

Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik,
Strassen- und Eisenbahnbau IVT

Unfalluntersuchung auf Versuchsstrecken mit modifizierter Seilleitschranke

Analyse des accidents sur tronçons d'essai
équipés d'un dispositif de retenue à câbles modifié

H. KÖSTER, DIPL.ING.ETH

U. SALVISBERG, DIPL.ING.ETH

FORSCHUNGSauftrag 16/80
DES STRASSENBAUFORSCHUNGSFONDS

MÄRZ 1987

K U R Z F A S S U N G

Dieser Bericht enthält die Ergebnisse einer vergleichenden Unfalluntersuchung zweier Varianten der Seilleitschranke im Mittelstreifen einer Autobahn. Es wird die Wirkungsweise der heutigen Seilleitschranke derjenigen eines modifizierten Systems mit tiefer gelegtem unteren Seil zur Verhinderung von Unterfahrungen gegenübergestellt.

Es wurden alle polizeilich rapportierten Mittelleitschrankenunfälle, welche sich im Zeitraum von Herbst 1980 bis Ende 1983 auf den insgesamt 4 Beobachtungsstrecken mit einer Gesamtlänge von total knapp 10 km ereigneten, untersucht.

Die Arbeit umfasst unter anderem folgende Gesichtspunkte: Häufigkeit der Mittelleitschrankenunfälle, Unfallkategorien, Verhalten der Fahrzeuge vor, während und nach der Leitschrankenankunft, Ueber- und Unterfahrungen des Seilzaunes, Personenschäden, Unfallkosten, beteiligte Fahrzeugarten, Unfälle in Abhängigkeit der Beleuchtung und des Strassenzustandes, Anprallgeschwindigkeiten.

Primär werden die beiden Varianten der Seilleitschranke miteinander verglichen, doch werden auch frühere Arbeiten über die Wirkungsweise der Seilleitschranke, der doppelten Distanzleitschranke und der Leitschranken mit Kastenprofilen zu Vergleichen herangezogen. Am Schluss werden die erwähnten Mittelstreifenleitschranken zusammenfassend beurteilt.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite:
Verzeichnis der Abbildungen	3
VORWORT	5
1. PROBLEMSTELLUNG UND METHODIK DER ERHEBUNG	6
1.1. Ausgangslage	6
1.2. Vorgehen	7
1.3. Unfallkategorien, Begriffe	9
1.4. Leitschranksysteme	11
1.5. Umfang der Untersuchung	13
2. ANALYSE DER SEILZAUNUNFÄLLE	15
2.1. Unfälle pro Verkehrsleistung	15
2.2. Aufteilung der Seilzaununfälle in die verschiedenen Unfallkategorien	17
2.3. Verhalten vor, während oder nach der Anfahrt	20
2.3.1. Verhalten vor dem Unfall	20
2.3.2. Ablauf der Anfahrt	23
2.3.3. Verhalten der Fahrzeuge nach Kontakt mit dem Seilzaun	26
2.3.4. Ueber- und Unterfahrungen des Seilzaunes	30
2.4. Personenschäden	35
2.4.1. Untersuchung nach Schwere der Verletzung	35
2.4.2. Untersuchung nach Unfallschwere	37
2.5. Unfallkosten und Leitschrankschaden	39
2.6. Beteiligte Fahrzeugarten	42
2.7. Unfälle in Abhängigkeit der Beleuchtung und des Strassenzustandes	44
2.8. Anprallgeschwindigkeiten und Dehnungen des Seilzaunes	47
2.9. Konstruktive Gesichtspunkte der Seilzaunvariante 4	50
3. ZUSAMMENFASSUNG	52
4. SCHLUSSFOLGERUNGEN	57
5. LITERATUR	59

