneln jenen der mittleren Geschwindigkeiten

- $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in Steigungsrichtung

In der Steigungsrichtung haben sich die Dauergeschwindigkeiten 2009 bei 3 der 6 vergleichbaren Strecken um bis zu 6 km/h erhöht, bei 2 der Strecken um bis zu 4 km/h reduziert. Im Durchschnitt der vergleichbaren Strecken ergab sich nur eine geringe Veränderung (47.5 km/h in 2009, 46.7 km/h in 2002).

- $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten in Gefällsrichtung

In der Gefällsrichtung haben sich die Dauergeschwindigkeiten 2009 in der Regel erhöht (Ausnahme die Strecke Nr. 19).

Auffallend ist hier die *Strecke Nr. 10*, wo die Dauergeschwindigkeit am Ende der Gefällsstrecke im Jahr 2009 um ganze 10 km/h höher lag als im Jahr 2002. Bei dieser deutlichen Veränderung haben sich möglicherweise die Bauarbeiten an der Autobahn ausgewirkt: Auf der A2-Fahrbahn Basel - Zürich bzw. Bern im Raum Boelchen waren eine längere Zeit Baustellen stromaufwärts der Messstrecke eingerichtet, die den Verkehrsfluss stark behindert haben. Auf der anschliessenden Gefällsstrecke haben die Lastwagenlenker vermutlich versucht, den Zeitverlust durch erhöhte Fahrgeschwindigkeiten zu kompensieren.

3.5. Vergleich der Geschwindigkeitsverläufe

Abb. 5 zeigt die Verläufe der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeit von LW in Steigungen für Verzögerungsvorgänge. Eingetragen sind jene Steigungsstrecken, wo in den Jahren 2002 und 2009 gemessen wurde, sowie die neue Messstrecke Nr. 20 (A2, Buochs - Beckenried). Neben der Angabe der Nummer der Untersuchungsstrecke und dem Jahr der Erhebung ist dort auch die vorhandene Längsneigung ersichtlich (vgl. auch Anhang 1). Da sich die empirischen Verläufe innerhalb der ersten 2000 m Streckenlänge befinden, konnten einige der Geschwindigkeitsverläufe nicht dargestellt werden (z.B. für die Strecken Nr. 8 und 9 am Gotthard).

Aus dem Vergleich für die 4 Strecken, auf welchen Messungen sowohl 2002 als auch 2009 durchgeführt wurden ist ersichtlich, dass der distanzabhängige Geschwindigkeitsabfall in den Steigungen eine ähnliche Neigung aufweist.

Unterschiede bestehen jedoch in der Geschwindigkeitshöhe: Bei zwei Messstrecken liegen die Geschwindigkeiten 2009 höher als 2002 (Nr. 13, mit $i = 6.0\%$ und Nr. 19, mit $i = 9.5\%$), bei zwei Messstrecken liegen sie 2009 tiefer als 2002 (Nr. 2, mit $i = 2.7\%$ und Nr. 10, mit $i = 5.0\%$). Die Unterschiede betragen dabei bis zu 7 km/h. Die Gegenüberstellung zeigt auch, dass sich die Geschwindigkeiten 2009 in kleineren Steigungen (2.7 und 5.0 %) und auf Autobahnstrecken reduziert haben, während in grösseren Steigungen (6.0 und 9.5 %) und auf Strecken mit Gegenverkehr die Werte 2009 höher liegen als 2002.

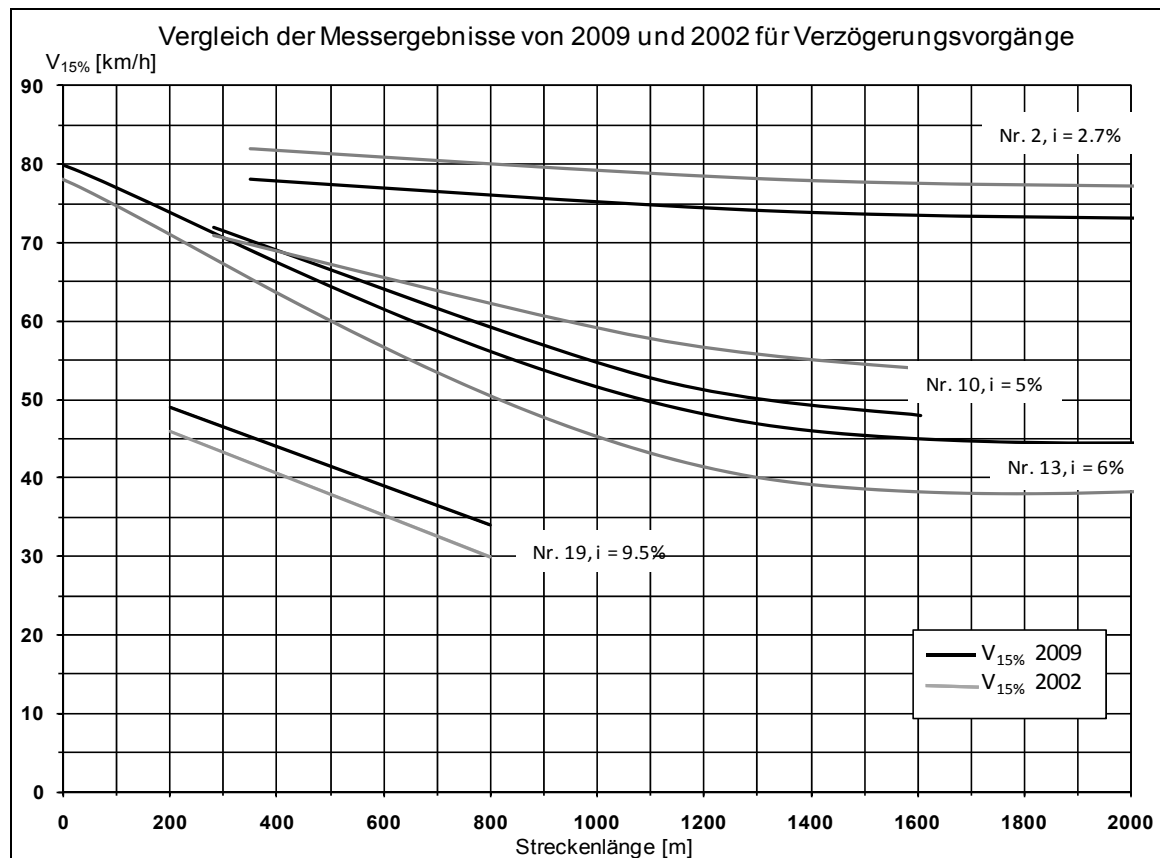


Abb. 5: Geschwindigkeitsverläufe von LW in Steigungen ($V_{15\%}$)

3.6. Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecke

Wie aus 3.5 ersichtlich, wird als Folge des Steigungswiderstandes die Anfangsgeschwindigkeit zu Beginn der Steigung mit zunehmender Länge der Steigungsstrecke reduziert. In Tab. 6 sind die Geschwindigkeiten von Lastwagen zu Beginn (V_B) der Steigungsstrecken (nach Beginn der Vertikalausrundung) und am Ende der Steigungsstrecken (V_E) für die Erhebungen im Zustand „Nachher“ (2009) zusammengestellt. Einbezogen wurden nur Messstrecken, bei welchen zu Beginn Anfahrvorgänge eindeutig ausgeschlossen werden konnten. Bei allen angegebenen Werten handelt es sich um $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten.

In Steigungsrichtung sind auf den Untersuchungsstrecken erwartungsgemäss fast ausschliesslich Verzögerungsvorgänge festzustellen. Einzig bei Strecke 13 ist bei einer Längsneigung von 6% eine leicht Beschleunigung feststellbar. Wie aus Anhang 1 (Beilage 1.7) ersichtlich, ist dies teilweise darauf zurückzuführen, dass die Längsneigung im letzten Messquerschnitt (QS 3) mit $i = 6.0\%$ leicht niedriger ist als am zu Beginn der Steigungsstrecke (QS 2 mit $i = 6.1\%$).

Die Geschwindigkeitsabnahmen (ΔV) der übrigen Steigungsstrecken betragen zwischen -5 und -17 km/h, wobei hier keine Neigungsabhängigkeit resultiert. Allerdings liegen hier unterschiedliche Anfangsge-

schwindigkeiten vor. Eine klare Neigungsabhängigkeit ist hingegen bei den Geschwindigkeiten am Ende der Steigungsstrecken ersichtlich.

Bei der einzigen Gefällsstrecke, in welcher ein Vergleich zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit angestellt werden kann (Nr. 17 mit $i = -7.0\%$) zeigt sich eine leichte Verzögerung (ΔV von -2.0 km/h).

Untersuchungsstrecken 2009		Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen ($V_{15\%}$)									
		<i>in Steigungsrichtung</i>					<i>in Gefällsrichtung</i>				
		Neigung	V_B	V_E	L [m]	ΔV	Neigung	V_B	V_E	L [m]	ΔV
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7 %	82.0	77.0	2437	-5.0	—	—	—	—	—
20	Buchs – Beckenried (A2)	3.4 %	84.0	71.0	733	-13.0	—	—	—	—	—
10	Egerkingen – Belchen Süd (A2)	5.0 %	71.0	54.0	1321	-17.0	—	—	—	—	—
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0 %	40.0	43.0	1840	3.0	—	—	—	—	—
17	Pfäffikon – Schindellegi (unten)	7.1 %	47.0	41.0	588	-6.0	-7.0%	68.0	66.0	300	-2.0
19	Densbüren – Staffelegg	9.5 %	49.0	34.0	380	-15.0	—	—	—	—	—

Tab. 6: Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken 2009

Analog zu Tab. 6 sind in Tab. 7 sind die Veränderungen der Geschwindigkeiten von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken für den Zustand 2002 [1] dargestellt.

Auch im Zustand „Vorher“ (2002) waren auf den Untersuchungsstrecken fast ausschliesslich Verzögerungsvorgänge festzustellen. Ausnahme bildete die bereits oben erwähnte Strecke Nr. 13. Die Geschwindigkeitsabnahmen (ΔV) der übrigen Steigungsstrecken betragen zwischen -5 und -24 km/h, sie liegen somit in der Grossenordnung der Erhebungen „Nachher“ (2009). Auch bei den Erhebungen 2002 zeigte sich eine klare Neigungsabhängigkeit bei den Geschwindigkeiten am Ende der Steigungsstrecken.

Bei den zwei Gefällsstrecken, in welchen ein Vergleich zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit angestellt werden kann, zeigt sich auf der Strecke Nr. 10 mit $i = -5.0\%$ eine deutliche Verzögerung (ΔV von -6.0 km/h). Die starke Beschleunigung auf der Gefällsstrecke Nr. 4 (ΔV von $+14.0$ km/h, bei $i = -3.7\%$) hängt einerseits mit der relativ kleinen Gefällsgrösse zusammen. Zudem befand sich gemäss [1] der erste Messquerschnitt (Geschwindigkeitswert V_B) unmittelbar nach dem Tunnelportal, wo noch die Geschwindigkeitsbeschränkung auf 80 km/h signalisiert war.

Untersuchungsstrecken 2002		Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen ($V_{15\%}$)									
		<i>in Steigungsrichtung</i>					<i>in Gefällsrichtung</i>				
		Neigung	V_B	V_E	L [m]	ΔV	Neigung	V_B	V_E	L [m]	ΔV
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7 %	78.0	73.0	1907	-5.0	—	—	—	—	—
4	Diegten – Belchen Nord (A2)	3.7 %	68.0	61.0	977	-7.0	-3.7 %	74.0	88.0	1194	14.0
10	Egerkingen – Belchen Süd (A2)	5.0 %	72.0	48.0	1321	-24.0	-5.0 %	79.0	73.0	1332	-6.0
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0 %	47.0	47.0	1840	0.0	—	—	—	—	—
19	Densbüren – Staffelegg	9.5 %	46.0	30.5	380	-15.5	—	—	—	—	—

Tab. 7: Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken 2002 [1]

In Tab. 8 sind die Geschwindigkeitswerte in den Zuständen 2002 und 2009 der 4 direkt vergleichbaren Steigungsstrecken (Nr. 2, 10, 13 und 19) gegenübergestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeitsveränderungen bei zwei Steigungsstrecken (Nr. 2 und 19) praktisch gleich gross sind. Bei der Strecke Nr. 10 hat sich die Geschwindigkeitsabnahme ΔV im Zustand 2009 um 7 km/h reduziert. Auf der Strecke 13, wo im Zustand 2009 eine leichte Beschleunigung um 3.0 km/h resultierte, war im Zustand 2002 keine Geschwindigkeitsveränderung feststellbar.

Untersuchungsstrecken		Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen ($V_{15\%}$) in Steigungsrichtung 2002 / 2009							
		Neigung	L [m]	2002			2009		
				V_B	V_E	ΔV	ΔV	V_B	V_E
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7 %	1907	78.0	73.0	-5.0	-5.0	82.0	77.0
10	Egerkingen – Belchen Süd (A2)	5.0 %	1321	72.0	48.0	-24.0	-17.0	71.0	54.0
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0 %	1840	47.0	47.0	0.0	3.0	40.0	43.0
19	Densbüren – Staffelegg	9.5 %	380	46.0	30.5	-15.5	-15.0	49.0	34.0

Tab. 8: Vergleich der Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken in den Zuständen 2002 [1] und 2009

4. ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN GESCHWINDIGKEIT UND LÄNGSNEIGUNG

4.1. Einleitung

Analog zu [1] werden in diesem Kapitel die Zusammenhänge zwischen den Dauergeschwindigkeiten von ungehindert fahrenden Lastwagen am Ende der Neigungsstrecke und der Grösse der Längsneigung untersucht. Zu diesem Zweck werden Regressionsberechnungen durchgeführt. Als Berechnungsgrundlage dienen in Anlehnung an die bisherigen Konventionen in [1] und [2] die $V_{15\%}$ -Werte im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung, wo davon ausgegangen werden kann, dass die Dauergeschwindigkeit V_D erreicht ist. Wie bereits erwähnt, ist die $V_{15\%}$ kennzeichnend für die innerhalb des Lastwagenkollektivs langsameren Fahrzeuge. Es wird angenommen, dass diese Geschwindigkeit für beladene Lastwagen repräsentativ ist.

Um den Neigungsbereich auch zwischen 0 und 2.5% in den Regressionsberechnungen zu berücksichtigen, wurden weitere Messquerschnitte einbezogen. Sie umfassen einerseits ausgewählte Messquerschnitten im Zufahrtbereich von Untersuchungsstrecken an Autobahnen, bei denen Einflüsse örtlich tieferer Tempolimits oder der horizontalen Linienführung ausgeschlossen werden können. Zudem wurden ergänzende Messungen auf geraden Streckenabschnitten mit geringer Längsneigung durchgeführt (vgl. 2.2). Die nachfolgende Tabelle zeigt eine Übersicht der für die Berechnungen einbezogenen zusätzlichen Messquerschnitte.

Untersuchungsstrecke		Zusätzliche Messquerschnitte zur Ergänzung der Stichprobe					
		in Steigungsrichtung			in Gefällsrichtung		
		Längsneigung im Zufahrtbereich	2009	2002	Längsneigung im Zufahrtbereich	2009	2002
2	Tenniken – Diegten (A2)	0.5 %	x	x	—	—	—
10	Egerkingen – Belchen Süd (A2)	1.5 %	x	x	- 2.5 %	—	x
13	Andeer – Sufers (A13)	0.0 %	x	x	—	—	—
20	Buochs – Beckenried (A2)	—	—	—	- 0.7 %	x	—
E	Kloten (A51)	—	x	—	- 0.19	x	—
E	Thayngen (J15)	0	x	—	—	x	—
E	Frauenfeld (A7)	0.3	x	—	—	x	—

Tab. 9: Zur Ergänzung der Stichprobe für die Regressionsberechnungen zusätzlich einbezogene Messquerschnitte im Zufahrtbereich und ergänzende Messungen (E)

4.2. Regressionsberechnungen 2009

Als Ansatz zur Überprüfung des Zusammenhangs $V_{15\%} = f(i)$ zwischen der Zufallsvariablen (Geschwindigkeit $V_{15\%}$) und der unabhängigen Variablen (Längsneigung i) wurden wie in [1] eine lineare Funktion sowie ein quadratisches Polynom verwendet. Die beiden Ansätze sind in ihrer allgemeinen Form nachfolgend angegeben.

Lineare Funktion:	
$V_{15\%} = a \cdot i + b$	mit Koeffizienten a und b ; i in Prozent
Quadratisches Polynom:	
$V_{15\%} = a \cdot i^2 + b \cdot i + c$	mit Koeffizienten a , b und c ; i in Prozent

Für die Messungen von 2009 wurden Regressionsberechnungen mit den $V_{15\%}$ -Werten im jeweils letzten Messquerschnitt in Fahrtrichtung durchgeführt, wobei zur Ergänzung der Stichprobe ausgewählte Messquerschnitte im Zufahrtbereich und ergänzende Messungen im Steigungsbereich um $i = 0\%$ miteinbezogen wurden (vgl. Tab. 9). Die Ergebnisse für die beiden Ansätze sind nachfolgend in Tab. 10 zusammengestellt. Für die Beurteilung der Anpassungsgüte an die Beobachtungswerte wird der Korrelationskoeffizient r

verwendet. Die in den folgenden Abbildungen dargestellten Regressionsformeln beinhalten auch die Angabe des Bestimmtheitsmasses R^2 . Der Korrelationskoeffizient r berechnet sich aus der Wurzel von R^2 .

Ansatz	Resultierende Funktion	r
Lineare Funktion	<i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = -5.6479 \cdot i + 81.577$	0.9198
	<i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = -2.7512 \cdot i + 83.234$	0.7158
Quadratisches Polynom	<i>in Steigungsrichtung</i> $V_D = 0.0707 \cdot i^2 - 6.2368 \cdot i + 82.2641$	0.9204
	<i>in Gefällsrichtung</i> $V_D = -0.3596 \cdot i^2 + 0.2648 \cdot i + 80.1961$	0.7718

Tab. 10: Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (2009)

Aus den Berechnungen geht hervor, dass für die *Steigungsrichtung* bei beiden Ansätzen ein starker Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung gegeben ist, was mit einem Korrelationskoeffizienten $r > 0.9$ deutlich zum Ausdruck kommt. Für die *Gefällsrichtung* ist der Zusammenhang mit $r \sim 0.7$ statistisch eher schwach abgesichert. In beiden Fällen resultiert aus der Annäherung mit dem quadratischen Ansatz eine leicht bessere Korrelation als aus der linearen Funktion. Für die weiteren Betrachtungen werden deshalb sowohl in Steigungs- als auch in Gefällsrichtung die *quadratischen Ansätze* verwendet.

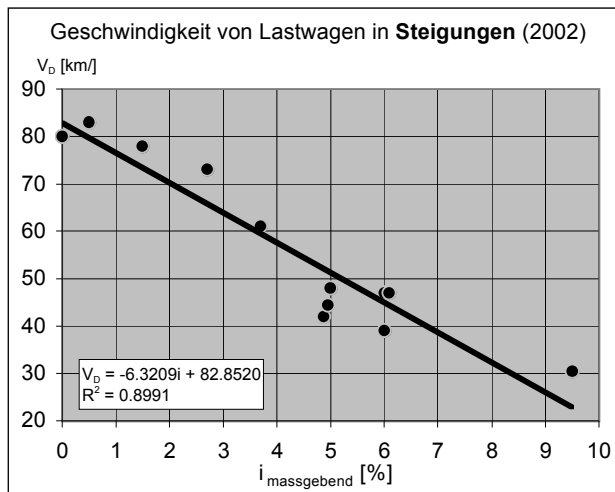
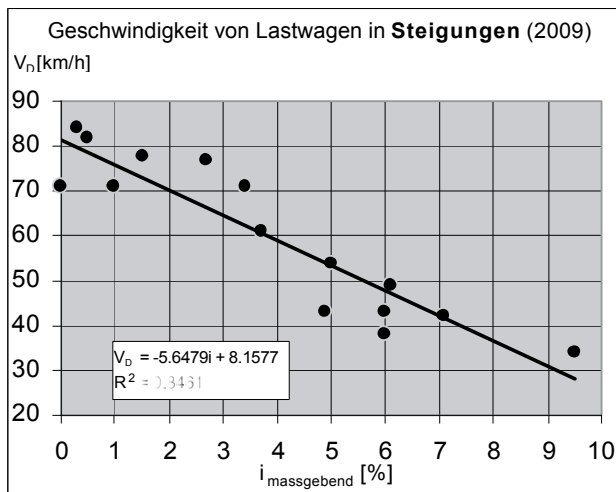
4.3. Vergleich der Regressionen in Steigungsrichtung 2009 und 2002

In Abb. 6 sind links die Resultate der Regressionsberechnung für 2009 (Nachher) und rechts jene von 2002 (Vorher) dargestellt. Dabei befinden sich die Ergebnisse des linearen Ansatzes in der oberen Hälfte, jene des quadratischen Ansatzes in der unteren Hälfte. Wie in 4.2 erwähnt, werden die Vergleiche auf Basis der quadratischen Ansätze vorgenommen.

Aus dem Vergleich der quadratischen Ansätze zwischen den Zuständen 2009 und 2002 [1] ist ersichtlich:

- Wie bereits bei den Erhebungen aus dem Jahr 2002 festgestellt, nehmen im Neigungsbereich von 0 bis 9.5% die Dauergeschwindigkeiten V_D von Lastwagen in der Steigungsrichtung auch 2009 deutlich ab. Die Abnahme betrug 2002 ca. 57.5 km/h, 2009 ist sie mit ca. 54 leicht kleiner.
- Die Abnahme der Dauergeschwindigkeit V_D verläuft 2009 – trotz quadratischem Ansatz – praktisch linear, während 2002 ein konkaver Verlauf resultierte.
- Die Anpassungsgüte ist 2009 etwas schlechter als 2002 (2009: $R^2 = 0.8472$, 2002: $R^2 = 0.9198$). Dies ist vor allem auf die grössere Streuung der Messwerte im Neigungsbereich zwischen 0% und ca. 3% zurückzuführen. Dennoch resultiert auch 2009 ein starker Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung (Korrelationskoeffizient $r > 0.9$).