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

- 1 Seilleitschranke Variante 0 "heutiges System"
- 2 Seilleitschranke Variante 4 "tiefer Schlitz"
- 3 Schema der Abspannungen
- 4 Beobachtungsstrecke, Teilstrecken 1 - 4
- 5 Ausgangsdaten und Unfallraten der Teilstrecken
- 6 Aufteilung der polizeilich registrierten Seilzaununfälle in die Unfallkategorien
- 7 Anzahl Seilzaununfälle der einzelnen Unfallkategorien
- 8 Prozentanteile der Unfallkategorien bei den beiden Seilzaunvarianten
- 9 Verhalten vor dem Unfall, aufgegliedert nach Teilstrecken
- 10 Verhalten vor dem Unfall, Aufteilung in Unfallkategorien
- 11 Verhalten vor dem Unfall, nach Teilstrecken mit Anteil der Sekundärunfälle
- 12 Ablauf der Anfahrt, aufgegliedert nach Teilstrecken
- 13 Ablauf der Anfahrt, Vergleich Variante 0 - Variante 4
- 14 Ablauf der Anfahrt, Vergleich Var 0 /Var 4 - Kastenprofil
- 15 Ablauf der Anfahrt, Aufteilung in Unfallkategorien
- 16 Verhalten der Fahrzeuge nach dem Kontakt mit dem Seilzaun, alle 4 Teilstrecken
- 17 Verhalten der Fz nach dem Kontakt mit dem Seilzaun, Vergleich Var 0 /Var 4
- 18 Verhalten der Fz nach dem Kontakt mit dem Seilzaun, Aufteilung in Unfallkategorien
- 19 Anzahl der Ueber- bzw. Unterfahrungen, aufgegliedert nach Fahrzeugarten und Teilstrecken
- 20 Vergleich der Seilzaunvarianten 0/4 mit dem Kastenprofil und dem Seilzaun
- 21 Anzahl verletzte Personen, nach der Schwere der Verletzung
- 22 Verletzte und getötete Personen, %-Anteile
- 23 Unfallschwere der Primärunfälle an den beiden Seilvarianten
- 24 Unfallkosten der Selbstunfälle an Seilzäunen
- 25 Durchschnittliche Anzahl umgefahrener Pfosten
- 26 Prozentualer Anteil der beteiligten Fahrzeugarten
- 27 Monatliche Verteilung der Unfälle

- 28 Prozentuale Aufteilung der Seilzaununfälle auf Tag,
Dämmerung und Nacht
- 29 Unfallverteilung nach Strassenzustand
- 30 Häufigkeiten der Seildehnungen je Seilvariante
- 31 Histogramm der Anprallgeschwindigkeiten bei Primär-
unfällen
- 32 Histogramm der Entfernung der Distanzstücke

V O R W O R T

Die vorliegende Untersuchung ist als Ergänzung zum Forschungsauftrag 18/77 "Anfahrversuche an Varianten der Seilleitschranke System British Ropes" zu betrachten. Ziel beider Forschungsaufträge war die Verbesserung der Durchbruchssicherheit der Seilleitschranken, wobei man sich auf die Verhinderung von Unterfahrungen beschränken musste.

Diese praktische Erprobung der in den Anfahrversuchen entwickelten modifizierten Seilleitschranke war nur dank der freundlichen Unterstützung des Tiefbauamtes des Kantons Solothurn möglich.

Ein besonderer Dank gilt auch der Autobahnpolizei des Kantons Solothurn für die erweiterte Unfallaufnahme und die Ueberlassung der Unfallprotokolle.

Aufgrund der - glücklicherweise - geringen Anzahl Unfälle, die im Rahmen dieser Untersuchung erfasst werden konnten, ist die Aussagekraft der Resultate vielfach stark eingeschränkt. Diese Tatsache ist bei der Interpretation und Anwendung der Untersuchungsergebnisse unbedingt zu berücksichtigen.

Unfallauswertung Seilleitschranke

1. PROBLEMSTELLUNG UND METHODIK DER ERHEBUNG

1.1. Ausgangslage

Bekanntermassen weist die Seilleitschranke System "British Ropes" neben ihren Vorteilen, wie weiche Umlenkung mit geringen Verzögerungswerten bei Personenwagenanfahrten und einfacher Unterhalt, auch erhebliche Nachteile auf. Diesbezüglich ist insbesondere die geringe Durchbruchssicherheit dieser Mittelstreifenleitschranke zu erwähnen. Bei der Seilleitschranke kommen sowohl Unterfahrungen durch niedrige Personenwagen als auch Ueberfahrungen vor allem durch Lastwagen in grösserer Anzahl vor. Die ISETH-Mitteilung Nr. 34 "Vergleich von Seilzaun und Doppelplanke anhand von Unfällen an Mittelschranken" (November 1976) [1] zeigt diese Tatsache deutlich.

Daraufhin wurde im Rahmen des Forschungsauftrages 18/77 im Jahr 1978 eine umfangreiche Serie von Anfahrversuchen an der bestehenden und an modifizierten Seilleitschranken durchgeführt. Ziel dieser Versuche war es, die Seilleitschranke so zu verändern, dass Unterfahrungen durch niedrige Personenwagen (v.a. Sportwagen) nicht mehr vorkommen, ohne aber andererseits die Gefahr von Ueberfahrungen zu vergrössern. Eine Verbesserung der Sicherheit gegen Ueber- und Unterfahrung zugleich ist hingegen bei diesem System mit vernünftigem Aufwand nicht möglich. Die Ergebnisse dieser Versuchsserie sind in der ISETH-Mitteilung Nr. 43 "Anfahrversuche an Varianten der Seilleitschranke System British Ropes" (September 1979, [2] festgehalten.

Eine der modifizierten Seilleitschranken, die sogenannte Variante 4 (tiefer Schlitz mit 2 Seilen in verschiedenen Höhen und dazwischen Abstandhalter, vgl. Abbildung 2), hat in den Versuchen gut abgeschnitten. Es wurde daher empfohlen, ihr

Verhalten in der Praxis anhand des Unfallgeschehens auf einer Versuchsstrecke zu untersuchen.

Am 29.1.1980 stellte das Institut in Zusammenarbeit mit dem Tiefbauamt des Kantons Solothurn diesbezüglich ein Forschungsgesuch. Dieses enthielt die Kosten für die Umrüstung der Versuchsstrecken und die wissenschaftliche Auswertung des Unfallgeschehens auf diesen Versuchsstrecken und auf Vergleichsstrecken mit der herkömmlichen Seilleitschranke. Der Teil Unfallauswertung des Kreditgesuches wurde am 24.4.1980 vom Bundesamt für Strassenbau gemäss Antrag der Kommission für Strassenbauforschung des Eidgenössischen Departementes des Innern als Forschungsauftrag Nr. 16/80 bewilligt.

1.2. Vorgehen

Im Herbst 1980 wurden vom Tiefbauamt des Kantons Solothurn auf der Autobahn N 1 zwei Versuchsstrecken mit der modifizierten Seilleitschranke Variante 4 eingerichtet. Ausserdem wurden zwei Abschnitte mit der normalen Seilleitschranke (Variante 0) als Vergleichsstrecken festgelegt (vgl. Kap. 1.5 Umfang der Untersuchung).

Das Vorgehen bei der Auswertung des Unfallgeschehens an der Mittelstreifenleitschranke ist in diesem Bericht ähnlich wie in der ISETH-Mitteilung Nr. 34 "Vergleich von Seilzaun und Doppelplanke anhand von Unfällen an Mittelschranken" [1] bzw. wie im Forschungsauftrag Nr. 14/80 "Unfalluntersuchung an Leitschranken mit Kastenprofil im Mittelstreifen einer Autobahn" [3]. Ein Vergleich der hier ermittelten Werte mit den Angaben der beiden vorgängig genannten Arbeiten wäre interessant, kann aber wegen des damit verbundenen Aufwandes nur teilweise im Bericht vorgenommen werden.

Primäres Ziel dieser Untersuchung ist der Vergleich der beiden Varianten der Seilleitschranke anhand des Unfallgesche-

hens, d.h. ihrer Bewährung in der Praxis. Aus diesem Grund wurde im Anschluss an jede Versuchsstrecke mit der Variante 4 eine Vergleichsstrecke mit dem herkömmlichen System angeordnet. Somit haben jeweils zwei Strecken bezüglich Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung, Verkehrsverteilung und Witterung nahezu identische Verhältnisse. Nicht vermeiden lassen sich hingegen gewisse Unterschiede in der Linienführung. Diese dürften sich aber eher auf die Anzahl Unfälle auswirken und weniger auf die für die Wirkungsweise der Seilleitschranken massgebenden Faktoren, wie zum Beispiel die beteiligten Fahrzeuge.