Ergebnisse der Regressionsberechnungen in Steigungen nach linearem Ansatz für Lastwagen



Ergebnisse der Regressionsberechnungen in Steigungen nach quadratischem Ansatz für Lastwagen

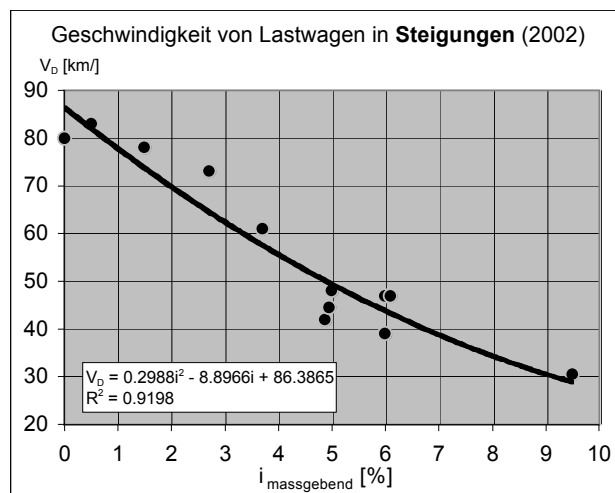
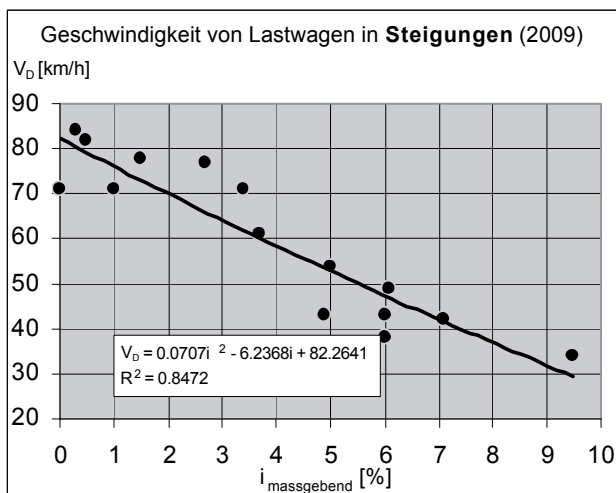


Abb. 6: Vergleich zwischen Dauergeschwindigkeit in Steigungen von Lastwagen von 2009 (links) und 2002 (rechts) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)

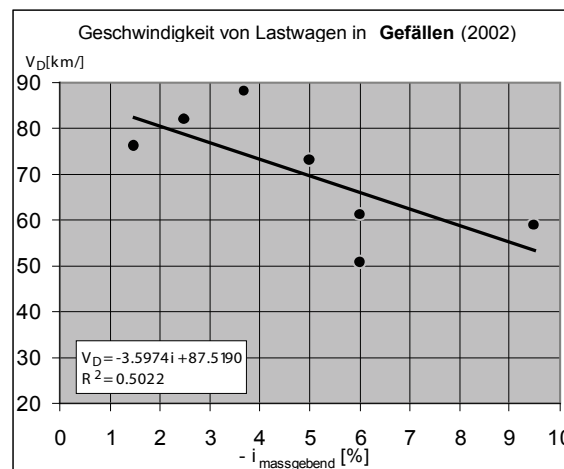
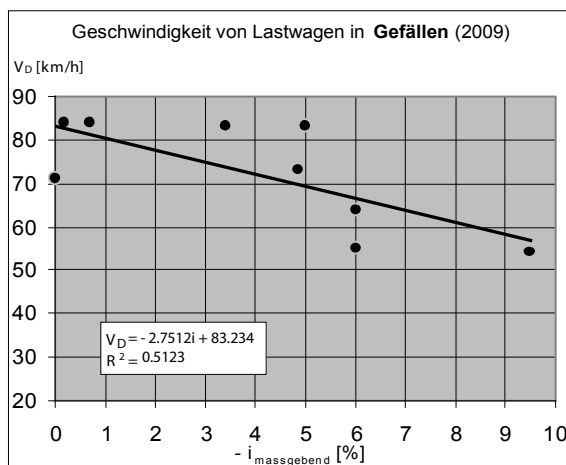
4.4. Vergleich der Regressionen in Gefällsrichtung 2009 und 2002

Analog zu 4.3 sind in Abb. 7 links die Resultate der Regressionsberechnung in Gefällsrichtung für 2009 (Nachher) und rechts jene von 2002 (Vorher) dargestellt.

Aus dem Vergleich der quadratischen Ansätze zwischen den Zuständen 2009 und 2002 [1] ist ersichtlich:

- Auch in der Gefällsrichtung nehmen im Neigungsbereich von 0 bis -9.5% die Dauergeschwindigkeiten V_D von Lastwagen in beiden Zuständen ab. Die Abnahme ist im Vergleich zur Steigungsrichtung deutlich kleiner. Sie betrug 2002 ca. 28.5 km/h, 2009 ist sie mit ca. 30 leicht grösser.
- Die Abnahme der Dauergeschwindigkeit verläuft 2009 konvex, während sie 2002 noch einen konkaven Verlauf hatte. Diese Änderung ist weitgehend die Folge der 2002 fehlenden Messpunkte im Neigungsbereich zwischen 0% und ca. 1%.
- Die Anpassungsgüte der Regressionskurven für die Gefällsrichtung ist in beiden Zuständen schlechter als jene in der Steigungsrichtung. Der Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung ist somit in der Gefällsrichtung weniger ausgeprägt als in der Steigungsrichtung. Die Korrelationskoeffizienten sind mit $r > 0.77$ (2009) bzw. $r > 0.72$ (2002) deutlich kleiner als für den Regressionszusammenhang in der Steigungsrichtung ($r > 0.9$).

Ergebnisse der Regressionsberechnungen im Gefälle nach linearem Ansatz für Lastwagen



Ergebnisse der Regressionsberechnung im Gefälle nach quadratischem Ansatz für Lastwagen

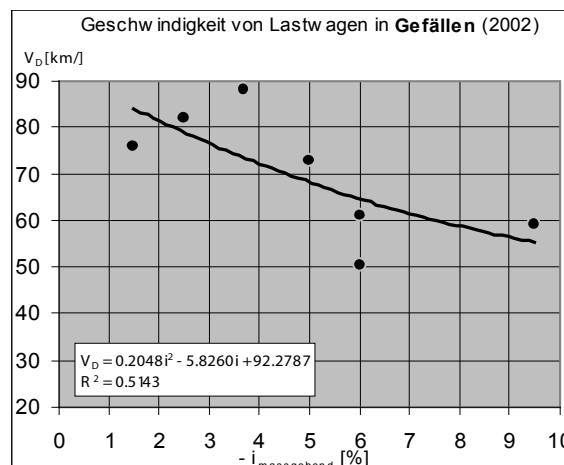
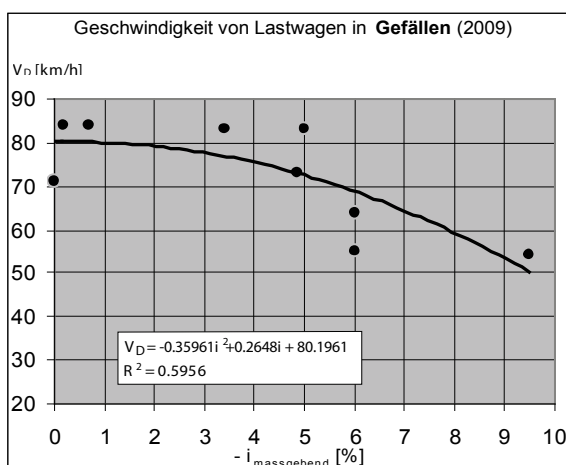


Abb. 7: Vergleich zwischen Dauergeschwindigkeit im Gefälle von Lastwagen von 2009 (links) und 2002 (rechts) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten)

4.5. Vergleich der diskreten Regressionswerte

Auf Basis der Regressionsgleichungen mit dem quadratischen Ansatz wurden wie in [1] die diskreten Werte der Dauergeschwindigkeiten V_D für die Längsneigungen zwischen 0 und 10 % ermittelt. Sie sind in Tab. 11 für die beiden Zustände „Nachher“ (2009) und „Vorher“ (2002) und für beide Fahrtrichtungen (Steigung / Gefälle) zusammengestellt. Die Werte in Klammern liegen ausserhalb des Neigungsbereichs, der durch die Messstrecken abgedeckt war. Angegeben sind auch die Differenzen der Dauergeschwindigkeiten (ΔV_D) zwischen den Zuständen 2009 und 2002.

Aus der Gegenüberstellung ist ersichtlich, dass die Differenzen der Dauergeschwindigkeiten relativ klein sind. In Bereich der Längsneigungen zwischen 1 und 9 % liegen sie in Steigungen zwischen -3.2 und 3.6 km/h, in Gefällen zwischen -2.7 und 3.8 km/h. Im Mittel haben sich die Dauergeschwindigkeiten von frei fahrenden Lastwagen ($V_{15\%}$) im Zustand 2009 in gegenüber jenem in 2002 in der Steigungsrichtung um ~1.4 km/h, in der Gefällsrichtung um ~1.0 km/h erhöht.

Richtung	i [%]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Steigung	V_D 2009 [km/h]	80.3	74.6	68.9	63.4	58.0	52.6	47.4	42.2	37.1	32.1	(27.2)
	V_D 2002 [km/h]	86.4	77.8	69.8	62.4	55.6	49.4	43.8	38.8	34.3	30.5	(27.3)
	ΔV_D [km/h]	-4.1	-3.2	-0.9	1	2.4	3.2	3.6	3.4	2.8	1.6	(-0.1)
Gefälle	V_D 2009 [km/h]	86.9	84.6	82.0	79.1	75.8	72.1	68.0	63.6	58.8	53.7	(48.2)
	V_D 2002 [km/h]	(92.3)	(86.7)	81.4	76.6	72.3	68.3	64.7	61.5	58.8	56.4	(54.5)
	ΔV_D [km/h]	(-12.1)	-2.1	0.6	2.5	3.5	3.8	3.3	2.1	0	-2.7	(-6.3)

Tab. 11: Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen im Zustand „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009)

Die angesprochenen relativ kleinen Unterschiede der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen zwischen 2009 und 2002 sind auch aus Abb. 8, in welcher die Ergebnisse der Tab. 11 graphisch dargestellt sind, ersichtlich.

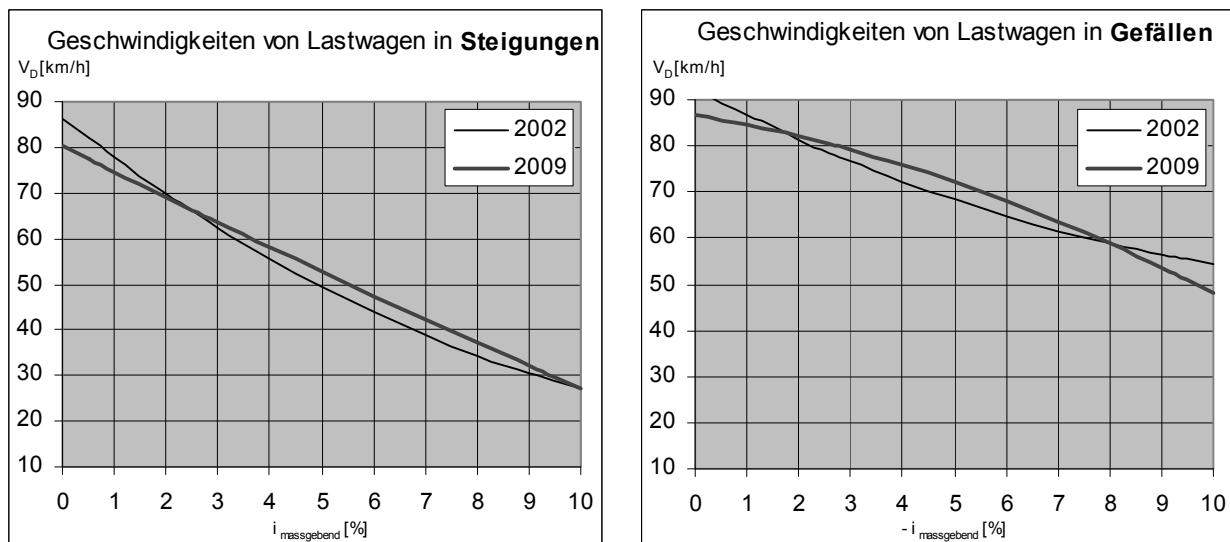


Abb. 8: Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) im Zustand „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009)

4.6. Statistische Überprüfung

Wie aus den Kapiteln 3 und 4 ersichtlich, ergaben sich aus dem Vergleich der Zustände „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) relativ kleine Veränderungen. Im folgenden wird deshalb untersucht, ob sich die Ergebnisse der Regressionsberechnung von 2009 und 2002 für die massgebende Steigungsrichtung statistisch signifikant voneinander unterscheiden.

Hierfür wurden zum einen die Datensätze der Dauergeschwindigkeit (V_D), die anhand des quadratischen Regressionsmodells ermittelt wurden, mittels F-Test miteinander verglichen. Zum andern wurden die diskreten Geschwindigkeitswerte (vgl. Tab. 11) von 2009 und 2002, berechnet an Hand der Regressionsgleichungen gemäss 4.3, miteinander korreliert. Dabei wurden die Werte in Tab. 11 für den Steigungsbereich $i=0\%$ bis $i=10\%$ in 0.5%-Schritte unterteilt.

Für die beiden genannten Methoden wurde der Statistikpaket OriginLab eingesetzt.

Für den Vergleich der V_D -Werte von 2009 und 2002 wurde der selbe Ansatz wie in Abschnitt 4.2 verwendet. Die exakten Regressionsgleichungen für die Zustände von 2009 und 2002 sind dem Abschnitt 4.3 (vgl. Abb. 6) zu entnehmen. Der Vergleich beider Modelle wurde mit Hilfe des F-Tests durchgeführt.

• F-Test

Beim F-Test handelt es sich um einen statistischen Vergleich zweier Varianzen s_1^2 und s_2^2 aus normalverteilten Grundgesamtheiten. Als Voraussetzung für den Test müssen folgende zwei Aspekte erfüllt sein:

- Unabhängigkeit der Stichproben (Stichprobenumfänge n_1, n_2)
- Stichproben stammen aus normalverteilter Grundgesamtheit

Der F-Test zweier Stichproben prüft, ob die Nullhypothese $s_1^2 = s_2^2$ (gleiche Varianzen) erfüllt ist. Ist die Bedingung nicht erfüllt, so unterscheiden sich beide Stichproben um das gewählte Signifikanzniveau von einander.

Zur Prüfung der Nullhypothese wird zuerst die Testgrösse $F = s_1^2 / s_2^2$ 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.

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 nach diesen Kriterien berechnete p-Wert bezieht sich entsprechend auf die einseitige Fragestellung $s_1^2 > s_2^2$. Aufgrund der Stichprobenumfänge und der damit verbundenen Teststärke wurde zur Beurteilung des statistischen Tests das Signifikanzniveau $\alpha = 0.05$ (5% Irrtumswahrscheinlichkeit) gewählt.

Die Berechnung ergab einen Wert von $F = 0.43601$ und da die Wahrscheinlichkeit $p > F$ ist ($p = 0.72952$), zeigt sich, dass die beiden untersuchten Datensätze bei einem Signifikanzniveau von 0.05 nicht statistisch unterschiedlich sind. Somit ist auch der Unterschied zwischen den beiden Regressionskurven nicht signifikant.

• Korrelation

Der Korrelationskoeffizient r zwischen den beiden Geschwindigkeitskurven (V_D - 2009 und V_D - 2002) in Steigungsrichtung beträgt $r = 0.994$. Das bedeutet, dass ein starker, positiver Zusammenhang zwischen beiden Datensätzen besteht. Damit ist auch mit diesem Test nachgewiesen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Regressionskurven vorhanden ist.

• V_M - und s-Vergleich

Zusätzlich wurden für die Steigungsrichtung die mittleren Geschwindigkeiten (V_M) und die Standardabweichungen (s) der Messungen von 2009 und 2002 miteinander verglichen. Die Mittelwerte V_M und die Standardabweichungen s entstammen der Tab. 12.

Mittlere Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichung s in km/h in Steigungsrichtung						
Untersuchungsstrecke		Neigung (%)	2009		2002	
			V_M	s	V_M	s
2	Tenniken – Diegten (A2)	2.7	86.4	10.2	83.4	11.7
20	Buochs - Beckenried	3.4	81.0	10.9	—	—
8	Amsteg – Wassen (A2)	4.9	57.9	13.9	53.7	11.5
10	Egerkingen – Belchen S.(A2)	5.0	72.0	14.3	67.4	16.4
13	Andeer – Sufers (A13)	6.0	58.6	14.6	60.8	12.2
14	Mesocco – S. Bernardino (A13)	6.0	54.9	16.0	54.2	17.0
15	Regensdorf - Zürich	6.1	58.6	10.2	—	—
15a	Regensdorf – Zürich	6.5	60.0	11.0	—	—
17	Pfäffikon – Schindellegi	7.1	61.0	14.2	—	—
19	Densbüren – Staffelegg	9.5	49.8	12.6	44.3	12.1
V_M - Mittel vergleichbarer Strecken			63.3	13.6	60.6	13.5

Tab. 12: Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichungen s von Lastwagen in Steigungsrichtung s zwischen 2002 und 2009

In Abb. 9 sind die V_M -Werte mit ihren Standardabweichungen gemäss Tab. 12 eingetragen. Für die V_M -Werte wurden quadratische Regressionskurven (V_M 2009 und V_M 2002) sowie eine gemeinsame Regressionskurve, in welcher die V_M -Werte der beiden Zustände 2009 und 2002 einbezogen sind (V_M Gesamt), berechnet.

Aus Abb. 9 ist erkennbar, dass die Mittelwerte V_M von 2009 und 2002 jeweils alle innerhalb der aufgetragenen Standardabweichungen liegen, so dass auch hier festzustellen ist, dass sich die einzelnen V_M -Werte im Rahmen der Standardabweichungen nicht signifikant voneinander unterscheiden.

In Abb. 9 ist zudem erkennbar, dass die beiden Einzel-Regressionen V_M 2009 und V_M 2002 bei einer Steigung von $i = 2.7\%$ um 4 km/h und bei $i = 9.5\%$ um 6 km/h auseinander liegen. Des Weiteren sieht man, dass die Kurve von 2009 dichter an der gemeinsamen Regression (V_M Gesamt) liegt. Dadurch dass alle drei Regressionen innerhalb der Standardabweichungen der V_M -Werte liegen, kann auch hier bestätigt werden, dass sich die V_M -Werte von 2009 und 2002 nicht signifikant voneinander unterscheiden.

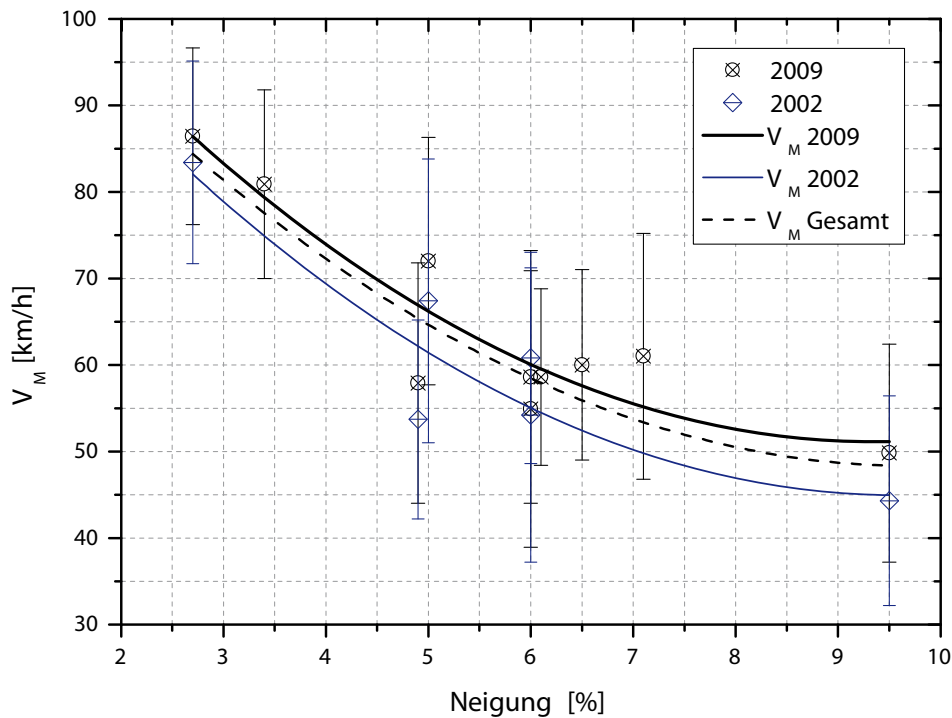


Abb. 9: Vergleich zwischen mittlerer Geschwindigkeit V_M von Lastwagen in Steigungen und deren Standardabweichungen s der Messungen von 2009 und 2002.

4.7. Folgerungen aus Geschwindigkeitserhebungen

Zur Beurteilung der Homogenität bzw. der Streuung der Geschwindigkeiten wurden einerseits die Differenzen zwischen den Geschwindigkeitsgrößen $V_{85\%}$ (schnell fahrende Lastwagen) und $V_{15\%}$ (langsam fahrende Lastwagen) und andererseits die Standardabweichungen um die mittlere Geschwindigkeit am jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke betrachtet. Die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV ($V_{85\%} - V_{15\%}$) haben sich im Vergleich der Zustände 2009 / 2002 nur wenig verändert. Die Differenzen betragen im Mittel über alle Strecken nur 1.7 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 1.0 km/h (Gefällsrichtung). Auch bei der Betrachtung der Standardabweichung (s) um die mittlere Geschwindigkeit resultiert im Mittel nur eine geringe Veränderung von 0.1 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 1.1 km/h (Gefällsrichtung). Die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung hat sich somit nicht verändert.

Die Geschwindigkeitsverläufe entlang von vier Steigungsstrecken zeigen, dass der distanzabhängige Geschwindigkeitsabfall im Zustand 2009 eine ähnliche Form aufweist wie im Zustand 2002. Aus dem Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten zu Beginn und am Ende der Steigung ergaben sich sowohl 2009 als auch 2002 fast ausschliesslich Verzögerungsvorgänge. Die Geschwindigkeitsabnahmen auf den einzelnen Steigungsstrecken in den zwei Betrachtungszuständen liegen in ähnlicher Grössenordnung. Im Jahr 2009 liegen diese zwischen 5 und 17 km/h, 2002 lagen sie zwischen 5 und 24 km/h.