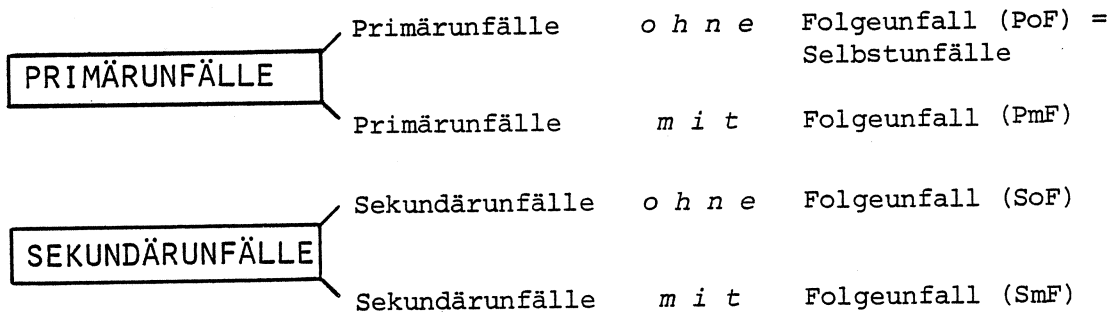
Im Bericht werden die Daten meist für alle vier Strecken separat ausgewertet und erst dann pro Seilvariante zusammengefasst und miteinander verglichen. Auf diese Weise können streckenspezifische Besonderheiten ermittelt werden.

Grundlage für diese Untersuchung sind die Unfallrapporte der Autobahnpolizei des Kantons Solothurn. Es werden allerdings nur die Unfälle berücksichtigt, bei denen die Mittelstreifenleitschranke in irgend einer Weise angefahren wurde. Da an der Seilleitschranke - im Gegensatz zu den härteren Leitschrankensystemen - bei jeder Anfahrt Schaden entsteht, d.h. Pfosten umgefahren werden, und die Polizei alle Leitschrankenschäden auf den Beobachtungsstrecken in Rapporten erfasst hat, kann man davon ausgehen, dass diese Untersuchung alle Anfahrten an die Seilleitschranke umfasst, die sich im Rahmen der Untersuchungsperiode auf den Beobachtungsstrecken ereigneten.

Die Angaben zur Verkehrsmenge und -zusammensetzung stammen aus den Aufzeichnungen der automatischen Verkehrszähler und den Strassenverkehrszählungen der Bundesämter für Strassenbau und Statistik.

1.3. Unfallkategorien, Begriffe

Um das Unfallgeschehen übersichtlicher zu gliedern, werden wie in den erwähnten, ähnlich konzipierten Unfallanalysen [1, 3] verschiedene Unfallkategorien unterschieden:



Im folgenden werden die Begriffe kurz erläutert.

Primärunfälle

Die Kollision mit der Mittelleitschranke (primärer Unfall) geht allen anderen eventuellen Kollisionen oder Behinderungen zeitlich voran. Am Unfall können ein oder auch mehrere Fahrzeuge beteiligt sein.

Primärunfälle ohne Folgeunfall (PoF); Selbstunfälle:

Bei diesen Mittelleitschrankenunfällen ist immer nur ein Fahrzeug beteiligt. Der Schadenverursacher fährt die Leitschranke an, ohne dass er durch ein anderes Fahrzeug oder einen Gegenstand auf der Fahrbahn behindert wird und ohne dass er nachträglich mit einem anderen Fahrzeug zusammenstösst oder einen weiteren Unfall verursacht.

Primärunfälle mit Folgeunfall (PmF):

Bei dieser Unfallkategorie sind immer mehrere Fahrzeuge am Mittelleitschrankenunfall beteiligt.

Im einzelnen kommen vor:

- Leitschrankenanhfahrt mit anschliessender Kollision mit Drittfahrzeugen.
- Leitschrankenanhfahrt, bei der andere Fahrzeuglenker durch das verunfallte Fahrzeug derart irritiert werden, dass sie einen Folgeunfall verursachen.
- Leitschrankenanhfahrt, bei der andere Fahrzeuge durch umherfliegende Gegenstände beschädigt werden.