Entscheidend sind die Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten ($V_{15\%}$ -Werte) am Ende der Neigungsstrecken. Für diese wurde die Neigungsabhängigkeit aufgrund von Regressionsberechnungen untersucht. Aus der Gegenüberstellung der Funktionskurven in den Zuständen „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) ergaben sich nur kleine Unterschiede. Im massgebenden Neigungsbereich zwischen 2% und 9% haben sich die

Dauergeschwindigkeiten im Jahr 2009 um maximal 3.6 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 3.8 km/h (Gefälssrichtung) erhöht (vgl. Tab. 11 und Abb. 8). Die für die Steigungsrichtung durchgeführte statistische Überprüfung hat ergeben, dass diese Veränderungen statistisch nicht signifikant sind. Der Wegfall der Kontingentierung führte somit nicht zur adäquaten Veränderung der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen.

Als mögliche Erklärungen für diesen Umstand kommen in Frage:

- Entweder hat sich die Zahl der Fahrten mit schweren Güterfahrzeugen nach dem Wegfall der Kontingentierung für Betriebsgewichte > 32 t nicht erhöht (vgl. Kapitel 5),
- oder die Nutzleistungen der schweren Güterfahrzeuge wurden den erhöhten Betriebsgewichten durch die Bereitstellung von grösseren Motorleistungen und geeigneten Hinterachsübersetzungen angepasst.

5. GEWICHTSMESSUNGEN

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse statistischer Auswertungen hinsichtlich der Betriebsgewichte beschrieben. Im vorliegenden Fall drängen sich die Auswertungen, da gegenüber dem Zustand der letzten Geschwindigkeitserhebung (Jahr 2002, vgl. [1]) die Kontingentierung der Lastwagenfahrten mit einem Gesamtgewicht von über 28 t per 01.01.2005 weggefallen ist. Dabei interessieren neben der Gliederung nach zulässigem Gesamtgewicht vor allem die Veränderungen in der Struktur der Betriebsgewichte⁶.

Massgebender als die Veränderungen der zulässigen Gesamtgewichte (vgl. Forschungsbericht aus dem Jahr 2002 [1]), die sich nur auf die in der Schweiz zugelassenen Nutzfahrzeuge beziehen, sind die Veränderungen der tatsächlich gemessenen Betriebsgewichte aller Lastwagen. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der automatischen Gewichtsmessungen (Weigh-in-motion, WIM) ausgewertet.

5.1. WIM-Messstellen und Gewichtsklassen

Einbezogen wurden die WIM – Messstellen des ASTRA. Nach Absprache mit den Verantwortlichen wurden für die wichtige Nord – Süd – Richtung die Messstellen Nr. 402 (Gotthardtunnel) auf der A2 sowie Nr. 408 bzw. 409 (Ceneri), ebenfalls auf der A2, festgelegt. Für die West – Ost – Richtung konnte nur die Messstelle 413 bzw. 414 (Mattstetten) auf der A1 einbezogen werden. Die Messstellen Gotthardtunnel und Mattstetten wurden bereits in 2002 ausgewertet. Vom ASTRA wurden die Messwerte für die Monate Juni bis Oktober zur Verfügung gestellt.

Bei der Festlegung der Zustände „Vorher“ (mit Kontingentierung) und „Nachher“ (ohne Kontingentierung) wurden die Gewichtsmessungen bewusst in jenen Monaten ausgewertet, in welchen die Geschwindigkeitsmessungen auf Autobahnen stattfanden. Demnach umfasst die Periode

- „Vorher“ die Monate Juli und Oktober 2002 und jene
- „Nachher“ die Monate Juli und Oktober 2009.

Seit Oktober 2002 sind auf der Gotthardroute die Dosierungssysteme für den Schwerverkehr in Betrieb. Sie bewirken eine generelle Plafonierung des Lastwagenverkehrs. Da jedoch die relativen Veränderungen in der Struktur der Betriebsgewichte im Vordergrund stehen, wird diese Massnahme als nicht ins Gewicht fallend erachtet.

Eine vollständige Gegenüberstellung gelang für die Nord – Süd – Richtung bei der Messstelle Nr. 402 sowie bei der West – Ost – Richtung an der Messstelle Nr. 413 / 414. Bei der Messstelle Nr. 408/409 (Ceneri) auf der A2 ist der Zugriff auf die Daten aus dem Jahr 2002 nicht möglich. Diese Messstelle wurde zusätzlich zur Messstelle Gotthard einbezogen, weil hier auch Lastwagenfahrten im Nicht – Alpenquerenden – Transitverkehr erfasst sind.

Im Vordergrund des Interesses steht die Veränderung der Lastwagenzahl mit Betriebsgewichten, die über der früheren Gewichtslimite von 28 t liegen. Unter Berücksichtigung der herabgesetzten gesetzlichen Mindestnutzleistung wäre bei dieser Lastwagengruppe davon auszugehen, dass ihre Geschwindigkeiten in Steigungen infolge Untermotorisierung im unteren Bereich der Geschwindigkeitsverteilung ($V_{15\%}$) liegen werden. Wenn sich die Anzahl bzw. der Anteil der Lastwagen dieser Gruppe in der Periode „Nachher“ (ohne Kontingentierung) deutlich erhöht hat, sollte dies gegenüber dem Zustand „Vorher“ (mit Kontingentierung) in niedrigeren Geschwindigkeiten zum Ausdruck kommen. Die Überprüfung dieser Hypothese ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung.

Da bei den dynamischen Achslastwägungen gerätebedingte Ungenauigkeiten auftreten, müssen auch gewisse Toleranzen berücksichtigt werden. In der Regel wird hierzu die Grenze nicht bei 28 t, sondern bei 31 oder 32 t bzw. bei 44 t statt 40 t gelegt. Die Unterteilung in Gewichtsklassen wurde durch das ASTRA vorgegeben. Sie weicht bei der Messstelle Nr. 401 (Mattstetten) im Jahr 2002 im Vergleich zu den anderen Messstellen teilweise ab. In Bezug auf die im Vordergrund stehenden Gewichtsklassen lassen sich dennoch Vergleiche anstellen.

⁶ Betriebsgewichte entsprechen sinngemäss den Gesamtgewichten, die im tatsächlichen Verkehrsablauf („im Betrieb“) an den Messstellen mit Hilfe statischer oder dynamischer Achslastwägungen erhoben werden.

Für vorliegende Zwecke wurden die Betriebsgewichte der erfassten Nutzfahrzeuge in fünf Gewichtsklassen gegliedert (vgl. Tab. 13). Da primär die Veränderungen im oberen Gewichtsbereich interessieren, wurden die letzten drei Gewichtsklassen zusätzlich in einer Gruppe zusammengefasst (> 31 t bzw. >32 t).

Messstelle	Gewichtsklassen					
Nr. 401 (Mattstetten, 2002)	3.5 – 8.0	8.0 – 32.0	32.0 – 38.0	38.0 – 44.0	> 44.0	> 32.0
Nr. 402 (Gotthard, 2002 / 2009)						
Nr. 408/409 (Ceneri, 2009)	3.5 – 8	8 – 31.0	31.0 – 37.0	37.0 – 44.0	>44.0	> 31.0
Nr. 413/414 (Mattstetten, 2009)						

Tab. 13: Festgelegte Gewichtsklassen

5.2. Ergebnisse der Gewichtsmessungen

Die Ergebnisse der Gewichtsmessungen in den Vergleichsperioden „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) für die Nord-Süd-Richtung (Messstellen Nr. 402 und 408/409) sind in den Abschnitten 5.2.1 sowie 5.2.3, jene für die West-Ost-Richtung (Messstelle Nr. 413/414) im Abschnitt 5.2.2 zusammengestellt. Die zusammengefasste Gruppe mit > 31 t bzw. 32 t befindet sich in den Diagrammen jeweils ganz rechts.

In den tabellarischen Auswertungen der einzelnen Messstellen werden für den „Vorher“ – „Nachher“ - Vergleich zwei Gewichtsgruppen unterschieden:

- Jene mit 3,5 bis 31 t bzw. 32 t (Bereich bis zur früheren Gewichtslimite)
- Jene mit über 31 t bzw. 32 t (Bereich über der früheren Gewichtslimite).

Die Grenze von 32 t bezieht sich auf die Messstelle im Mattstetten (nur 2002), jene von 31 t auf die Messstellen Mattstetten (nur 2009), im Gotthardtunnel und bei Ceneri.

Ein Vergleich der Ergebnisse in den Zuständen „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) erfolgt für die Nord-Süd-Richtung an der Messstelle Nr. 402 (Gotthard). In der West-Ost-Richtung kann die Messstelle Nr. 413/414 (Mattstetten) im Zustand „Nachher“ (2009) mit der Messstelle Nr. 401 im Zustand „Vorher“ (2002) verglichen werden, da es sich hierbei um die gleiche Messstelle, unter einer fortgesetzten Nummerierung handelt.

Die detaillierten Ergebnisse der WIM-Messungen sind im Anhang 3 (Beilagen 3.1 – 3.6) enthalten

5.2.1. WIM - Messstelle Gotthardtunnel

Am Gotthard (Messstelle Nr. 402) hat sich der Anteil der Gruppe mit über 31 t von ca. 19% im Zustand „Vorher“ (2002, mit Kontingentierung) auf ca. 29,5% im Zustand „Nachher“ (2009, ohne Kontingentierung) erhöht, was einer etwa 1.6-fachen Erhöhung der Fahrten entspricht (vgl. Tab. 14). Aus den Unterlagen ergab sich zudem, dass innerhalb dieser Gruppe die Fahrtenzahl mit Betriebsgewichten zwischen 37 und 44 t am stärksten zugenommen hat (Verhältnissfaktor von 2.4, vgl. Abb. 10).

Aus der Abbildung Abb. 10 ist ersichtlich, dass an dieser Messstelle die Anzahl und der Anteil von Nutzfahrzeugen mit Betriebsgewichten über der früheren Gewichtslimite von 28 t deutlich zugenommen haben. Die entsprechenden Werte sind in der Tab. 14 angegeben und verglichen.

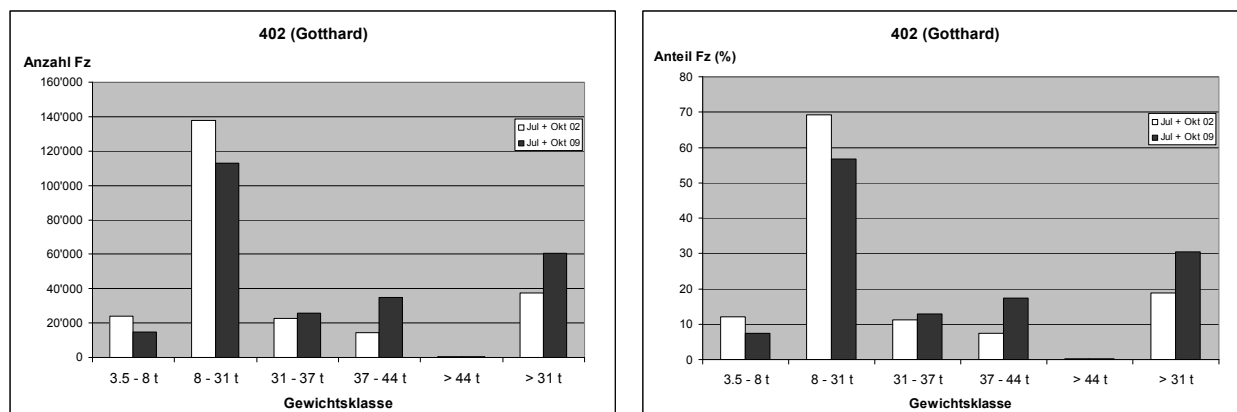


Abb. 10: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)

Reduziert hat sich hingegen der Anteil der Gruppe mit 3,5 – 31 t (von ca. 81% auf ca. 70,5%). Am stärksten hat in dieser Gruppe die Fahrtenzahl mit Betriebsgewichten zwischen 3,5 und 8 t abgenommen (vgl. Abb. 10). Die Gewichtskategorie 8 – 31 t hat auch im Zustand „Nachher“ den dominierenden Anteil der Lastwagenfahrten (mit ca. 55%).

402 Gotthardtunnel	„Vorher“ (2002)		„Nachher“ (2009)		Veränderung „Nachher“ / „Vorher“	
	Anzahl Fz	Anteil Fz	Anzahl Fz	Anteil Fz	in Anzahl Fz	Verhältnis
3,5 – 31,0 t	161'703	81.18 %	144'678	70.49 %	- 17'031	0.89
> 31,0 t	37'492	18.82 %	60'567	29.51 %	23'075	1.62
Total	199'201	100.00 %	205'245	100.00 %	6'044	1.03

Tab. 14: Veränderungen der Betriebsgewichte im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)

5.2.2. WIM-Messstelle Mattstetten

Die Messstelle Mattstetten (Nr. 413/414) wurde bereits 2002 unter der Messstellennummer 401 betrieben, so dass ein Vergleich mit den Werten von 2009 („Nachher“) möglich ist. Der *Anteil* der Gruppe mit über 31 bzw. 32 t hat sich von 7.5% im Zustand „Vorher“ (2002) auf ca. 13% im Zustand „Nachher“ erhöht. Dies entspricht einer Erhöhung um den Faktor 1.83 (vgl. Tab. 15). Der Anteil von ca. 13% für die West-Ost-Richtung ist somit deutlich niedriger als jener für die Nord-Süd-Richtung (ca. 29,5%, vgl. 5.2.1). Hingegen ist die absolute *Fahrtenzahl* in dieser Gruppe, die sich gemäss Tab. 15 in den zwei angegebenen Monaten (Juli und Oktober) von ca. 32'000 2002 auf ca. 59'000 erhöht hat, im Zustand „Nachher“ (2009) fast so gross wie jene im Gotthardtunnel (ca. 60'500).

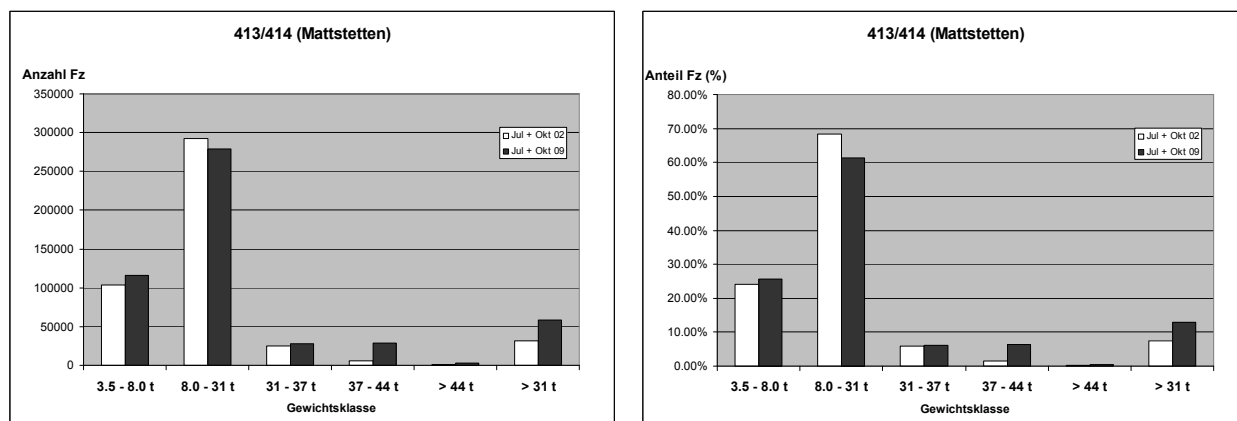


Abb. 11: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Mattstetten (Messstelle Nr. 413/414)

Analog zur Messstelle im Gotthardtunnel verringerte sich auch an dieser Messstelle der Anteil der Gruppe mit 3,5 – 31 t / 32 t (von 92,5 % auf ca. 87 %). Aus Abb. 11 ist auch ersichtlich, dass die Gewichtsklasse 8 bis 31 t / 32 t auch in der Periode „Nachher“ den grössten Anteil der Lastwagenfahrten hat, obwohl in dieser Klasse die grösste Abnahme gegenüber den Zustand „Vorher“ zu verzeichnen war. Den deutlichsten Anstieg ist bei der Gewichtsklasse von 37 t – 44 t zu verzeichnen.

413/414 Mattstetten	„Vorher“ (2002)		„Nachher“ (2009)		Veränderung „Nachher“ / „Vorher“	
	Anzahl Fz	Anteil Fz	Anzahl Fz	Anteil Fz	in Anzahl Fz	Verhältnis
3,5 – 31,0 t *	396'016**	92,50 %	395'294*	87,08 %	- 722	0,998
3,5 – 32,0 t **						
> 31,0 t *	32'100**	7,50 %	58'674*	12,92 %	26'547	1,83
> 32,0 t **						
Total	428'116**	100,00 %	453'968*	100,00 %	25'852	1,06

* Gewichtsabgrenzung im Zustand „Nachher“ (2009)

** Gewichtsabgrenzung im Zustand „Vorher“ (2002)

Tab. 15: Veränderungen der Betriebsgewichte bei Mattstetten (Messstelle Nr. 413/414)

5.2.3. WIM-Messstelle Ceneri

Für die Messstelle Ceneri (Nr. 408/409) an der A2, die sich ca. 75km südlich der Messstelle Gotthard befindet, sind nur die Werte für den Zustand „Nachher“ bekannt (vgl. Tab. 16). Der Anteil an Fahrten mit Betriebsgewichten von über 31 t liegt mit ca. 26 % zwischen den Werten von Gotthard (29,5%) und Mattstetten (12,9%) und bestätigt deren Veränderungen in Bezug auf die Verschiebung der Betriebsgewichte zu den höheren Gewichtsklassen. Überwiegend in dieser Gruppe sind mit ca. 14% die Fahrten mit Betriebsgewichten zwischen 37 und 44 t, gefolgt von der Gewichtsklasse 31 bis 37 t mit ca. 12 % (vgl. Abb. 12).

In der Gruppe von 3,5 bis 31 t dominiert der Anteil der Gewichtsklasse 8 bis 31 t mit ca. 57% der Lastwagenfahrten, welcher annähernd gleich ist, mit dem Wert an der Messstelle Gotthard. Aus dem Vergleich der absoluten Fahrtenzahl der schweren Lastwagen (> 31 t) zwischen Ceneri und Gotthard ist ersichtlich, dass der Alpenquerende Schwerverkehr um ca. 91'000 Fahrten bzw. 31% niedriger ist.

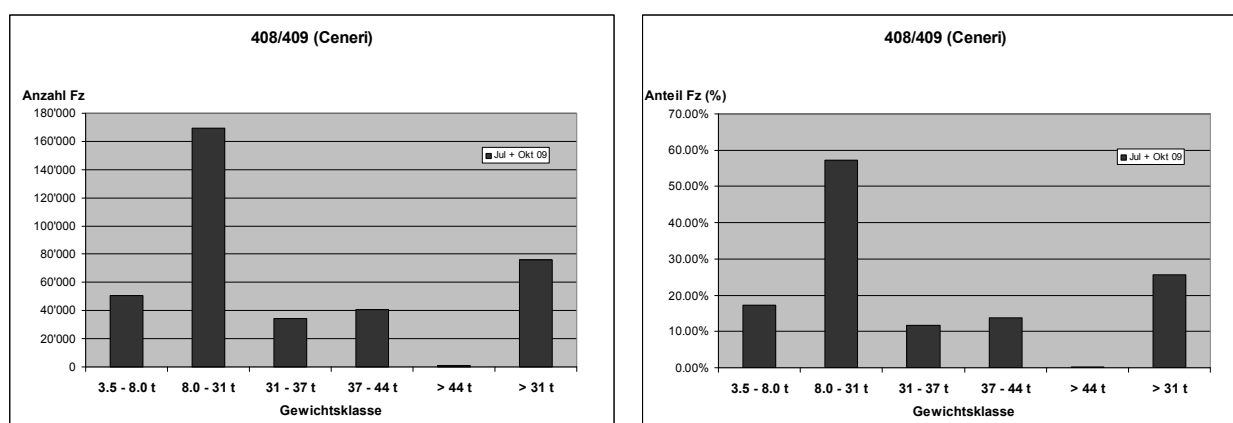


Abb. 12: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Ceneri (Messstelle Nr. 408/409)

408/409 Ceneri	„Nachher“ (2009)	
Gewichtsgruppe	Anzahl Fz	Anteil Fz
3,5 – 31,0 t	220'385	74,39 %
> 31,0 t	75'864	25,61 %
<i>Total</i>	<i>296'249</i>	<i>100,00 %</i>

Tab. 16: Veränderungen der Betriebsgewichte im Zustand „Nachher“ bei Ceneri (Messstelle Nr. 408/409)

5.2.4. Repräsentativität der Messwerte

Für den Vergleich mit den Geschwindigkeitsmessungen wurden bei der Auswertung der WIM-Messstellen aus den vorhandenen Werten (für 5 Monate von Juni bis Oktober, vgl. Anhang 3, Beilage 3.4) nur die Messwerte zweier Monate (Juli und Oktober) verwendet. Um die Repräsentativität der Messwerte in den zwei betrachteten Monaten zu überprüfen, wurden die prozentualen Verteilungen bei den Gewichtsklassen 3,5 bis 31,0 t sowie grösser 31,0 t zwischen den Monaten Juli und Oktober sowie Juni bis Oktober verglichen (vgl. Tab. 17). Dabei zeigt sich deutlich, dass in der gesamten Periode (Juni bis Oktober) keine signifikanten Unterschiede gegenüber den zwei ausgewerteten Monaten (Juli und Oktober) auftreten.

Zeitperiode	Summe der Monate Juli + Oktober '09		Summe der Monate Juni bis Oktober '09	
Gewichtsgruppe	3,5 – 31,0 t	> 31,0 t	3,5 – 31,0 t	> 31,0 t
Messstellen:				
- Gotthardtunnel	70,49%	29,51%	71,27%	28,73%
- Ceneri	74,39%	25,61%	75,43%	24,57%
- Mattstetten	87,08%	12,92%	87,14%	12,86%
Mittelwerte	77,32%	22,68%	77,95%	22,05%

Tab. 17: Vergleich der Anteile in den Gewichtsrgruppen in verschiedenen Zeitperioden

5.3. Folgerungen aus Gewichtsmessungen

Im Rahmen der vorliegenden Gewichtsauswertungen und Vergleiche konnte die erwartete Tendenz zu höheren Betriebsgewichten nach der Aufhebung der Kontingente für Lastwagenfahrten mit über 31 t Gesamtgewicht bestätigt werden. Die Häufigkeit der schwer beladenen Lastwagenfahrten hat sich gegenüber dem Vorher – Zustand (Jahr 2002) wesentlich erhöht.

Aus dem „Vorher“ - / „Nachher“ – Vergleich zwischen den Erhebungen in den Jahren 2002 und 2009 ergab sich für die Gewichtsrgruppe > 31 t auf der *Nord – Süd – Achse* eine starke Zunahme. Das Dosierungssystem am Gotthard beschränkt zwar die Anzahl der Lastwagenfahrten insgesamt, die Anzahl von Fahrten mit Betriebsgewichten über 31 t hat sich jedoch auf der *Nord – Süd – Achse* um einen Faktor von ca. 1,6 deutlich erhöht. Der Anteil dieser Fahrten beträgt am Gotthard bereits knapp 30%, während er noch vor 7 Jahren nur ca. 19% ausmachte. Auch bei der Messstelle am Ceneri beträgt gegenwärtig der Anteil der Fahrten mit über 31 t Gesamtgewicht bereits knapp 26%.

In der *West - Ost - Richtung* (WIM-Messstele Mattstetten) hat sich die Anzahl der Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über 31 t um einen Faktor von ca. 1,8, also noch stärker als am Gotthard erhöht. Der Anteil dieser Fahrten an allen Lastwagenfahrten betrug im Jahr 2009 ca. 13%, gegenüber 7,5% im Jahr 2002.

Im Zusammenhang mit der Gewichtsverteilung von Lastwagenfahrten wurden in [1] Vergleiche mit Ergebnissen der Gewichtsmessungen an österreichischen Autobahnen angestellt. Dazu hat man die Ergebnisse der Gewichtsmessungen aus dem Jahre 2002 verwendet. Für die zwei im Vordergrund stehende Verbindun-

gen Nord – Süd und West – Ost ergaben sich die in Abb. 13 dargestellten Ergebnisse⁷. Daraus ist ersichtlich, dass der Anteil von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten von über 32 t am Brennersee (massgebend für die Nord – Süd – Richtung) knapp 43%, jener bei Linz (massgebend für die West – Ost – Richtung) ca. 14% betrug.

Mit der Erhöhung des Anteil von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten von über 31 t von 19% (2002) auf fast 30% (2009) am Gotthard hat sich der Anteil von schweren Lastwagenfahrten im alpenquerenden Nord – Süd – Verkehr jenem in Österreich (Brennersee im Jahr 2002) deutlich angenähert. In der West – Ost – Richtung (Messstelle Mattstetten) hat sich der erwähnte Anteil von 7.5% (2002) auf 13% (2009) erhöht und ist praktisch gleich gross wie in Österreich (Linz im Jahr 2002). Damit wird die in [1] geäußerte Vermutung, wonach sich bei im Nord – Süd – Verkehr bei uns eine ähnliche Gewichtsverteilung wie in Österreich in den kommenden Jahren einstellen wird, bestätigt.

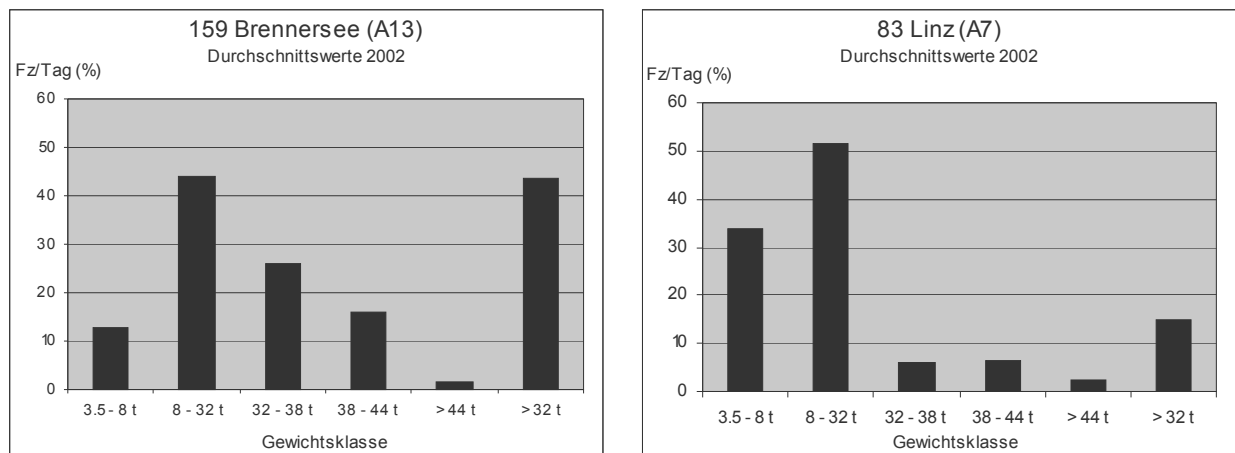


Abb. 13: Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen am Brennersee (Messstelle Nr. 159, Österreich) und bei Linz (Messstelle Nr. 83, Österreich), aus [1]

Die der Forschungsstelle bekannten, letzten Untersuchungen des alpenquerenden Güterverkehrs datieren aus den Jahren 2005 ([7]) und 2006 ([8]).

In [7] wird die Entwicklung zwischen 1999 und 2004 im gesamten Alpenbogen analysiert. Daraus ist u.a. die starke Erhöhung der Ladegewichte von Lastwagen am Gotthard zwischen den Jahren 1999 und 2004 ersichtlich. Während sich die beförderte Ladung von ca. 7.0 auf ca. 9.9 Mio. t / Jahr (+ 41%) erhöht hat, ist die Anzahl jährlicher Lastwagenfahrten von ca. 1.10 auf ca. 0.97 Mio. (-12%) zurückgegangen, vgl. Abb. 14. Aus der Veränderung zwischen 1999 und 2004 wird in [7] gefolgert, dass „die Kombination aus Erhöhung des Gewichtslimits, Bemaßung durch die LSVA und Dosierung am Gotthard eine deutlich Wirkung zeigt“.

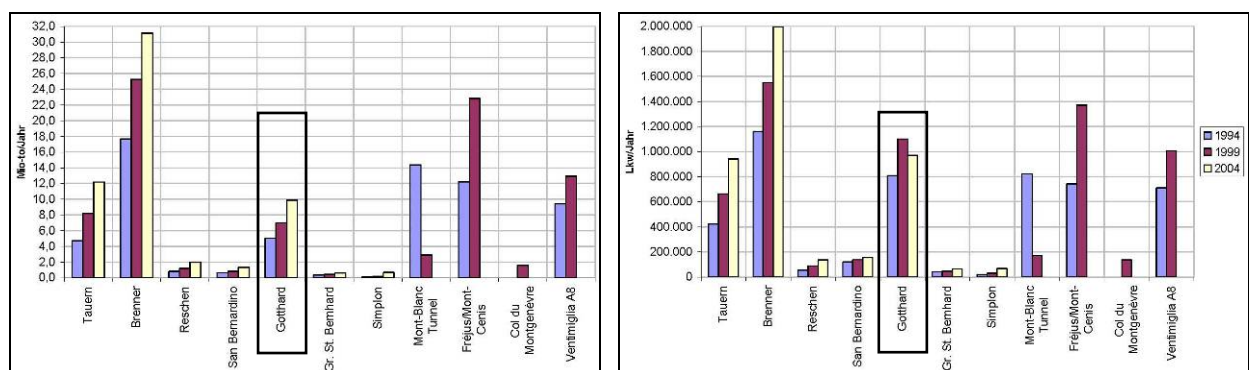


Abb. 14: Entwicklung des alpenquerenden Strassengüterverkehrs nach beförderter Ladung (links) und nach Anzahl Lastwagen (rechts), aus [7]

⁷ Die Forschungsstelle hat versucht, aktuellere Messergebnisse für die österreichische WIM-Messstelle Brennersee zu erhalten. Wie im Jahre 2002 wurde hierzu das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie in Wien angeschrieben. Die Anfrage wurde leider nicht beantwortet.

Untersucht wurden in [7] auch die Ladegewichte der Lastwagen im alpenquerenden Güterverkehr. In Österreich lagen sie über die letzten 10 Jahre zwischen 1994 und 2004 konstant bei 16 t bis 17 t. Ähnliche Größenordnungen erreichte auch Frankreich. In der Schweiz war das durchschnittliche Ladegewicht bis 1999 mit rund 8 t weniger als halb so hoch wie in den anderen Alpenländern. Nach Erhöhung des Gewichtslimits auf 34 t wurden knapp 12 t erreicht, eine Zunahme von 42% gegenüber 1999. In der Untersuchung wird die Vermutung geäußert, dass mit der nächsten Erhöhung auf 40 t ab 1.1.2005 wohl eine Angleichung der durchschnittlichen Ladegewichte an die beiden Nachbarländer erfolgen dürfte.

In der Untersuchung des ARE [8], in der auch das Jahr 2005 vollständig einbezogen ist, werden die in [7] angesprochenen Veränderungen am Gotthard bestätigt: Gegenüber dem Jahr 2004 nahm dort die Anzahl jährlicher Lastwagenfahrten von ca. 0.969 auf ca. 0.925 Mio. im Jahr 2005 ab, was einer Reduktion um 5% entspricht. In der gleichen Vergleichsperiode haben sich die Ladungsgewichte der Schweren Güterfahrzeuge erhöht. Mit der Erhöhung der Gewichtslimits auf 40 t (bzw. mit der Aufhebung der Kontingentierung) erhöhten sich zwischen 2004 und 2005 die Ladungsgewichte der Lastenzüge um durchschnittlich +0,5 t auf rund 9,9 t und die der Sattelzüge um ca. +1,0 t auf 12,9 t, was einem Anstieg von +6 % bzw. +8 % entspricht. Demgegenüber blieb das mittlere Ladungsgewicht der Lastwagen⁸ im Vergleich zum Vorjahr bei ca. 3,7 t nahezu unverändert.

Als Folge der erwähnten Erhöhung der Ladegewichte wäre eine Reduktion der Nutzleistung von schweren Güterfahrzeugen zu erwarten. Falls diese Folgerung zutrifft, müsste sich das in den Steigungen in entsprechend niedrigeren Dauergeschwindigkeiten manifestieren.

⁸ Zu berücksichtigen ist hier, dass das zulässige Gesamtgewicht der Lastwagen ohne Anhänger nach wie vor 32 t beträgt.

6. WICHTIGSTE ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN

6.1. Wichtigste Ergebnisse

Wie aus Kapitel 1 hervorgeht standen im Vordergrund der vorliegenden Untersuchung die Veränderungen der Geschwindigkeiten von Lastwagen. Zu diesem Zweck wurden auf Hochleistungsstrassen und auf Hauptstrassen ausserorts im Jahre 2009 (Zustand „Nachher“) Geschwindigkeitsmessungen an mehreren Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen durchgeführt und den Ergebnissen der Erhebungen im Jahr 2002 (Zustand „Vorher“, vgl. [1]) gegenübergestellt.

Aufgrund der Geschwindigkeitsmessungen wurden für die ungehindert fahrenden Lastwagen die Kenngrössen der Geschwindigkeitsstreuung, die Dauergeschwindigkeiten am Ende der Neigungsstrecken, sowie die Geschwindigkeitsveränderungen entlang der Neigungsstrecken ausgewertet. Aufgrund der Ergebnisse wurden in einem zweiten Schritt die Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung untersucht.

Zur Abklärung der Frage, ob sich im Vergleich „Vorher“ / „Nachher“ auch die Struktur der Betriebsgewichte von Lastwagen verändert haben, wurden Gewichtsmessungen an den massgebenden WIM-Messstellen ausgewertet.

6.1.1. Geschwindigkeitsmessungen

Zur Beurteilung der Homogenität bzw. der *Streuung der Geschwindigkeiten* wurden einerseits die Differenzen zwischen den Geschwindigkeitsgrössen $V_{85\%}$ (schnell fahrende Lastwagen) und $V_{15\%}$ (langsam fahrende Lastwagen) und andererseits die Standardabweichungen um die mittlere Geschwindigkeit am jeweils letzten Querschnitt der Neigungsstrecke betrachtet. Die Geschwindigkeitsdifferenzen ΔV ($V_{85\%} - V_{15\%}$) haben sich im Vergleich der Zustände 2009 / 2002 nur wenig verändert (vgl. Tab. 3). Die Differenzen betragen im Mittel über alle Strecken nur 1.7 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 1.0 km/h (Gefällsrichtung). Auch bei der Betrachtung der Standardabweichung (s) um die mittlere Geschwindigkeit (V_M) resultiert im Mittel nur eine geringe Veränderung von 0.1 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 1.1 km/h (Gefällsrichtung). Wie aus Tab. 4 hervorgeht, hat sich somit die Homogenität der Geschwindigkeitsverteilung insgesamt nicht verändert.

Die *Geschwindigkeitsverläufe* entlang von vier Steigungsstrecken zeigen, dass der distanzabhängige Geschwindigkeitsabfall im Zustand 2009 eine ähnliche Form aufweist wie im Zustand 2002 (vgl. Abb. 5). Aus dem Vergleich der $V_{15\%}$ -Geschwindigkeiten zu Beginn und am Ende der Steigung ergaben sich sowohl 2009 als auch 2002 fast ausschliesslich Verzögerungsvorgänge. Die *Geschwindigkeitsabnahmen* auf den einzelnen *Steigungsstrecken* in den zwei Betrachtungszuständen liegen in ähnlicher Grössenordnung. Im Jahr 2009 liegen diese zwischen 5 und 17 km/h, 2002 lagen sie zwischen 5 und 24 km/h.

Die *Dauergeschwindigkeiten* von langsamen, beladenen Lastwagen ($V_{15\%}$ -Werte) am Ende der Neigungsstrecken (vgl. Tab. 5) haben sich in der Steigungsrichtung im Zustand 2009 bei 3 der 6 vergleichbaren Strecken um bis zu 6 km/h erhöht, bei 2 der Strecken um bis zu 4 km/h reduziert. Im Durchschnitt der vergleichbaren Strecken ergab sich nur eine geringe Veränderung (47.5 km/h in 2009, 46.7 km/h in 2002).

In der Gefällsrichtung haben sich die Dauergeschwindigkeiten 2009 in der Regel erhöht (Ausnahme die Strecke Nr. 19). Die starke Zunahme bei der Strecke Nr. 10 ist auf äussere Einwirkungen (längere Baustelle stromaufwärts) zurückzuführen. Im Durchschnitt der vergleichbaren Strecken ergab sich eine Veränderung von 3 km/h (64.0 km/h in 2009, 61.0 km/h in 2002).

6.1.2. Geschwindigkeit und Längsneigung

Für die Dauergeschwindigkeiten wurde in Kapitel 4 die Neigungsabhängigkeit aufgrund von Regressionsberechnungen untersucht. Dazu wurde ein quadratischer Ansatz verwendet. Wie bei den früheren Untersuchungen ([1], [2], [3]) zeigt sich auch im Zustand 2009 bei zunehmender Längsneigung eine klare Tendenz zur Abnahme der Geschwindigkeiten und damit einen deutlichen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Längsneigung. Dieser ist in der Steigungsrichtung (vgl. Abb. 6) ausgeprägter als in der Gefällsrichtung (vgl. Abb. 7).

Aus der Gegenüberstellung der Funktionskurven in den Zuständen „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009) ergaben sich nur kleine Unterschiede (vgl. Abb. 8). Im massgebenden Neigungsbereich zwischen ca. 2% und

9% haben sich die Dauergeschwindigkeiten im Jahr 2009 um maximal 3.6 km/h (Steigungsrichtung) bzw. 3.8 km/h (Gefällsrichtung) erhöht, vgl. folgende Tabelle.

Richtung	i [%]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Steigung	V _D 2009 [km/h]	80.3	74.6	68.9	63.4	58.0	52.6	47.4	42.2	37.1	32.1	(27.2)
	V _D 2002 [km/h]	86.4	77.8	69.8	62.4	55.6	49.4	43.8	38.8	34.3	30.5	(27.3)
	ΔV _D [km/h]	-4.1	-3.2	-0.9	1	2.4	3.2	3.6	3.4	2.8	1.6	(-0.1)
Gefälle	V _D 2009 [km/h]	86.9	84.6	82.0	79.1	75.8	72.1	68.0	63.6	58.8	53.7	(48.2)
	V _D 2002 [km/h]	(92.3)	(86.7)	81.4	76.6	72.3	68.3	64.7	61.5	58.8	56.4	(54.5)
	ΔV _D [km/h]	(-12.1)	-2.1	0.6	2.5	3.5	3.8	3.3	2.1	0	-2.7	(-6.3)

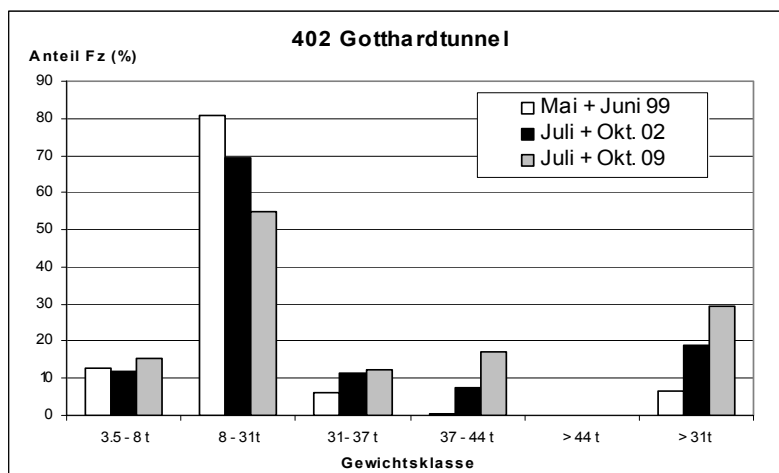
Die für die Steigungsrichtung durchgeführte *statistische Überprüfung* hat ergeben, dass diese Veränderungen statistisch nicht signifikant sind. Der Wegfall der Kontingentierung führte somit nicht zur adäquaten Veränderung der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen.

6.1.3. Gewichtsmessungen

Wie in [1] bereits ausgeführt, hat die Zahl der alpenquerenden Lastwagenfahrten seit dem Beginn des Jahres 2002 infolge der Dosierungsmassnahmen abgenommen. Die Reduktion der Fahrtenzahl wird offensichtlich durch die im Mittel höheren Betriebsgewichte pro Fahrt weitgehend kompensiert. Diese Entwicklung wurde auch in [7] und [8] festgestellt.

Im Rahmen der vorliegenden Gewichtsauswertungen und Vergleiche konnte die erwartete Tendenz zu höheren Betriebsgewichten nach der Aufhebung der Kontingente für Lastwagenfahrten mit über 31 t Gesamtgewicht bestätigt werden. Die Häufigkeit der schwer beladenen Lastwagenfahrten hat sich gegenüber dem Vorher – Zustand (Jahr 2002) wesentlich erhöht, und zwar sowohl im Nord - Süd- wie auch im Ost - West-Verkehr.

Aus dem „Vorher“ - / „Nachher“ – Vergleich zwischen den Erhebungen in den Jahren 2002 (mit Kontingentierung) und 2009 (ohne Kontingentierung) ergab sich für die Gewichtsguppe > 31 t auf der *Nord – Süd – Achse* eine starke Zunahme. Das Dosierungssystem am Gotthard beschränkt zwar die Anzahl der Lastwagenfahrten insgesamt, die Anzahl von Fahrten mit Betriebsgewichten über 31 t hat sich jedoch auf der Nord – Süd – Achse um einen Faktor von ca. 1.6 deutlich erhöht. Der Anteil dieser Fahrten beträgt am Gotthard bereits knapp 30%, während er noch vor 7 Jahren nur ca. 19% ausmachte. Auch bei der WIM-Messstelle am Ceneri beträgt gegenwärtig der Anteil der Fahrten mit über 31 t Gesamtgewicht bereits knapp 26%. Die Entwicklung zwischen den Jahren 1999 (Gewichtslimite 28 t), 2002 und 2009 ist in folgendem Diagramm veranschaulicht.



In der *West - Ost - Richtung* (WIM-Messstele Mattstetten) hat sich die Anzahl der Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über 31 t um einen Faktor von ca. 1.8, also noch stärker als am Gotthard erhöht. Der Anteil dieser Fahrten an allen Lastwagenfahrten betrug im Jahr 2009 ca. 13%, gegenüber 7.5% im Jahr 2002.

Wie aus 5.3 hervorgeht, hat sich in der Schweiz nach dem Wegfall der Kontingentierung der Anteil von schweren Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten > 31 bzw. 32 t jenem, der im Jahre 2002 auf österreichischen Autobahnen gemessen wurde stark angenähert.

6.2. Folgerungen

Bereits in [1] wurde aufgrund des Vergleichs zwischen den Zuständen 1999 (mit Beschränkung auf 28 t Gesamtgewicht) und 2002 (mit Kontingentierung für Gesamtgewichte über 28 t) festgestellt, dass die höheren Lade- und somit Gesamtgewichte sich auf die empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten nicht proportional auswirken. Diese Feststellung wurde mit der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Trotz einer starken Zunahme des Anteils von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über der früheren Gewichtslimite (hier > 31 bzw. 32 t) zwischen den Zuständen 2002 und 2009 sowohl auf der Nord-Süd- wie auch auf der Ost-West-Achse haben sich die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen praktisch nicht verändert.

Exemplarisch zeigt sich dies bei der Steigungsstrecke Nr. 8 (Amsteg- Wasen) auf der A2 vor dem Gotthardtunnel. Die Dauergeschwindigkeit am Ende der 4,9%igen Steigung betrug im Jahre 2002 42 km/h, im Jahre 2009 43 km/h. Dabei hat sich bei der WIM-Messstelle Gotthardtunnel der Anteil von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten von 18,8% auf 29,5% wesentlich erhöht.