Nicht als Folgeunfall gilt hingegen ein weiterer Anprall des die Leitschranke anfahrenden Fahrzeugs an die Mittel- oder an die Randleitschranke.

Sekundärurfälle:

Es sind meist mehrere Fahrzeuge beteiligt. Die Kollision mit der Mittelleitschranke (sekundärer Unfall) ist die Folge einer vorangehenden Kollision oder Behinderung.

Dabei kommen vor:

- Abirren in die Mittelleitschranke nach einer Auffahr- oder Streifkollision mit einem anderen Fahrzeug.
- Fahrzeug wird infolge einer Auffahrkollision in die Mittelleitschranke geworfen oder geschoben.
- Abirren in die Mittelleitschranke nach Kollision mit einem auf der Fahrbahn liegenden Gegenstand.
- Unfallfahrzeug wird von einem anderen (schadlosen) Fahrzeug behindert und weicht in die Mittelleitschranke aus. Die Unfallursache sind demnach andere Fahrzeuge oder eventuell Gegenstände auf der Fahrbahn. (Anmerkung: in [1] wurde dieser Fall bei den Primärurfällen mit Folgeunfall (PmF) eingeordnet. Da die Leitschrankenanhfahrt aber die Folge der vorangegangenen Behinderung ist, handelt es sich eindeutig um einen Sekundärurfälle. Würde man die Behinderung hingegen nicht als Unfall werten, wäre dieser Unfalltyp zu den Selbstunfällen (PoF) zu zählen, aber nicht zu den PmF).
- Abprallen von der Randleitschranke in die Mittelleitschranke.

Je nachdem, ob nach der Leitschrankenanhfahrt ein weiterer Unfall passiert, handelt es sich um einen Sekundärunfall mit oder ohne Folgeunfall.

Als spezielle Art des Folgeunfalles wird im weiteren Verlauf dieses Berichtes der Ausdruck "Folgekollision" verwendet (Definition siehe Kapitel 2.3.3.).

1.4. Leitschrankensysteme

Wie bereits erwähnt, geht es in dieser Untersuchung um den Vergleich zweier Ausführungen der Seilleitschranke bezüglich ihrer Wirkungsweise bei Unfällen. Als Variante 0 wird die bekannte und in den "Richtlinien für die Ausführung von Leitschranken" des Bundesamtes für Strassenbau [4] normierte Seilleitschranke System "British Ropes" bezeichnet (vgl. Abbildung 1). Diesem System wird die ebenfalls in Anfahrversuchen [2] erprobte Variante 4 mit tiefem Schlitz in den Pfosten und zwei Seilen in verschiedenen Höhen mit Abstandhalten dazwischen gegenübergestellt (vgl. Abbildung 2). Das tiefergelegte untere Seil soll die Unterfahrungen der Seilleitschranke durch niedrige Personenwagen (Sportwagen) verhindern. Die gesamte Anordnung bzw. das Schema der Abspannungen ist bei beiden Varianten der Seilleitschranke gleich (vgl. Abbildung 3).

Die bei der Variante 4 in Abbildung 2 angegebenen Masse - OK oberes Seil 69 cm, OK unteres Seil 56 cm - entsprechen der in den Anfahrversuchen getesteten Ausführung. Auf den Beobachtungsstrecken auf der Autobahn sind die Seile etwas tiefer angeordnet. Gemäss Auskunft des kantonalen Tiefbauamtes Solothurn beträgt die Höhe des oberen Seiles ca. 67 cm und die des unteren Seiles ca. 53 cm.