Aus diesen Tatsachen muss gefolgert werden, dass zumindest auf der Nord-Süd-Achse für die schwerbeladenen Güterfahrzeuge die entsprechende Nutzleistung bereitgestellt wird. Offensichtlich haben sich die Transportunternehmer auf die Situation mit erhöhter Gewichtslimite eingestellt, indem sie für alpenquerende (und damit steigungsreiche) Fernfahrten mit hohen Betriebsgewichten Fahrzeuge mit entsprechend hoher Motorleistung und mit besser abgestimmten Getriebeverhältnissen einsetzen. Das bedeutet, dass die zur Verfügung gestellten Nutzleistungen für diese Art von Fahrten weit über der gesetzlich vorgeschriebenen Mindestnutzleistung (5,0 kW/t) liegen⁹.

6.2.1. Auswirkungen auf den Verkehrsablauf

Wie bereits in [1] ausgeführt, hat die Erhöhung der Geschwindigkeiten von Lastwagen und die durch die Herabsetzung der Tempolimiten bewirkte Reduktion der Geschwindigkeiten von Personenwagen zu einer Annäherung der Geschwindigkeitsniveaus dieser beiden Fahrzeuggruppen beigetragen und somit zu einem insgesamt homogenen Verkehrsablauf geführt. In [1] wurde dargelegt, dass diese Annäherung vor allem bei kleinen bis mittleren Steigungen ausgeprägt ist. Zudem ergab sich innerhalb der Fahrzeuggruppe Lastwagen eine Abnahme der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen „langsamen“ ($V_{15\%}$) und „schnellen“ ($V_{85\%}$) Fahrzeugen. Dementsprechend müsste davon ausgegangen werden, dass sich im Verkehrsablauf auf Strassen ausserorts das Bedürfnis zum Überholen grundsätzlich verringert hat, woraus dann Vorteile für die Verkehrssicherheit abgeleitet werden könnten.

Da sich die Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen gegenüber jenen im Zustand 2002 praktisch nicht verändert haben, gelten bzgl. Auswirkungen auf den Verkehrsablauf die gleichen Folgerungen wie in [1] dargelegt. Die in [1] angesprochenen Auswirkungen auf die Überholhäufigkeit müssen jedoch in zweifacher Hinsicht hinterfragt werden.

- Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen langsamen Lastwagen ($V_{15\%}$) und schnellen Personenwagen ($V_{85\%}$) liegen auf Hauptverkehrsstrassen auch im Zustand 2009 im Bereich von ca. 15 km/h (kleine Steigungen) und 45 km/h (grosse Steigungen). Im realen Verkehrsablauf empfinden Fahrzeuglenker bereits kleinere Geschwindigkeitsdifferenzen als hindernd. Bei einer Fahrt hinter einem LW kommen bekanntlich auch andere Kriterien als nur die Geschwindigkeitsdifferenzen hinzu, die das Überholbedürfnis wecken (z.B. Sichtbehinderung und Abgase durch LW, Entstehung eines Fahrzeugpulses u.ä.).
- Überholvorgänge mit kleineren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem überholenden und überholten Fahrzeug führen zu längeren Überholwegen, sodass das Ausmass an Behinderungen des Verkehrsflusses durch Überholungen erhöht wird. Die erwähnten kleineren Geschwindigkeitsdifferenzen sind vor allem bei Überholungen durch Lastwagen typisch.

⁹ In [1] wurde aufgrund von Simulationsberechnungen die spezifische Nutzleistung des Bemessungslastwagens im Zustand 2002 mit 12,4 PS/t ermittelt.

Dem letzten Aspekt kommt im Zusammenhang mit der zunehmenden Auslastung unserer Autobahnen und dem immer grösseren Anteil an Lastwagenfahrten mit hohen Betriebsgewichten eine wichtige Bedeutung zu. Die negativen Auswirkungen der Überholungen durch Lastwagen versucht man durch vermehrte Anordnung von Überholverböten für Lastwagen zu beschränken. Oft werden in der Öffentlichkeit auch Forderungen nach generellen Überholverböten für Lastwagen auf Autobahnen erhoben.

Diese Problematik wurde in Deutschland ([9]) auch wissenschaftlich untersucht. Als Fazit aus dieser Arbeit wird festgestellt, dass durch die Überholverböte für Lastwagen auf Autobahnen keine tiefgreifende Wirkungen erreicht werden.

Untersucht wurden in [9] die Auswirkungen auf die Flüssigkeit des Verkehrsablaufes und auf die Verkehrssicherheit.

- Durch die Anordnung der Überholverböte für Lastwagen werden die PW im Mittel um ca. 3 – 5 km/h schneller, umgekehrt verringern sich die Reisegeschwindigkeiten von Lastwagen (der Unterschied wird mit -1 km/h angegeben). Um die Zeitverluste gegen die Zeitgewinne abzuwägen wurde eine wirtschaftliche Bewertung anhand der Zeitkostensätze, bei verschiedenen Verkehrsstärken vorgenommen. Daraus ergab sich, dass oberhalb einer Verkehrsstärke von ca. 2.000 Fahrzeugen/Stunde auf zweistreifigen Richtungsfahrbahnen von Autobahnen ein Überholverbot für Lastwagen im allgemeinen sinnvoll ist.
- Auch bei der Verkehrssicherheit ist gemäss [9] eine sehr differenzierte Betrachtung der Ergebnisse notwendig, weil das Lastwagen-Überholverbot nicht generell eine Anhebung oder Absenkung der Sicherheit bewirkt. Die Untersuchungsergebnisse gestatten es jedoch, Hinweise auf äussere Umstände zu geben, unter denen ein Lastwagen-Überholverbot eine Verbesserung der Verkehrssicherheit verspricht. Dazu gehören z.B. die Abschnitte im Anschluss an Verringerungen der Fahrstreifenanzahl von 3 auf 2. Selbstverständlich ist auch an Steigungsstrecken von einem LKW-Überholverbot ein Nutzen zu erwarten.

Wie weit diese Ergebnisse auf die Verhältnisse auch schweizerischen Autobahnen übertragen werden können, müsste durch entsprechende Untersuchungen geprüft werden.

6.2.2. Auswirkungen auf die Normung

In [1] wurden aufgrund von Erhebungen und Simulationsberechnungen im Jahr 2002 Vorschläge für die Revision der VSS-Norm SN 640 138 „Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen“ erarbeitet. Die entsprechende Norm [4] wurde im Jahr 2005 veröffentlicht. Das zentrale Element im Geschwindigkeitsmodell dieser Norm ist das Diagramm, in welchem die Geschwindigkeiten von langsamen Lastwagen in Längsneigungen dargestellt sind. Aufgrund der nur geringen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten und der Form der Geschwindigkeitsverläufe entlang von Neigungsstrecken zwischen den Zuständen 2002 und 2009 drängen sich keine Anpassungen des bestehenden Geschwindigkeitsmodells in den VSS-Normen auf.

6.2.3. Fortschreibung der Geschwindigkeitserhebungen

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann auch davon ausgegangen werden, dass eine künftige Zunahme des Anteils von Lastwagenfahrten mit Gesamtgewichten von über 28t nicht zu wesentlichen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen führen wird. Eine weitere Überprüfung der Geschwindigkeiten würde sich erst nach der Umsetzung der geplanten Absicht, den schweren Güterverkehr von der Strasse auf die Bahn zu verlagern, aufdrängen.

7. VERZEICHNISSE UND QUELLEN

7.1. Quellenverzeichnis

- [1] SPACEK P. und KOY Th. (2003) Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen, Schriftenreihe Nr. 1054 des UVEK, Forschungsauftrag Nr. VSS1998/079, IVT-ETH Zürich
- [2] SPACEK P., DÜGGELI Ph. (1984) Geschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen und Gefällen, IVT-ETH Zürich, EVED-Forschungsauftrag Nr. 21/80
- [3] BOPPART E., LINDENMANN H.P., RANFT B. (1979) Geschwindigkeit in Steigungen und Gefällen, IVT-ETH Zürich, EDI-Forschungsauftrag Nr. 3/77
- [4] Norm SN 640 138b, Linienführung, Zusatzstreifen in Steigungen und Gefällen, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich, Februar 2005
- [5] SPACEK P. (1998) Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven, Fahrverhalten in Kurvenbereichen“, EVED-Forschungsauftrag Nr. 16/84, IVT-ETH Zürich
- [6] SCHEIFELE U., SPACEK P. (1992) Messpfosten: Eine Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen“, IVT-ETH Zürich, Fonds für Verkehrssicherheit
- [7] KÖLL H., BADER M. und R. HAFELE (2005) „MONITRAF – WP5 FUNDAMENTALS, DIE ENTWICKLUNG DES ALPENQUERENDEN STRASSEN GÜTERVERKEHRS“, im Auftrag der Landesagentur für Umwelt der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol, Reith bei Seefeld
- [8] Bundesamt für Raumentwicklung ARE, (2006) „Güterverkehr durch die Schweizer Alpen 2005“, Eidgenössisches Departement für Umwelt Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
- [9] DREWS O. (1996) Verkehrliche Auswirkungen der Anordnung von Überholverböten für LKW auf Autobahnen, Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen, Heft 15, Ruhr-Universität Bochum, im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Untersuchungsvorgehen	11
Abb. 2:	Verschiedene Ansichten des Messpfostens	13
Abb. 3:	Prinzip der Messanordnung für Geschwindigkeitsmessungen in Steigungsrichtung.....	14
Abb. 4:	Beispiel einer Geschwindigkeitsauswertung für die Messstrecke 2.....	16
Abb. 5:	Geschwindigkeitsverläufe von LW in Steigungen ($V_{15\%}$).....	21
Abb. 6:	Vergleich zwischen Dauergeschwindigkeit in Steigungen von Lastwagen von 2009 (links) und 2002 (rechts) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten).....	26
Abb. 7:	Vergleich zwischen Dauergeschwindigkeit im Gefälle von Lastwagen von 2009 (links) und 2002 (rechts) nach linearem Ansatz (oben) und quadratischem Ansatz (unten).....	27
Abb. 8:	Vergleich der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen (links) und Gefällen (rechts) im Zustand „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009).....	28
Abb. 9:	Vergleich zwischen mittlerer Geschwindigkeit V_M von Lastwagen in Steigungen und deren Standardabweichungen s der Messungen von 2009 und 2002.....	30
Abb. 10:	Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402) 34	
Abb. 11:	Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Mattstetten (Messstelle Nr. 413/414)	34
Abb. 12:	Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen bei Ceneri (Messstelle Nr. 408/409)	35
Abb. 13:	Verteilung der Betriebsgewichte von Nutzfahrzeugen am Brennersee (Messstelle Nr. 159, Österreich) und bei Linz (Messstelle Nr. 83, Österreich), aus [1]	37
Abb. 14:	Entwicklung des alpenquerenden Strassengüterverkehrs nach beförderter Ladung (links) und nach Anzahl Lastwagen (rechts), aus [7]	37

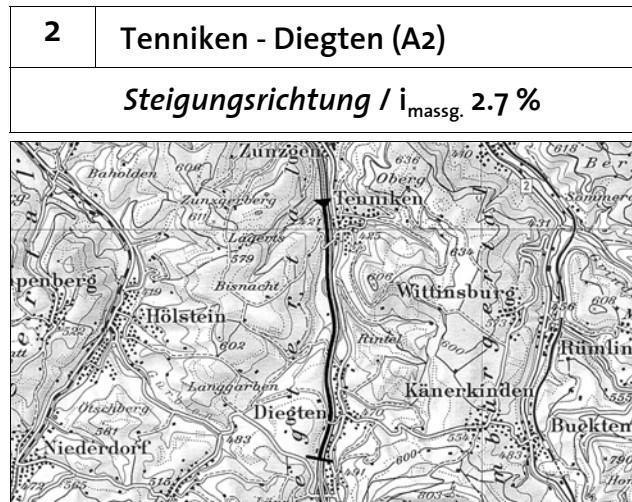
7.3. Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Ausgewählte Untersuchungsstrecken.....	12
Tab. 2:	Ergänzende Messstellen	13
Tab. 3:	Vergleich der Geschwindigkeitsdifferenzen $V_{85\%} - V_{15\%}$ (ΔV) von LW am Ende der Neigungsstrecke zwischen den Zuständen 2002 und 2009.....	18
Tab. 4:	Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten und Standardabweichungen von LW zwischen 2002 und 2009	19
Tab. 5:	Vergleich der Dauergeschwindigkeiten ($V_{15\%}$) von LW zwischen 2009 und 2002	20
Tab. 6:	Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken 2009	22
Tab. 7:	Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken 2002 [1].....	22
Tab. 8:	Vergleich der Geschwindigkeitsveränderungen von Lastwagen entlang der Neigungsstrecken in den Zuständen 2002 [1] und 2009	23
Tab. 9:	Zur Ergänzung der Stichprobe für die Regressionsberechnungen zusätzlich einbezogene Messquerschnitte im Zufahrtsbereich und ergänzende Messungen (E).....	24
Tab. 10:	Ergebnisse der Regressionsberechnungen für Lastwagen (2009)	25
Tab. 11:	Vergleich der berechneten Geschwindigkeiten V_D für Lastwagen in Steigungen und Gefällen im Zustand „Vorher“ (2002) und „Nachher“ (2009).....	28
Tab. 12:	Vergleich der mittleren Geschwindigkeiten V_M und Standardabweichungen s von Lastwagen in Steigungsrichtung s zwischen 2002 und 2009	29
Tab. 13:	Festgelegte Gewichtsklassen.....	33
Tab. 14:	Veränderungen der Betriebsgewichte im Gotthardtunnel (Messstelle Nr. 402)	34
Tab. 15:	Veränderungen der Betriebsgewichte bei Mattstetten (Messstelle Nr. 413/414).....	35
Tab. 16:	Veränderungen der Betriebsgewichte im Zustand „Nachher“ bei Ceneri (Messstelle Nr. 408/409)	36
Tab. 17:	Vergleich der Anteile in den Gewichtsgruppen in verschiedenen Zeitperioden	36

Anhänge

Anhang 1:	Untersuchungsstrecken Nr. 1 bis 19	(Beilagen 1.1 – 1.15)
Anhang 2:	Ergänzende Messungen	(Beilagen 2.1 – 2.3)
Anhang 3	WIM - Messungen	(Beilagen 3.1 – 3.6)

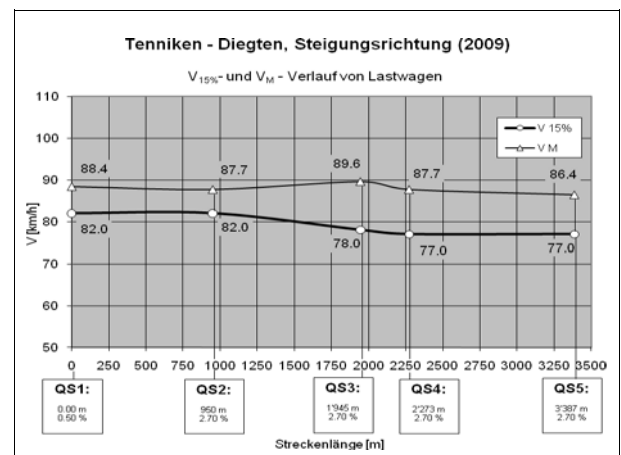
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



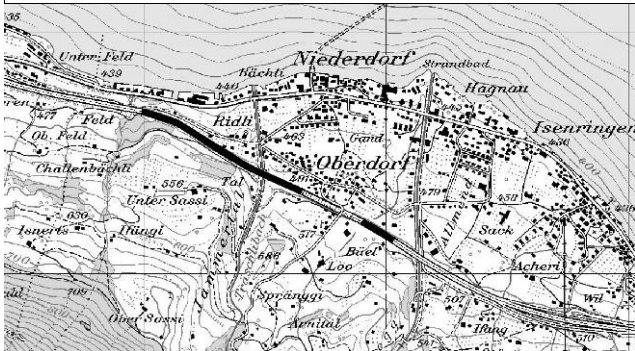
Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei	0.50 %	2.70 %	2.70 %	2.70 %	2.70 %
Querschnitt:					
Dist. zu Nullpunkt:	0.0 m	950 m	1'945 m	2'273.0 m	3'387.0

Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)						
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	QS 5	
V-Bereich	70 - 135	65 - 130	60 - 120	55 - 120	55 - 120	
Anzahl Fz.	432	451	343	495	491	
V_M	88.4	87.7	89.6	87.7	86.4	
Standardabw.	8.7	8.3	12.9	11.9	10.2	
$V_{0.5\%}$	76.0	76.0	71.0	70.0	71.0	
$V_{15\%}$	82.0	82.0	78.0	77.0	77.0	
$V_{50\%}$	87.0	87.0	86.0	87.0	87.0	
$V_{85\%}$	95.0	91.0	105.0	99.0	93.0	
$V_{95\%}$	105.0	102.0	114.0	112.0	104.0	



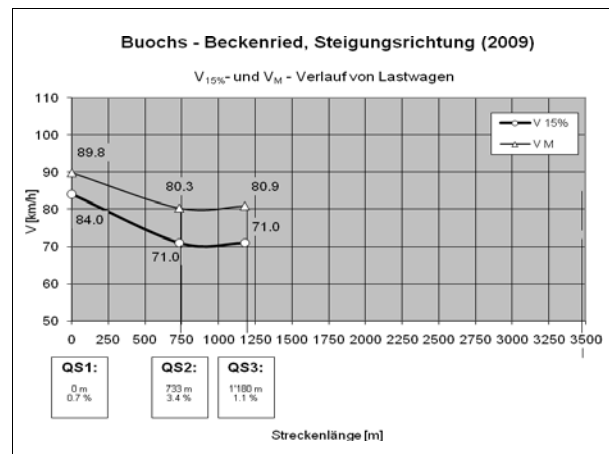
UNTERSUCHUNGSSTRECKE

20 **Buchs - Beckenried (A2)**
Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 3.4 %


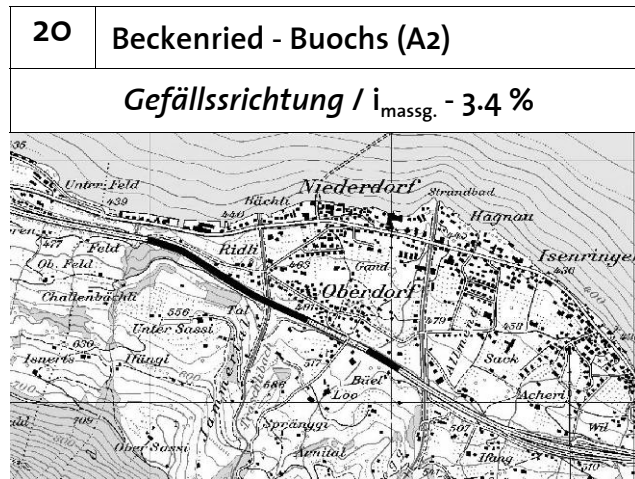
Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei			
Querschnitt:	-0.70%	3.40%	1.10%
Dist. zu Nullpunkt:	0	733	1180

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3			
V-Bereich	60 - 140	60 - 130	50 - 140			
Anzahl Fz.	201	164	240			
V_M	89.8	80.3	80.9			
Standardabw.	7.9	9.3	10.9			
$V_{05\%}$	80.0	66.0	65.7			
$V_{15\%}$	84.0	71.0	71.0			
$V_{50\%}$	89.0	80.0	81.0			
$V_{85\%}$	95.0	88.0	88.0			
$V_{95\%}$	106.0	94.0	98.0			



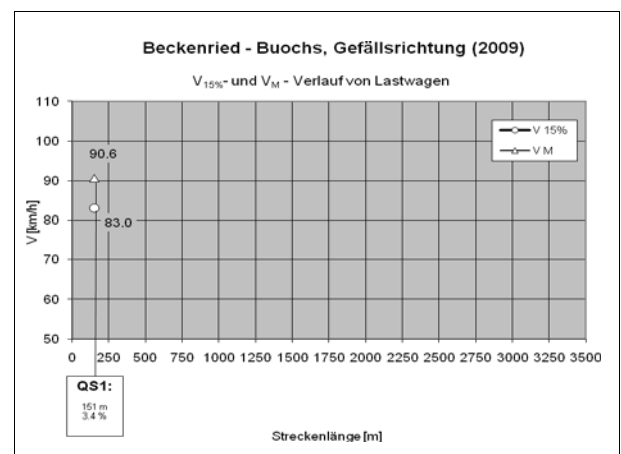
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei
Querschnitt: 3.4 %
Dist. zu Nullpunkt: 151 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)					
Querschnitt	QS 1				
V-Bereich	50 - 130				
Anzahl Fz.	274				
V_M	90.6				
Standardabw.	8.5				
$V_{05\%}$	80.0				
$V_{15\%}$	83.0				
$V_{50\%}$	89.0				
$V_{85\%}$	99.0				
$V_{95\%}$	108.0				



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

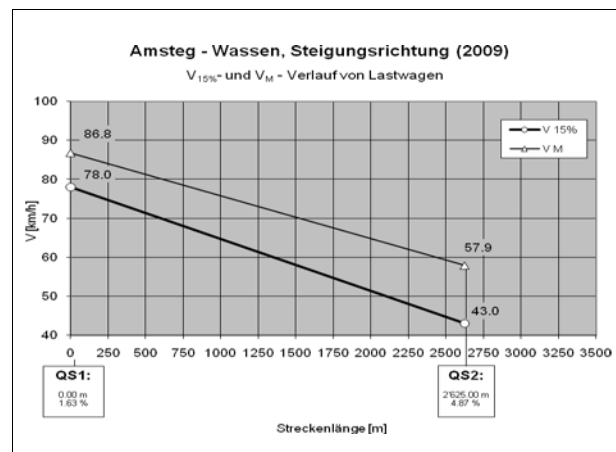
8	Amsteg - Wassen (A2)
Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 4.9 %	



Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei
 Querschnitt: 1.63 % 4.87 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 2'625.0 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)						
Querschnitt	QS 1	QS 2				
V-Bereich	45 - 120	35 - 120				
Anzahl Fz.	395	356				
V_M	86.8	57.9				
Standardabw.	10.3	13.9				
$V_{05\%}$	72.0	40.0				
$V_{15\%}$	78.0	43.0				
$V_{50\%}$	86.0	55.0				
$V_{85\%}$	96.0	73.0				
$V_{95\%}$	107.0	83.0				



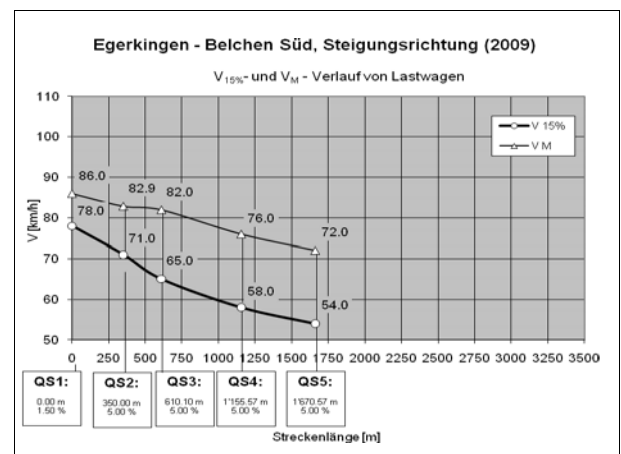
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



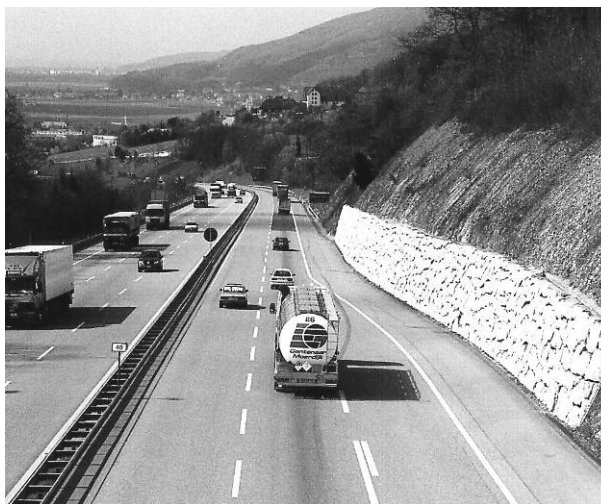
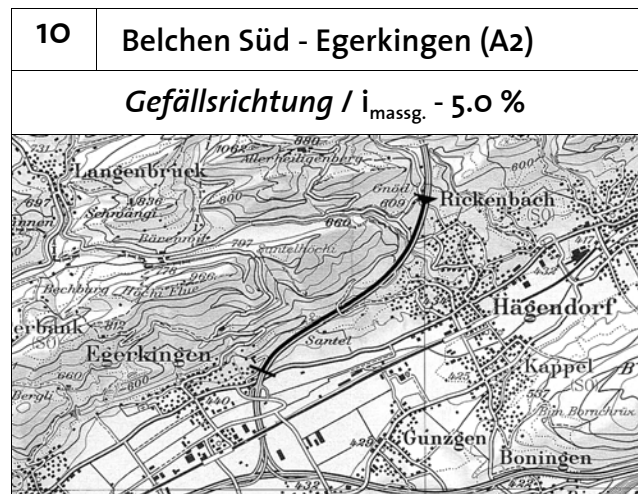
Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei	1.50 %	5.00 %	5.00 %	5.00 %	5.00 %
Querschnitt:					
Dist. zu Nullpunkt:	0.0 m	350.0 m	610.0 m	1'155.6 m	1'670.6 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)					
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	QS 5
V-Bereich	60 - 120	40 - 120	40 - 120	40 - 120	30 - 110
Anzahl Fz.	637	530	215	344	362
V_M	86.0	82.9	82.0	76.0	72.0
Standardabw.	9.5	12.3	14.9	16.6	14.3
$V_{05\%}$	74.0	62.0	60.0	47.0	45.0
$V_{15\%}$	78.0	71.0	65.0	58.0	54.0
$V_{50\%}$	85.0	83.0	82.0	77.0	75.0
$V_{85\%}$	92.0	94.0	98.0	92.0	86.0
$V_{95\%}$	107.0	106.0	107.0	103.0	90.0



UNTERSUCHUNGSSTRECKE



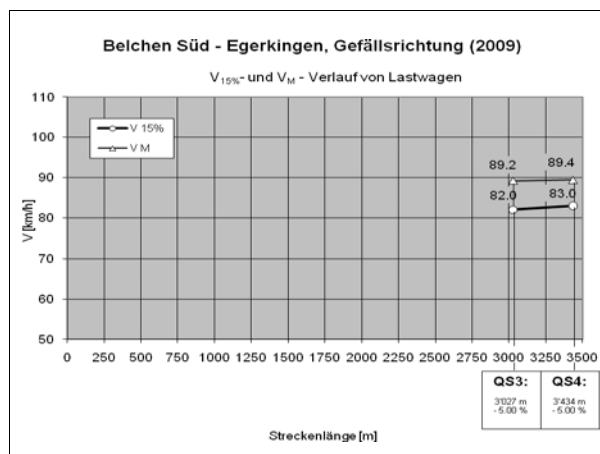
Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei -5.00% -5.00%

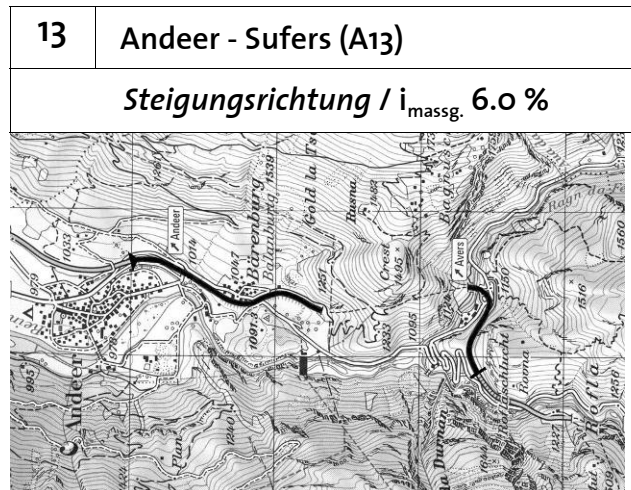
Querschnitt:

Dist. zu Nullpunkt: $3'027 \text{ m}$ 3424 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)					
Querschnitt		Q S3	Q S4		
V-Bereich		60 - 130	60 - 130		
Anzahl Fz.		298	343		
V_M		89.2	89.4		
Standardabw.		8.2	6.7		
$V_{05\%}$		75.0	79.0		
$V_{15\%}$		82.0	83.0		
$V_{50\%}$		89.0	90.0		
$V_{85\%}$		95.0	95.0		
$V_{95\%}$		104.0	100.0		



UNTERSUCHUNGSSTRECKE



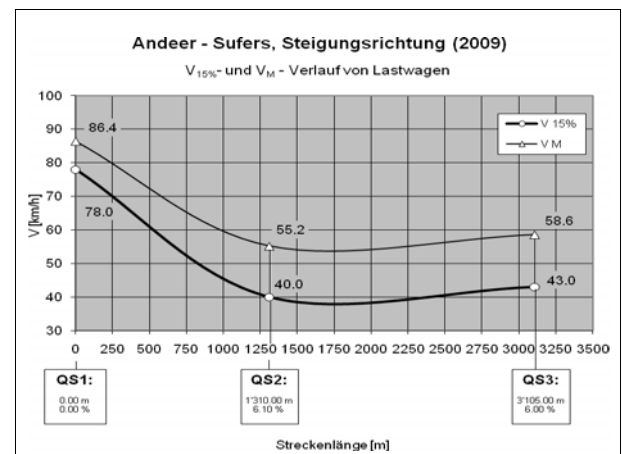
Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei
 Querschnitt:
 Dist. zu Nullpunkt:

0.00 % 6.10 % 6.00 %

0.0 m 1'310.0 m 3'105.0 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3			
V-Bereich	60 - 105	20 - 100	35 - 95			
Anzahl Fz.	131	137	115			
V_M	86.4	55.2	58.6			
Standardabw.	7.9	14.3	14.8			
$V_{05\%}$	75.0	34.0	40.0			
$V_{15\%}$	78.0	40.0	43.0			
$V_{50\%}$	87.0	55.0	58.0			
$V_{85\%}$	93.0	71.0	74.0			
$V_{95\%}$	101.0	79.0	85.0			



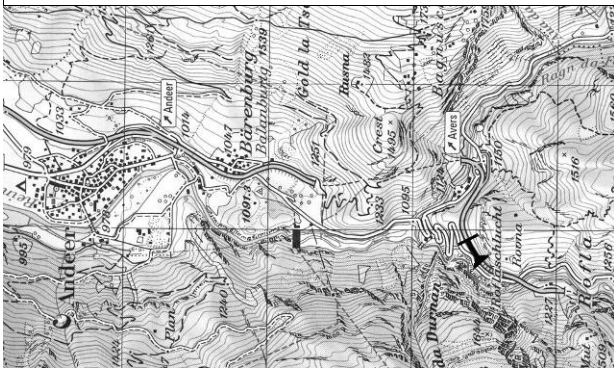
Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

13 Sufers – Andeer (A13)

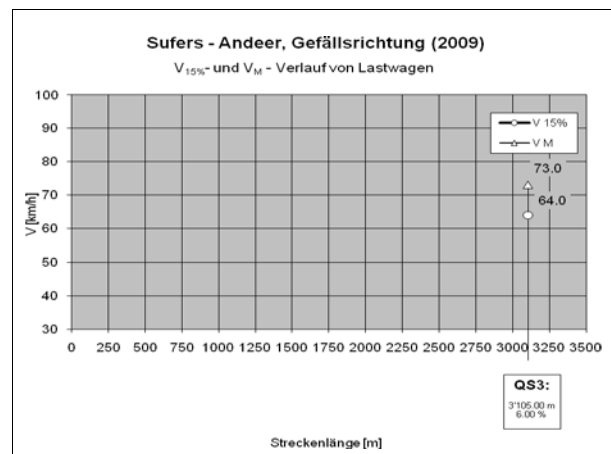
Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ - 6.0 %



Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei - 6.00 %
 Querschnitt:
 Dist. zu Nullpunkt: 3'105 m

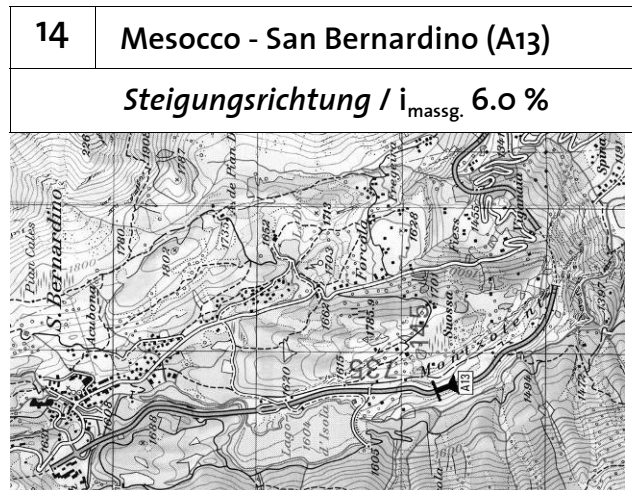
Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)						
Querschnitt	QS 3					
V-Bereich	45 - 100					
Anzahl Fz.	89					
V_M	73.0					
Standardabw.	10.5					
$V_{05\%}$	57.0					
$V_{15\%}$	64.0					
$V_{50\%}$	73.0					
$V_{85\%}$	84.0					
$V_{95\%}$	86.0					



Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100
 Messung in QS 3 erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

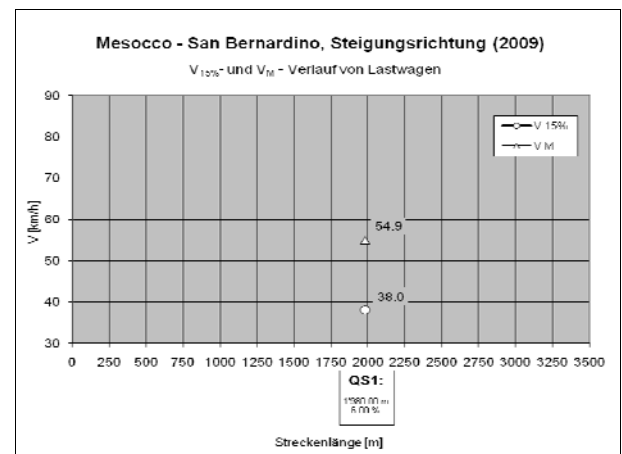
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei 6.00 %
 Querschnitt:
 Dist. zu Nullpunkt: 1'980.0 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1					
V-Bereich	20 - 95					
Anzahl Fz.	98					
V_M	54.9					
Standardabw.	16.0					
$V_{05\%}$	35.0					
$V_{15\%}$	38.0					
$V_{50\%}$	51.0					
$V_{85\%}$	74.0					
$V_{95\%}$	89.0					



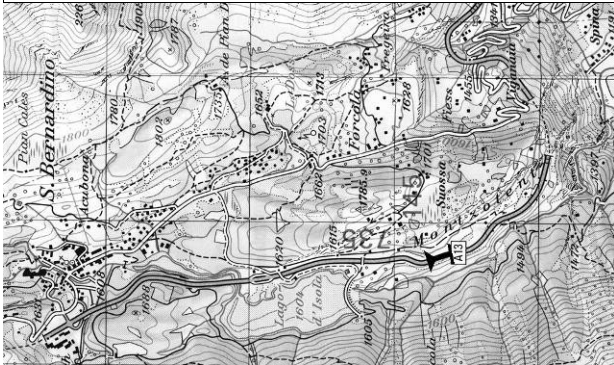
Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

UNTERSUCHUNGSSTRECKE

14 San Bernardino – Mesocco (A13)

Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ - 6.0 %



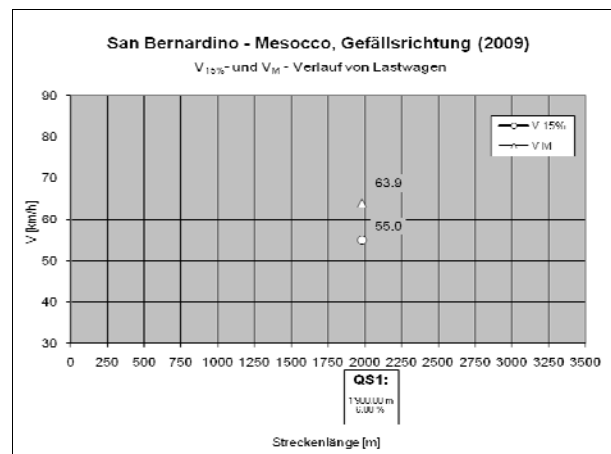
Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei - 6.00 %

Querschnitt:

Dist. zu Nullpunkt: 1'980.0 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)						
Querschnitt	QS 1					
V-Bereich	35 - 75					
Anzahl Fz.	126					
V_M	63.9					
Standardabw.	10.6					
$V_{05\%}$	46.0					
$V_{15\%}$	55.0					
$V_{50\%}$	64.7					
$V_{85\%}$	72.0					
$V_{95\%}$	87.0					



Bemerkungen

2-streifige HLS ohne Richtungstrennung mit Temporegime 80/100

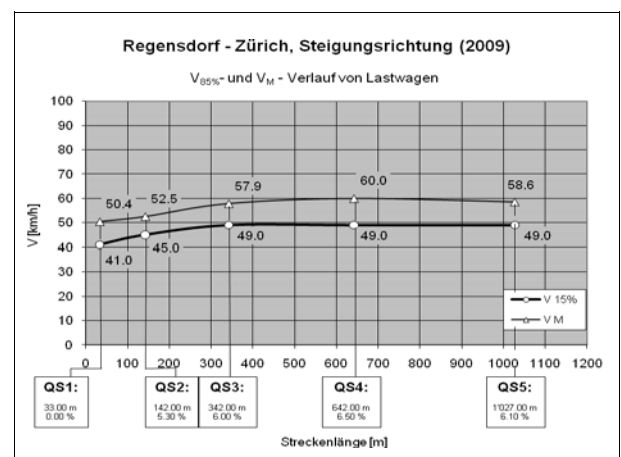
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

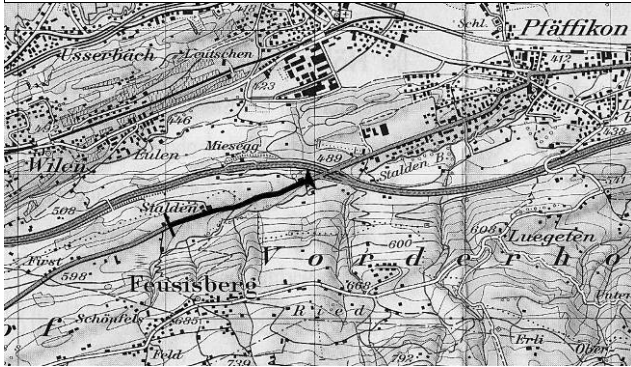
	15 a	15
Neigung bei	0.00 %	5.30 %
Querschnitt:	6.00 %	6.50 %
Dist. zu Nullpunkt:	33.0 m	142.0 m
	342.0 m	642.0 m
	1'027.0 m	

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	QS 5	
V-Bereich	24 - 86	30 - 95	40 - 100	40 - 90	40 - 90	
Anzahl Fz.	548	447	501	417	553	
V_M	50.4	52.5	57.9	60.0	58.6	
Standardabw.	10.7	9.3	11.0	11.0	10.2	
$V_{05\%}$	32.0	39.0	43.0	40.0	44.0	
$V_{15\%}$	41.0	45.0	49.0	49.0	49.0	
$V_{50\%}$	49.0	51.0	56.0	61.0	56.0	
$V_{85\%}$	59.0	60.0	72.0	70.0	70.0	
$V_{95\%}$	76.0	66.0	80.0	80.0	79.0	



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

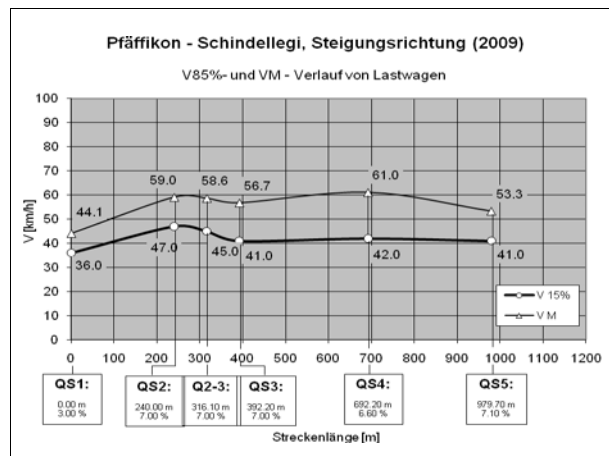
17 Pfäffikon - Schindellegi (unten)

Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 7.1 %


Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

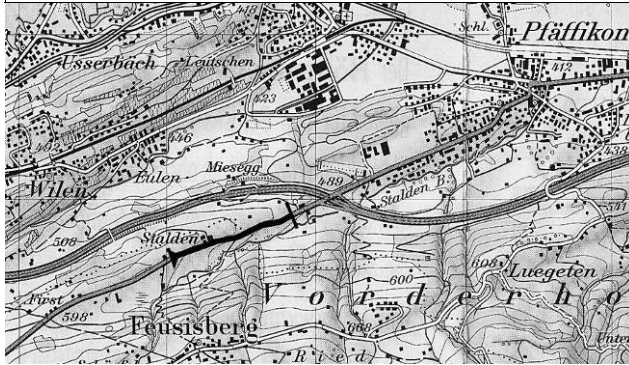
Neigung bei
 Querschnitt: 3.00 % 7.00 % 7.00 % 7.00 % 6.60 % 7.10 %
 Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 240.0 m 316.1 m 392.2 m 692.2 m 979.7 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 2 - 3	QS 3	QS 4	QS 5
V-Bereich	30 - 80	31 - 85		25 - 80	20 - 80	20 - 80
Anzahl Fz.	29	42		70	69	75
V_M	44.1	59.0	58.6	62.0	56.7	61.0
Standardabw.	10.1	10.6		12.8	14.5	14.2
$V_{05\%}$	32.0	41.0		34.0	28.0	34.0
$V_{15\%}$	36.0	47.0	45.0	45.0	41.0	42.0
$V_{50\%}$	41.0	59.0			60.0	64.0
$V_{85\%}$	54.0	70.0		71.0	71.0	74.0
$V_{95\%}$	65.0	74.0		77.0	78.0	79.0



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

17 Schindellegi - Pfäffikon (unten)

Gefällsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ - 7.0 %


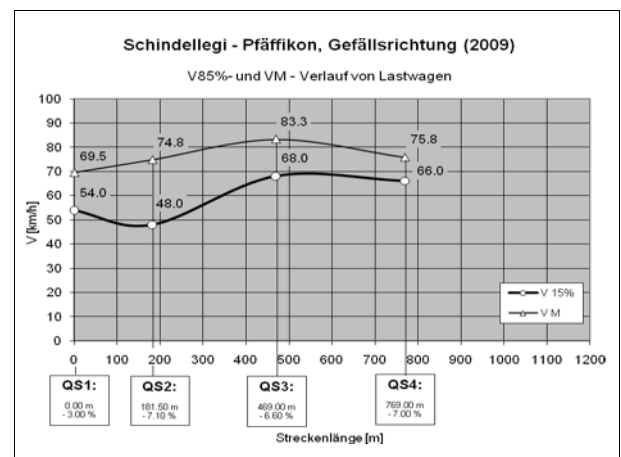
Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei - 3.00 % - 7.10 % - 6.60 % - 7.00 %

Querschnitt:

Dist. zu Nullpunkt: 0.0 m 181.5 m 469.0 m 769.0 m

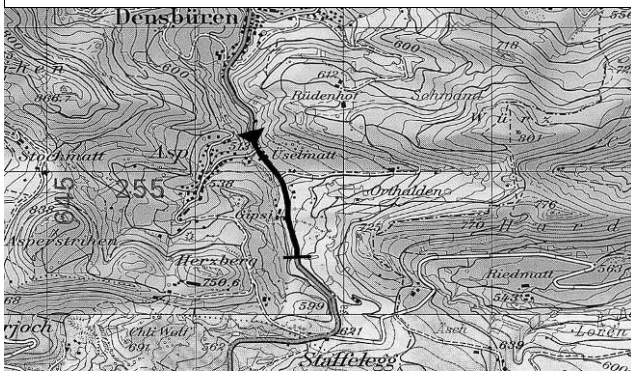
Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)					
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	
V-Bereich	40 - 90	40 - 90	40 - 90	40 - 90	
Anzahl Fz.	13	5	6	16	
V_M	69.5	74.8	83.3	75.8	
Standardabw.	11.8	16.2	11.1	10.1	
$V_{05\%}$	54.0	48.0	68.0	51.0	
$V_{15\%}$	54.0	48.0	68.0	66.0	
$V_{50\%}$	69.0	76.0	79.0	76.0	
$V_{85\%}$	84.0	90.0	99.0	86.0	
$V_{95\%}$	89.0	90.0	99.0	90.0	