Abbildung 1: Variante 0 "heutiges System"

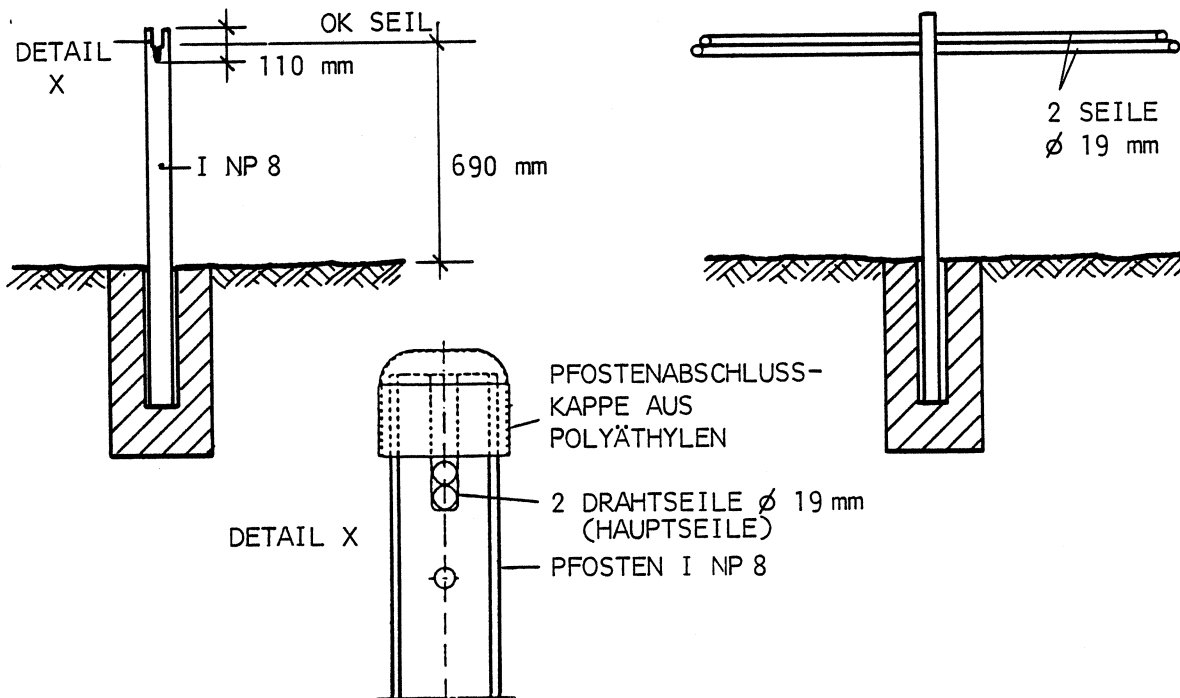
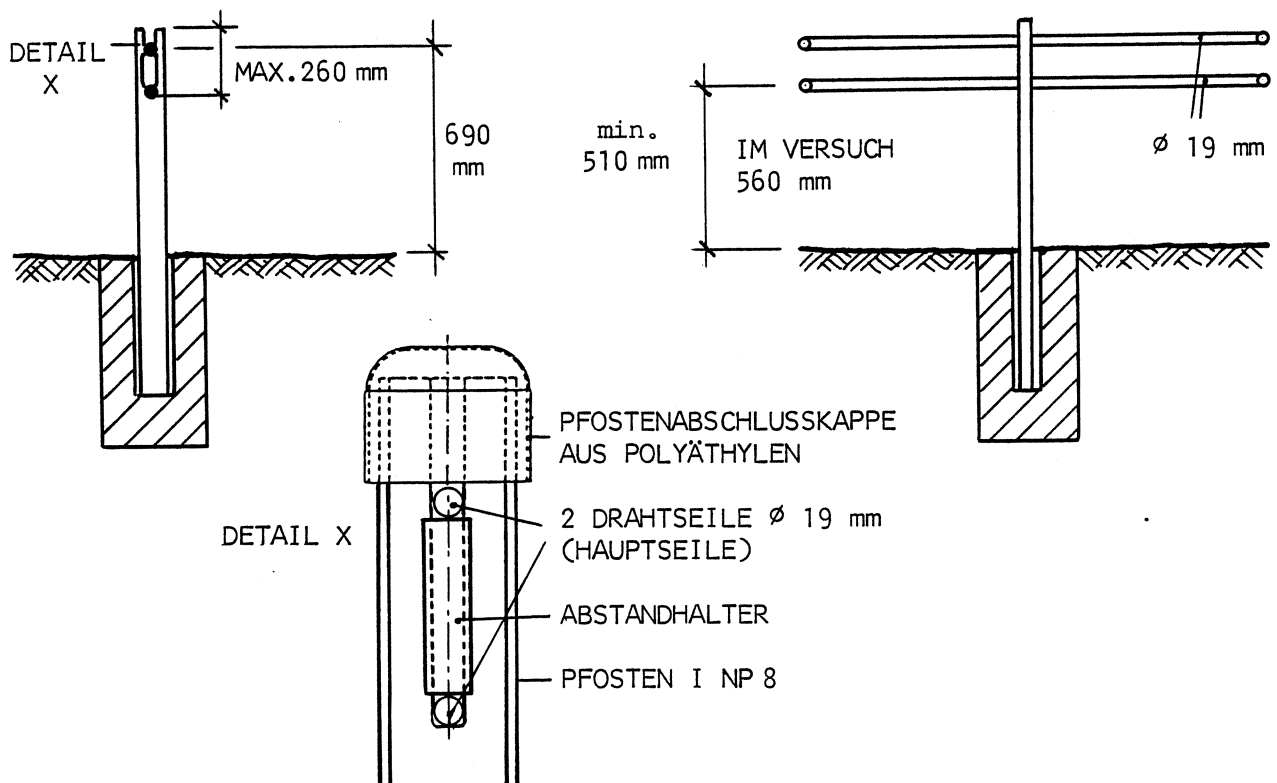