UNTERSUCHUNGSSTRECKE

19 Densbüren - Staffelegg

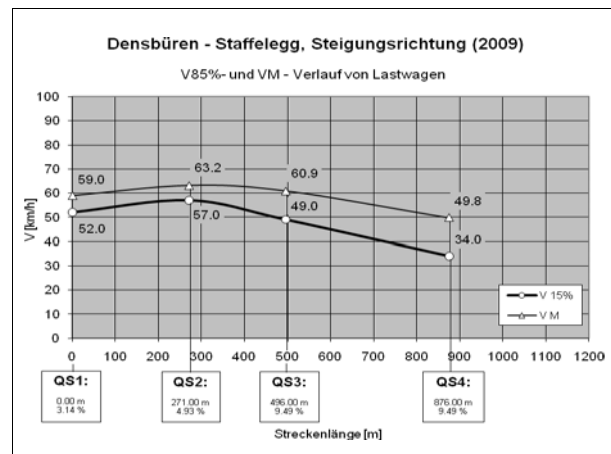
Steigungsrichtung / $i_{\text{massg.}}$ 9.5 %



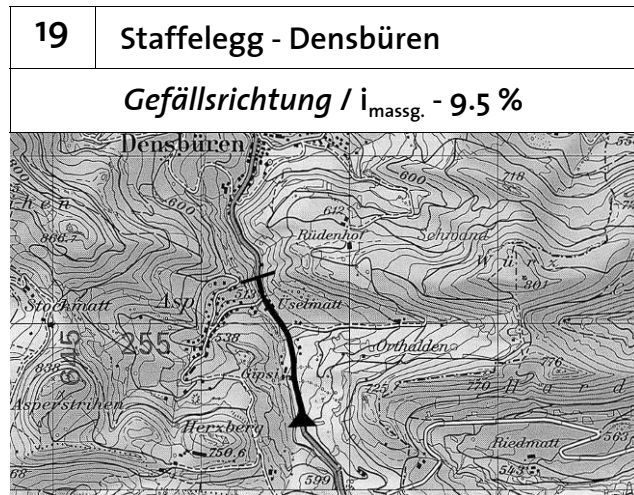
Messergebnisse Steigungsrichtung 2009

Neigung bei	3.14 %	4.93 %	9.49 %	9.49 %
Querschnitt:				
Dist. zu Nullpunkt:	0.0 m	271.0 m	496.0 m	876.0 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4$ sec. / $L > 6.5$ m)					
Querschnitt	QS 1	QS 2	QS 3	QS 4	
V-Bereich	30 - 80	20 - 80	20 - 80	15 - 70	
Anzahl Fz.	101	89	77	88	
V_M	59.0	63.2	60.9	49.8	
Standardabw.	8.5	8.5	11.0	12.6	
$V_{0.5\%}$	40.0	53.0	44.0	27.0	
$V_{15\%}$	52.0	57.0	49.0	34.0	
$V_{50\%}$	91.0	63.0	61.0	51.0	
$V_{85\%}$	66.0	71.0	73.0	62.0	
$V_{95\%}$	69.0	75.0	78.0	70.0	



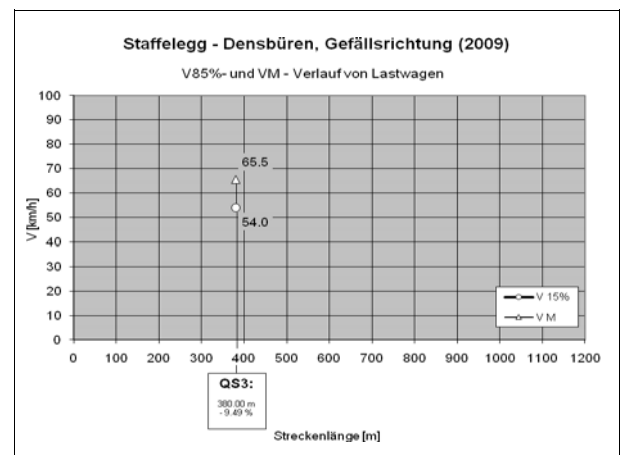
UNTERSUCHUNGSSTRECKE



Messergebnisse Gefällsrichtung 2009

Neigung bei - 9.49 %
 Querschnitt:
 Dist. zu Nullpunkt: 380 m

Lastwagen ($\Delta t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 3					
V-Bereich	20 - 90					
Anzahl Fz.	33					
V_M	65.5					
Standardabw.	13.2					
$V_{05\%}$	48.0					
$V_{15\%}$	54.0					
$V_{50\%}$	64.0					
$V_{85\%}$	74.0					
$V_{95\%}$	85.0					

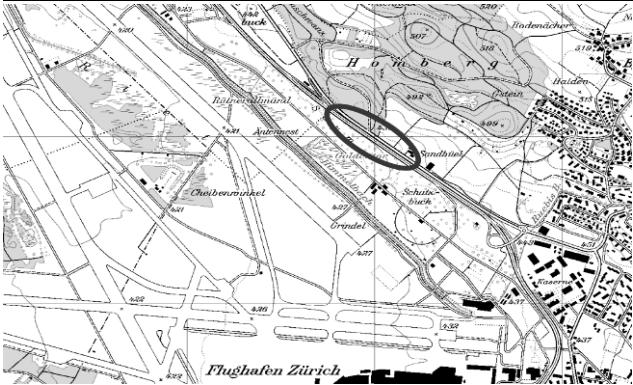


Bemerkungen

Messung in QS 3 erfolgte gleichzeitig mit Messung in Steigungsrichtung

ERGÄNZENDE MESSUNGEN

Kloten (A51) / $i_{\text{massg.}} - 0.19 \%$
<i>Gefällsrichtung</i>

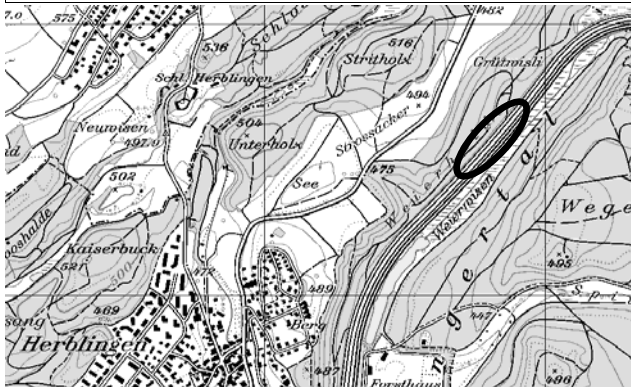


Messergebnisse 2009

Lastwagen ($t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1					
V-Bereich	60 - 120					
Anzahl Fz.	366					
V_M	88.0					
Standardabw.	5.2					
$V_{05\%}$	80.0					
$V_{15\%}$	84.0					
$V_{50\%}$	88.0					
$V_{85\%}$	91.0					
$V_{95\%}$	96.0					

ERGÄNZENDE MESSUNGEN

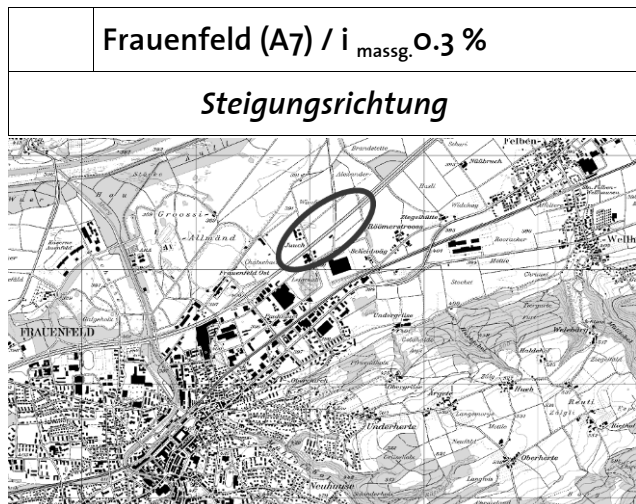
Thayngen (J15) / $i_{\text{massg.}}$ 0 %
Kein Gefälle bzw. Steigung



Messergebnisse 2009

Lastwagen ($t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6,5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1					
V-Bereich	50 - 120					
Anzahl Fz.	164					
V_M	79.2					
Standardabw.	6.8					
$V_{05\%}$	68.0					
$V_{15\%}$	71.0					
$V_{50\%}$	80.0					
$V_{85\%}$	85.0					
$V_{95\%}$	89.0					

ERGÄNZENDE MESSUNGEN



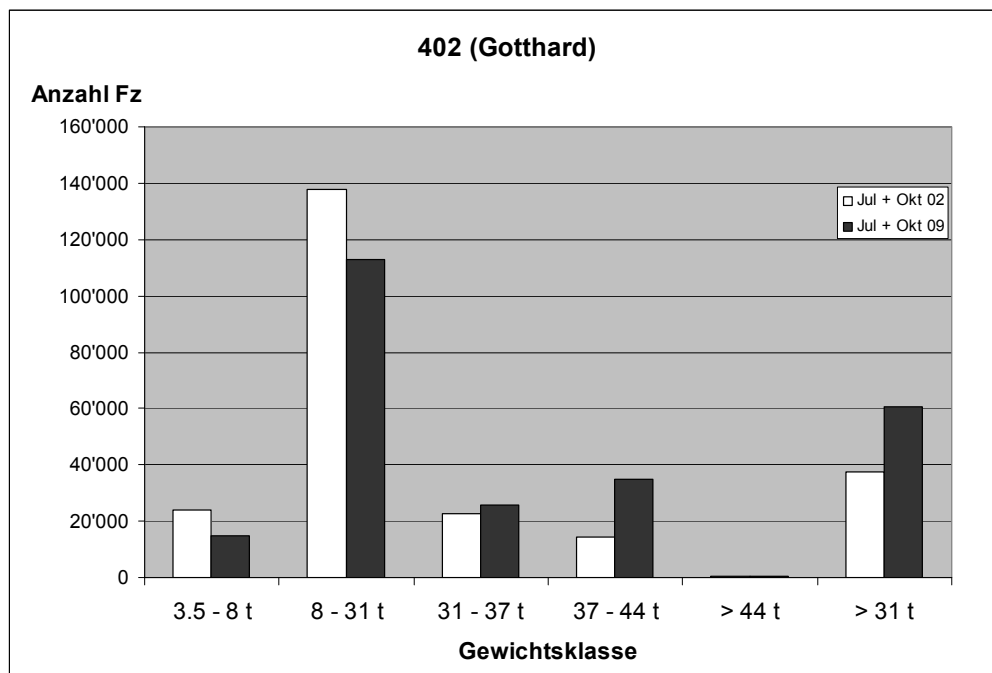
Messergebnisse 2009

Lastwagen ($t \geq 4 \text{ sec.} / L > 6.5 \text{ m}$)						
Querschnitt	QS 1					
V-Bereich	20 - 90					
Anzahl Fz.	130					
V_M	88.8					
Standardabw.	4.6					
$V_{05\%}$	82.0					
$V_{15\%}$	84.0					
$V_{50\%}$	89.0					
$V_{85\%}$	93.0					
$V_{95\%}$	98.0					

WIM - MESSUNGEN

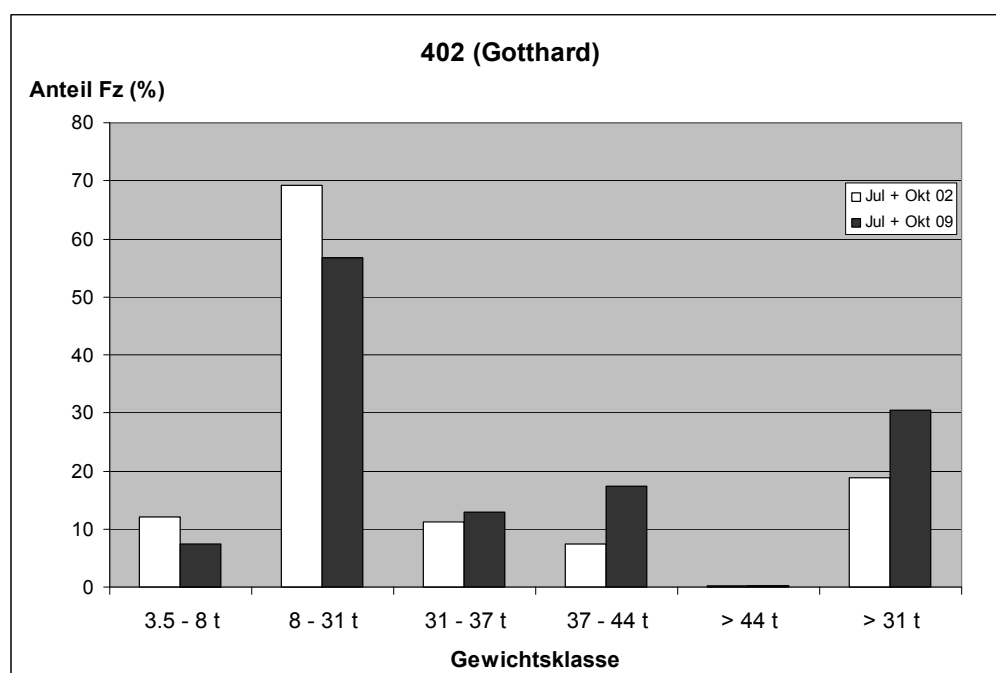
Gotthardtunnel (Messstelle 402) nach Anzahl Fahrzeugen

(Vergleich 2002 / 2009)



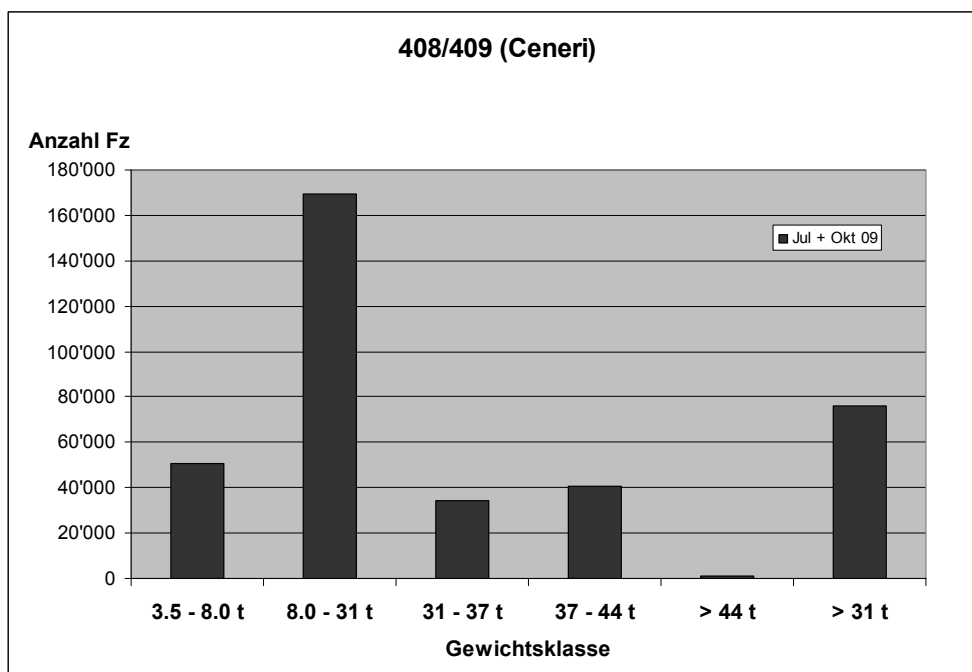
Gotthardtunnel (Messstelle 402) nach Anteil Fahrzeugen

(Vergleich 2002 / 2009)



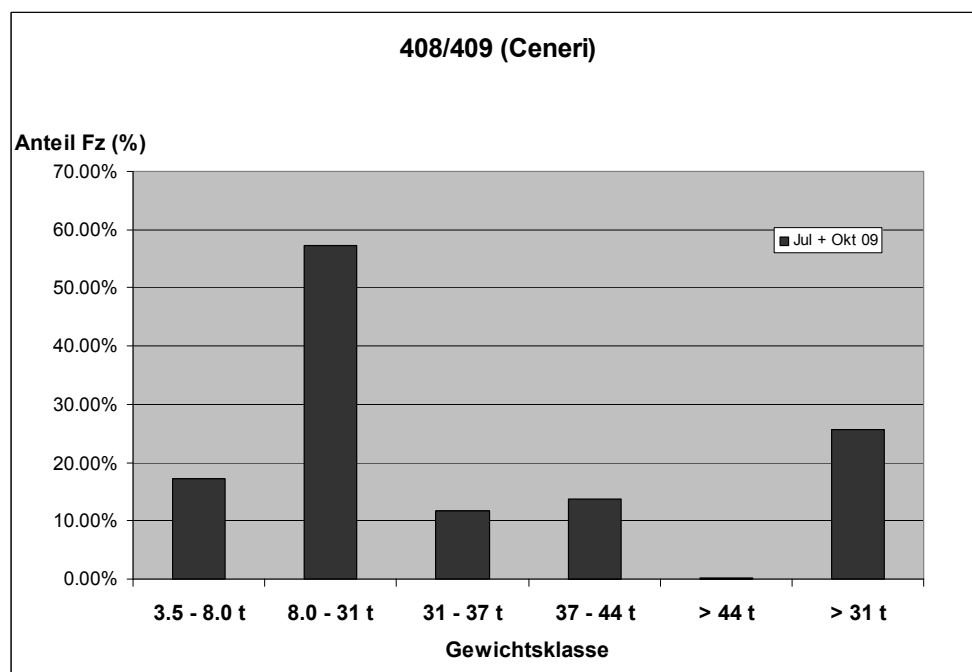
Ceneri (Messstelle 408/409) nach Anzahl Fahrzeugen

(2009)



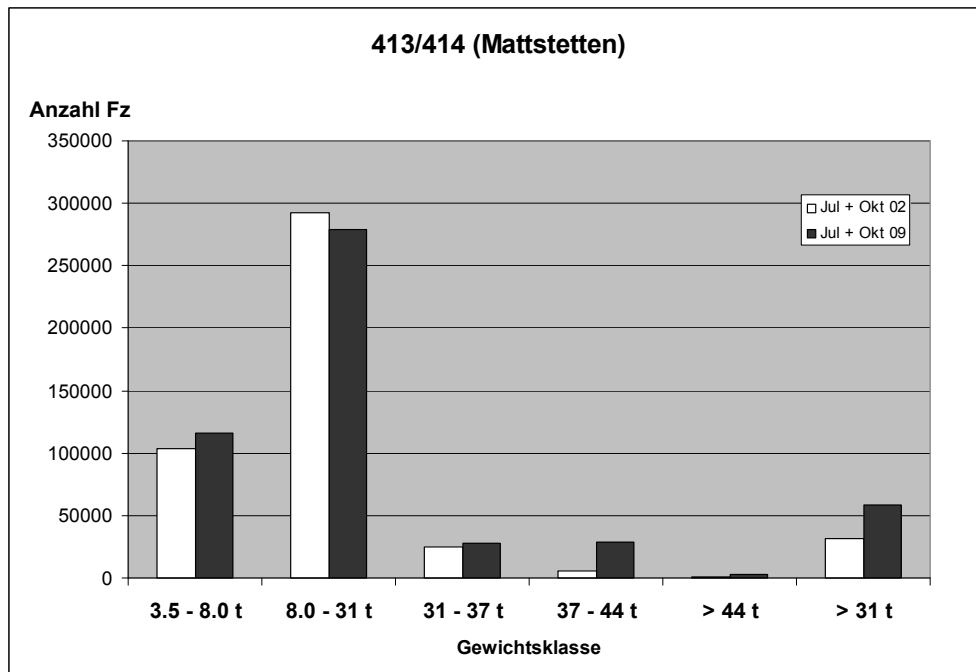
Ceneri (Messstelle 408/409) nach Anteil Fahrzeugen

(2009)



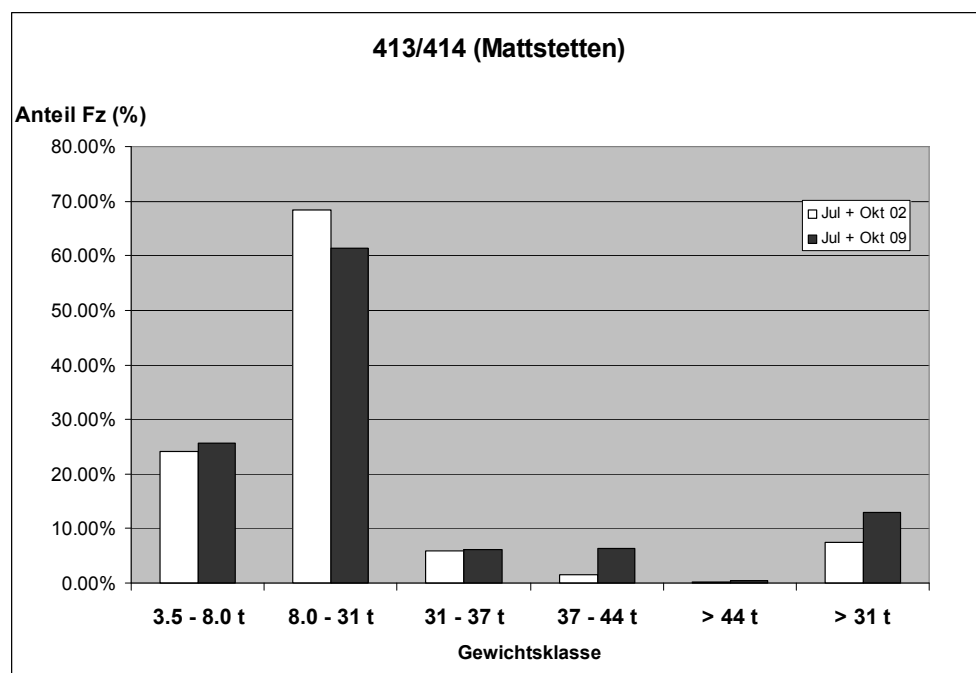
Mattstetten (Messstelle 413/414) nach Anzahl Fahrzeugen

(Vergleich 2002 / 2009)



Mattstetten (Messstelle 413/414) nach Anteil Fahrzeugen

(Vergleich 2002 / 2009)



Messergebnisse der WIM-Messung –Fahrzeuge

		Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	Okt 09	Jul + Okt 09	Jul-Okt 09
402 - Gotthard	3.5 - 8.0 t	12'608	18'885	17'905	13'156	12'860	31'745	75'414
	8.0 - 31 t	50'486	55'517	39'671	54'095	57'416	112'933	257'185
	31 - 37 t	11'650	12'973	7'670	12'718	12'627	25'600	57'638
	37 - 44 t	14'512	17'020	10'092	16'512	17'692	34'712	75'828
	> 44 t	146	122	78	132	133	255	611
408/409 - Ceneri	> 31 t	26'308	30'115	17'840	29'362	30'452	60'567	134'077
	Σ	89'402	104'517	75'416	96'613	100'728	205'245	466'676
	3.5 - 8.0 t	22'134	29'412	28'606	22'975	21'482	50'894	124'609
	8.0 - 31 t	77'319	84'356	58'053	82'089	85'135	169'491	386'952
	31 - 37 t	15'386	17'416	9'364	16'468	16'960	34'376	75'594
413/414 - Mattstetten	37 - 44 t	16'957	20'809	11'644	19'832	19'803	40'612	89'045
	> 44 t	640	512	154	346	364	876	2'016
	> 31 t	32'983	38'737	21'162	36'646	37'127	75'864	166'655
	Σ	132'436	152'505	107'821	141'710	143'744	296'249	678'216
	3.5 - 8.0 t	56'059	61'225	60'546	58'253	55'212	116'437	291'295
	8.0 - 31 t	136'758	137'973	126'503	140'229	140'884	278'857	682'347
	31 - 37 t	13'290	13'626	12'260	14'509	13'961	27'587	67'646
	37 - 44 t	13'424	15'320	12'962	15'137	13'294	28'614	70'137
	> 44 t	845	1'678	1'492	1'095	795	2'473	5'905
	> 31 t	27'559	30'624	26'714	30'741	28'050	58'674	143'688
	Σ	220'376	229'822	213'763	229'223	224'146	453'968	1'117'330

Messergebnisse der WIM-Messung – Anteile

		Jun 09	Jul 09	Aug 09	Sep 09	Okt 09	Jul+Okt 09	Jul-Okt 09
402 - Gotthard	3.5 - 8.0 t	14.10%	18.07%	23.74%	13.62%	12.77%	15.47%	16.16%
	8.0 - 31 t	56.47%	53.12%	52.60%	55.99%	57.00%	55.02%	55.11%
	31 - 37 t	13.03%	12.41%	10.17%	13.16%	12.54%	12.47%	12.35%
	37 - 44 t	16.23%	16.28%	13.38%	17.09%	17.56%	16.91%	16.25%
	> 44 t	0.16%	0.12%	0.10%	0.14%	0.13%	0.12%	0.13%
	> 31 t	29.43%	28.81%	23.66%	30.39%	30.23%	29.51%	28.73%
408/409 - Ceneri	Σ	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	3.5 - 8.0 t	16.71%	19.29%	26.53%	16.21%	14.94%	17.18%	18.37%
	8.0 - 31 t	58.38%	55.31%	53.84%	57.93%	59.23%	57.21%	57.05%
	31 - 37 t	11.62%	11.42%	8.68%	11.62%	11.80%	11.60%	11.15%
	37 - 44 t	12.80%	13.64%	10.80%	13.99%	13.78%	13.71%	13.13%
	> 44 t	0.48%	0.34%	0.14%	0.24%	0.25%	0.30%	0.30%
413/414 - Mattstetten	> 31 t	24.90%	25.40%	19.63%	25.86%	25.83%	25.61%	24.57%
	Σ	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	3.5 - 8.0 t	25.44%	26.64%	28.32%	25.41%	24.63%	25.65%	26.07%
	8.0 - 31 t	62.06%	60.03%	59.18%	61.18%	62.85%	61.43%	61.07%
	31 - 37 t	6.03%	5.93%	5.74%	6.33%	6.23%	6.08%	6.05%
	37 - 44 t	6.09%	6.67%	6.06%	6.60%	5.93%	6.30%	6.28%
413/414 - Mattstetten	> 44 t	0.38%	0.73%	0.70%	0.48%	0.35%	0.54%	0.53%
	> 31 t	12.51%	13.33%	12.50%	13.41%	12.51%	12.92%	12.86%
	Σ	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Messwerte der Messstellen von Juli und Oktober 2009

(Summe Juli und Oktober)

	Anzahl Fahrzeuge		Anteil Fahrzeuge	
	3.5 - 31.0 t	> 31.0 t	3.5 - 31.0 t	> 31.0 t
402 Gotthardtunnel	144'678	60'567	70.49%	29.51%
408/409 Ceneri	220'385	75'864	74.39%	25.61%
413/414 Mattstetten	395'294	58'674	87.08%	12.92%
	760'357	195'105	77.32%	22.68%

Messwerte der Messstellen von Juni bis Oktober 2009

(Summe Juni bis Oktober)

	Anzahl Fahrzeuge		Anteil Fahrzeuge	
	3.5 - 31.0 t	> 31.0 t	3.5 - 31.0 t	> 31.0 t
402 Gotthardtunnel	332'599	134'077	71.27%	28.73%
408/409 Ceneri	511'561	166'655	75.43%	24.57%
413/414 Mattstetten	973'642	143'688	87.14%	12.86%
	1'817'802	444'420	77.95%	22.05%

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
Fz	Fahrzeug
HLS	Hochleistungsstrasse (Autobahn oder Autostrasse)
i	Längsneigung [%]
L	Länge der Neigungsstrecke [m]
LW	Lastwagen
PW	Personenwagen
QS	(Mess)Querschnitt
s	Standardabweichung der Geschwindigkeiten [km/h]
s ² (oder σ)	Varianz der Geschwindigkeiten
V _{15%}	Geschwindigkeit der 15-Percentile aus der Geschwindigkeitsverteilung [km/h]
V _{85%}	Geschwindigkeit der 85-Percentile aus der Geschwindigkeitsverteilung [km/h]
V _B	Geschwindigkeit zu Beginn der Neigungsstrecke [km/h]
V _D	Dauergeschwindigkeit [km/h] auf der Neigungsstrecke
V _E	Geschwindigkeit am Ende der Neigungsstrecke [km/h]
V _M	Mittlere Geschwindigkeit (arithmetischer Mittel) [km/h]
V _Z	Zufahrtsgeschwindigkeit [km/h] vor der Neigungsstrecke
V _{zul}	Zulässige Höchstgeschwindigkeit (generell oder signalisiert) [km/h]
WIM	Weigh-in-motion, englische Abkürzung für Gewichtsmessungen von Fahrzeugen
Δs	Differenz der Standardabweichung [km/h]
Δt	Zeitlücke [sec]
ΔV	Geschwindigkeitsdifferenz [km/h]

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

ARAMIS SBT

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: Juni 2010

Grunddaten

Projekt-Nr.: ASTRA2009/010

Projekttitel: Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung

Enddatum: Juni 2010

Texte:

Zusammenfassung der
Projektresultate:

In der vorliegenden Untersuchung standen die Veränderungen der Geschwindigkeiten von Lastwagen auf Neigungsstrecken im Vordergrund. Zu diesem Zweck wurden auf Hochleistungsstrassen und auf Hauptstrassen ausserorts im Jahre 2009 (Zustand „Nachher“ bzw. nach Wegfall der Kontingentierung von Fahrten mit Gesamtgewicht über 28t) Messungen an mehreren Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen durchgeführt und den Ergebnissen der Erhebungen im Jahr 2002 (Zustand „Vorher“) gegenübergestellt.

Die Erhebungen haben gezeigt, dass sich die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen am Ende der Neigungsstrecken zwischen den Zuständen 2002 und 2009 praktisch nicht verändert haben, obwohl die Zahl von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über der früheren Gewichtslimite zwischen den beiden Zuständen stark zugenommen hat.

Die Geschwindigkeitsveränderungen an den vergleichbaren Strecken liegen im Bereich von maximal + 6 bzw. – 4 km/h, im Durchschnitt nur + 0.8 km/h. Die Überprüfung hat ergeben, dass diese Veränderungen statistisch nicht signifikant sind. Der Wegfall der Kontingentierung führte somit nicht zur adäquaten Veränderung der Dauergeschwindigkeiten von Lastwagen in Steigungen. Dabei ist von Bedeutung, dass sich der Anteil von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über 31t zwischen 2002 und 2009 sowohl auf der Nord – Süd – Achse (Zunahme von 18.8 auf 29.5%) als auch in der In der West - Ost - Richtung (Zunahme von 7.5 auf 12.9%) deutlich erhöht hat.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel der Untersuchung war die Überprüfung bzw. Fortschreibung der im Jahre 2002 erhobenen Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen auf längeren Neigungsstrecken. Dabei sollten aufgrund von Erhebungen im Verkehrsablauf auf Strassen ausserorts die Zusammenhänge zwischen der Grösse der Längsneigung und den Geschwindigkeiten von Motorfahrzeugen ermittelt und die Veränderungen gegenüber den früheren Erhebungen quantifiziert werden. Im Vordergrund standen dabei schwere Motorfahrzeuge (Lastwagen). Dieses Ziel wurde mit der Untersuchung erreicht.

Zudem konnten auch die Veränderungen in der Verteilung der Lastwagen-Gesamtgewichte aufgezeigt werden.

Infolge von nur geringen Geschwindigkeitsveränderungen konnten keine neuen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und auf die bestehenden Normen abgeleitet werden.

Folgerungen und Empfehlungen:

Bereits aufgrund des Vergleichs zwischen den Zuständen 1999 (mit Beschränkung auf 28 t Gesamtgewicht) und 2002 (mit Kontingentierung für Gesamtgewichte über 28 t) wurde festgestellt, dass die höheren Lade- und somit Gesamtgewichte sich auf die empirisch ermittelten Dauergeschwindigkeiten nicht proportional auswirken. Diese Feststellung wurde mit der vorliegenden Untersuchung bestätigt. Trotz einer starken Zunahme des Anteils von Lastwagenfahrten mit Betriebsgewichten über der früheren Gewichtslimite (hier > 31 bzw. 32 t) zwischen den Zuständen 2002 und 2009, sowohl auf der Nord-Süd- wie auch auf der Ost-West-Achse haben sich die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen praktisch nicht verändert.

Aus diesen Tatsachen muss gefolgert werden, dass zumindest auf der Nord-Süd-Achse für die schwerbeladenen Güterfahrzeuge die entsprechende Nutzleistung bereitgestellt wird. Offensichtlich haben sich die Transportunternehmer auf die Situation mit erhöhter Gewichtslimite eingestellt, indem sie für alpenquerende (und damit steigungsreiche) Fernfahrten mit hohen Betriebsgewichten Fahrzeuge mit entsprechend hoher Motorleistung und mit besser abgestimmten Getriebeverhältnissen einsetzen.

Die erhöhten Geschwindigkeiten von Lastwagen und die durch die Herabsetzung der Tempolimits bewirkte Reduktion der Geschwindigkeiten von Personenkraftwagen haben zu einer Annäherung der Geschwindigkeitsniveaus dieser beiden Fahrzeuggruppen beigetragen. Obwohl sich dadurch das Bedürfnis zum Überholen grundsätzlich verringert hat, entstehen bei Überholvorgängen mit kleineren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen dem überholenden und dem überholten Fahrzeug längere Überholwege, die v.a. bei Überholungen durch Lastwagen typisch sind und zu Behinderungen des Verkehrsflusses führen können. Die negativen Auswirkungen der Überholungen durch Lastwagen versucht man durch vermehrte Anordnung von Überholverböten für Lastwagen zu beschränken. Die Zweckmässigkeit dieser Massnahme wurde in Deutschland wissenschaftlich untersucht. Wie weit die ausländischen Ergebnisse auf die Verhältnisse auch schweizerischen Autobahnen übertragen werden können, sollte durch entsprechende Untersuchungen in der Schweiz geprüft werden.

Publikationen:

- Latuske N., Puffe E. und Spacek P.: Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung, IVT-ETH Zürich, Forschungsauftrag ASTRA 2009/010, Zürich Juni 2010



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Beurteilung der Begleitkommission:

Diese Beurteilung der Begleitkommission ersetzt die bisherige separate fachliche Auswertung.

Beurteilung:

Zielsetzung:

Das Ziel der Untersuchung ist die Überprüfung bzw. Fortschreibung der im Jahre 2002 erhobenen Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen auf längeren Neigungsstrecken. Dabei sollen mittels Erhebungen im Verkehrsablauf auf Autobahnen und auf Strassen ausserorts die Geschwindigkeiten der Lastwagen in Steigungen und Gefällen nach dem Wegfall der Kontingentierung für Lastwagen mit Gesamtgewicht von über 28 t ermittelt und die Veränderungen gegenüber den früheren Erhebungen beurteilt werden. Im Vordergrund stehen dabei die Dauergeschwindigkeiten der langsamen, beladenen Lastwagen am Ende von hinreichend langen Neigungsstrecken mit verschiedenen Längsneigungen.

Zur Verifizierung der Auswirkungen der ab 2005 weggefallenen Kontingentierung von Lastwagenfahrten mit über 28 t Gesamtgewicht sind auch entsprechende Gewichtsmessungen einzubeziehen. Diese sollen vor allem Fahrten im Alpenquerenden Nord-Süd-Verkehrs berücksichtigen.

Zielerreichung

Das Ziel wurde erreicht. Die Untersuchung zeigte, dass sich nur geringen Geschwindigkeitsveränderungen ergeben haben. Die zentrale Frage - ob am Geschwindigkeitsmodell der VSS-Normen Anpassungen erforderlich sind oder nicht - konnte eindeutig beantwortet werden (keine Anpassung nötig). Die rasche Fragenbeantwortung konnte dank tragfähiger Projektkonzeption und zielorientierten Projektbearbeitung trotz den aufwendigen Erhebungen erreicht werden. Der Begleitkommission wurde umfassend Einblick in die Bearbeitung geboten, was ihr die Aufgabe erleichterte.

Zudem konnten auch die Veränderungen in der Verteilung der Lastwagen-Gesamtgewichte aufgezeigt werden und auch wertvolle Aussagen über die Wirkungen von Lastwagen-Überholverböten auf Autobahnen gemacht werden.

Umsetzung:

Da sich aus der Fortschreibung der Geschwindigkeitserhebungen in Steigungen und Gefällen keine wesentlichen Veränderungen gegenüber jenen, die als Basis für die VSS-Norm SN 640 138b dienten, ergaben, erübrigen sich die Normanpassungen (vgl. Einfluss auf Normenwerk).

Die unter „Folgerungen und Empfehlungen“ erwähnte Zweckmässigkeit der vermehrten Anordnung von Überholverböten für Lastwagen sollte durch entsprechende Untersuchungen in der Schweiz geprüft werden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse kann auch davon ausgegangen werden, dass eine künftige Zunahme des Anteils von Lastwagenfahrten mit Gesamtgewichten von über 28t nicht zu wesentlichen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen führen wird. Eine weitere Überprüfung der Geschwindigkeiten würde sich erst nach der Umsetzung der geplanten Absicht, den schweren Güterverkehr von der Strasse auf die Bahn zu verlagern, aufdrängen.

Einfluss auf Normenwerk:

Aufgrund der nur geringen Veränderungen der Dauergeschwindigkeiten und der Form der Geschwindigkeitsverläufe entlang von Neigungsstrecken zwischen den Zuständen 2002 und 2009 drängen sich keine Anpassungen des bestehenden Geschwindigkeitsmodells in den VSS-Normen auf.

Präsident Begleitkommission:

Name:

Gantenbein

Vorname:

Andreas

Amt, Firma, Institut:

Bundesamt für Strassen ASTRA

Strasse, Nr.:

PLZ:

3003

Email:

Andreas.Gantenbein@astra.admin.ch

Ort:

Bern

Telefon:

031 322 94 37

Kanton, Land:

Bern, Schweiz

Fax:

031 323 23 03

Unterschrift Präsident Begleitkommission:

Lucern, den 19.7.2010, sig. Andreas Gantenbein

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.		Datum
1211	VSS 1998/192	Minikreisel <i>Mini-giratoires</i>	2008
1212	VSS 2007/501	D-A-CH – Forschungsprojekt Nutzungszeiten offener Asphaltdeckschichten <i>D-A-CH – Projet de recherche Durabilité des revêtements en enrobé drainant</i>	2007
1213	VSS 2002/706	NAVAROU Potentiel d'utilisation des données routières de la navigation automobile pour l'entretien routier <i>Potenzial der Nutzung von Fahrzeugnavigationsdaten für das Strassenverkehrsmanagement</i>	2008
1214	VSS 2004/901	Darstellung und Verwendung von Verkehrssignalen in Strassendatenbanken <i>Implementation and use of traffic signs in road databases</i>	2007
1215	VSS 2000/456	Bewirtschaftungssysteme für Parkieranlagen <i>Concepts de gestion et d'exploitation d'installations de stationnement</i>	2008
1216	VSS 1998/195	Für Motorfahrzeuge und leichte Zweiräder befahrbare und für den Fussgängerverkehr ganz oder teilweise zugängliche Streifen in der Mitte der Fahrbahn (Mehrzweckstreifen) <i>Voies de circulation en milieu de chaussée destinées au trafic motorisé et au trafic des deux-roues légers, partiellement ou entièrement accessibles au trafic des piétons (voies à affectation variable)</i>	2008
1217	SVI 2006/001	Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets" <i>Paquet de recherche "transport de marchandises", projet initial "inventaire et concrétisation du paquet de recherche"</i>	2008
1218	VSS 1999/271	Querungen für den Fuss- und leichten Zweiradverkehr <i>Traversées à l'usage des piétons et des deux-roues légers</i>	2008
1220	VSS 2005/910	Mobility Pricing Synthesebericht <i>Mobility Pricing Rapport de Synthèse</i>	2007
1221	ASTRA 2004/019	Maladies et causes d'absences dans le service d'entretien des routes <i>Diseases and reasons for absences in the road maintenance services</i>	2008
1222	SVI 2004/074	Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen <i>Trafic de loisirs dans les agglomérations</i>	2008

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.		Datum
1223	VSS 2003/302	Auswirkungen und Massnahmen im HVS-Netz bei Rampenbewirtschaftung <i>Répercussions et mesures sur le réseau des routes principales en présence d'une gestion des rampes</i>	2008
1224	VSS 1999/276	Influence des phyllosilicates pour l'utilisation dans la construction routière <i>Füller – Einfluss von Schichtsilikaten für die Verwendung im Strassenbau</i>	2008
1225	SVI 1999/328	Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs <i>Caractéristiques du transport de livraison</i>	2008
1226	ASTRA 2003/007	Kommunale Strassennetze in der Schweiz: Formen neuer Public Private Partnership (PPP) – Kooperationen für den Unterhalt <i>Réseaux routiers communaux en Suisse: Formes de nouveaux partenariats publics-privés (PPP) – coopérations pour l'entretien</i>	2008
1227	VSS 2004/601	Umweltbauabnahme (UBA) <i>Réception environnementale des travaux (RET)</i>	2008
1228	SVI 2001/508	Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner – eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030? <i>Mobilité des futurs retraités – un défi pour le système des transport en 2030?</i>	2008
1229	SVI 2004/081	Modal Split Funktionen im Güterverkehr <i>Fonctions de répartition modale pour le trafic de marchandises</i>	2008
1230	SVI 2004/090	Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen <i>Monitoring et controlling de l'ensemble du trafic dans les agglomérations</i>	2008
1231	SVI 2004/045	Mobilitätsmanagement in Betrieben – Motive und Wirksamkeit <i>Gestion de la mobilité dans les entreprises – motifs et efficacité</i>	2008
1232	ASTRA 2005/008	Low Power Wireless Sensor Network for Monitoring Civil Infrastructure <i>Drahtloses Sensornetzwerk zur Infrastrukturüberwachung</i>	2009
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten <i>Components durables des couches bitumineux</i>	2009
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen Standardisierte Erhaltungsmassnahmen <i>Mesures d'entretiens standardisées</i>	2008

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.		Datum
1236	2008/008_7	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR <i>Analyse Comparative des accents stratégiques et des champs d'action prioritaires de l'OFROU et de l'AIPCR</i>	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz <i>Bases pour eCall en Suisse</i>	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen <i>Sécurité routière pour chantiers de courte durée et aux jonctions dans la zone d'un chantier de route à grand débit</i>	2008
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen <i>Bases de dimensionnement pour le renforcement par géosynthétiques</i>	2009
1240	ASTRA 2002/010 & 2005/009	L'acceptabilité du péage de congestion: Résultats et analyse de l'enquête réalisée en Suisse <i>Die Akzeptanz von Gebühren zur Vermeidung von Stau auf Strassen: Resultate und Analysen von Untersuchungen in der Schweiz</i>	2009
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests <i>Amélioration des informations fournies par l'essai d'orniérage LCPC</i>	2009
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: Initialprojekt <i>Recyclage des matériaux bitumeux de démolition dans les enrobés à chaud: projet initial</i>	2007
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen <i>Les coûts de l'entretien courant des routes</i>	2008
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen <i>Bénéfice total - rapport avantages / coûts des mesures d'entretien standardisées</i>	2008
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert <i>Influences et interactions de l'état de surface et de la portance sur la valeur intrinsèque et la valeur d'usage</i>	2009
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen <i>Exigences à l'équipement routier pour l'utilisation de la bande d'arrêt d'urgence</i>	2009

Bericht-Nr.	Projekt-Nr.		Datum
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen <i>Facteurs d'influence sur la résistance au feu de structures en béton</i>	2009
1250	VSS 2005/502	Strassenabwasser Filterschacht <i>Traitement des eaux de routes dans des chambres avec sac en géotextile</i>	2007
1251	VSS 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumeux <i>Auswirkung der gerundeten oder teilweise gerun- deten Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit des Asphaltbetons</i>	2008
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassen- räumen <i>L'influence de l'aménagement de l'espace de la route sur le trafic</i> <i>La résistance de passage du trafic comme instrument de travail pour la conception urbaine de zone routière</i>	2009
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen <i>Arrêt en cap - exigences et effets</i>	2009