Abbildung 2: Variante 4 "tiefer Schlitz"



1.5. Umfang der Untersuchung

Der Untersuchungszeitraum dauerte vom 10.9.1980 bis zum 31.12.1983, umfasste also ca. 39,5 Monate.

Die vier Beobachtungsstrecken befanden sich auf der Nationalstrasse N 1 Zürich-Bern. Sie wurden vom Unterhaltsdienst und von der Autobahnpolizei des Kantons Solothurn betreut. Alle vier Strecken weisen einen 4-spurigen Querschnitt auf (plus Pannestreifen). Die nachfolgende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Teilstreckenummerierung, Kilometrierung und Seilvariante auf.

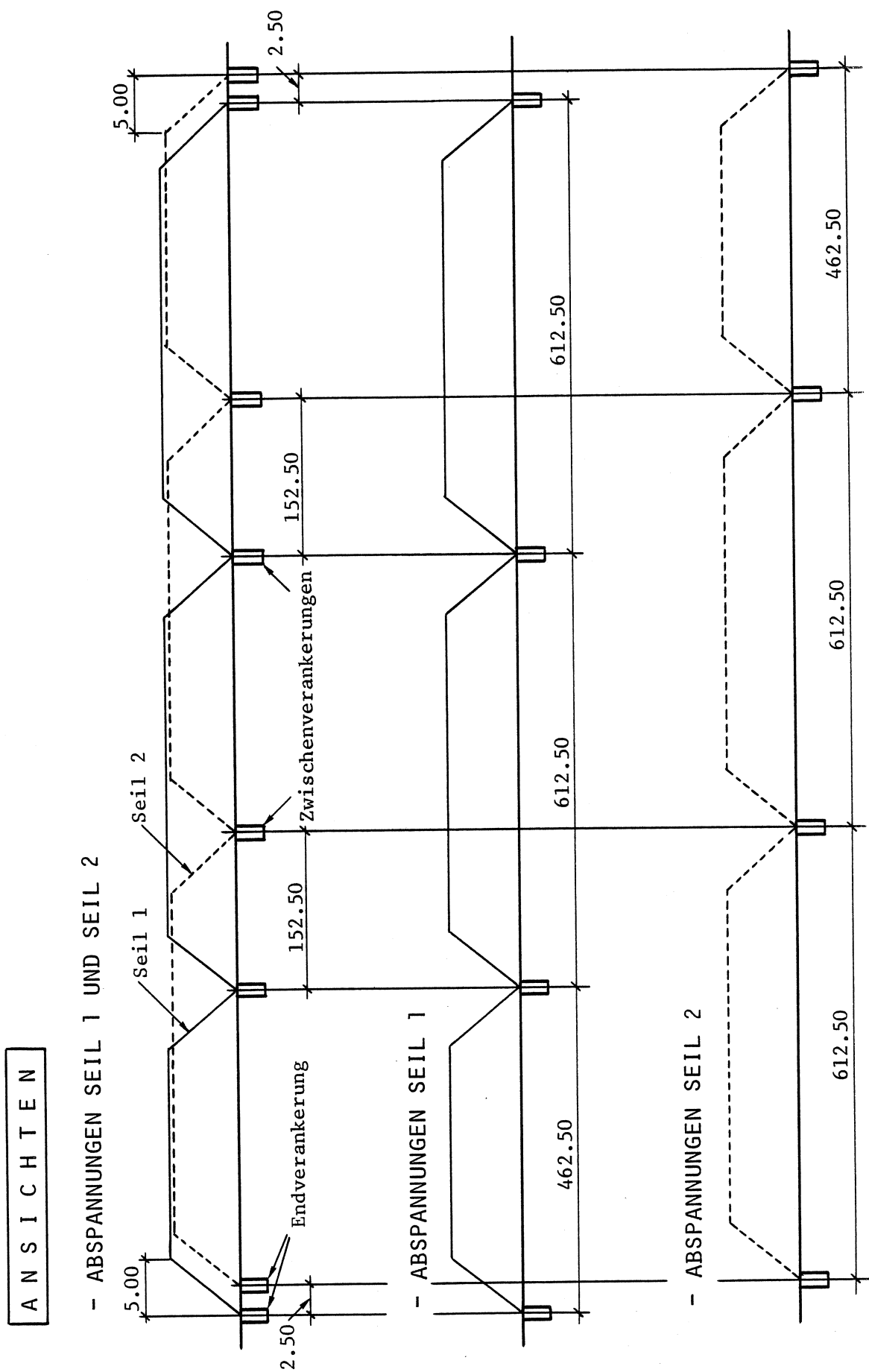
Abbildung 4: Beobachtungsstrecke

Seilleitschranke	Teilstrecken		
	Nummer	Kilometrierung	Lage (ca.)
Variante 0	1	km 53,4 ÷ 56,5	Rastplatz Gunzgen
	2	36,0 ÷ 38,9	Anschluss Wangen a.d.A
Variante 4	3	51,83 ÷ 53,4	Rastplatz Gunzgen
	4	34,00 ÷ 36,0	Anschluss Wangen a.d.A

Die Beobachtung des Unfallgeschehens an der Seilleitschranke Variante 0 erfolgte somit auf einer Strecke von insgesamt 6 km. Die Unfälle an der Variante 4 wurden auf einer Länge von ca. 3,6 km erfasst.

Auf diesen insgesamt knapp 10 km langen Beobachtungsstrecken ereigneten sich im Untersuchungszeitraum 95 Unfälle mit Beteiligung der Seilleitschranke im Mittelstreifen der Autobahn. Bei diesen 95 Unfällen wurde die Seilleitschranke 102 mal angefahren. 50 der Unfälle passierten an der Variante 0 und 45 Unfälle an der Variante 4.

Abbildung 3: Schema der Abspannungen (aus [4])



2. ANALYSE DER SEILZAUN-UNFÄLLE

2.1. Unfälle pro Verkehrsleistung

Zuerst wurden verschiedene Ausgangsdaten zusammengetragen, damit anschliessend für die verschiedenen Teilstrecken die Unfallraten berechnet und miteinander verglichen werden konnten.

Unter dem Begriff "Unfallrate" versteht man die Anzahl Unfälle, bezogen auf 1 Mio Fahrzeugkilometer.

Hier wird die Unfallrate ausschliesslich auf die polizeilich rapportierten Seilleitschrankenunfälle bezogen. Alle anderen Unfälle werden nicht berücksichtigt.

$$U_R = \frac{U_{(i)} \cdot 10^6}{DTV_{(i)} \cdot I_{(i)} \cdot t}$$

$U_{(i)}$ = Anzahl Seilzaununfälle auf der Strecke i

$DTV_{(i)}$ = Durchschnittlicher täglicher Verkehr auf der Strecke i

$I_{(i)}$ = Länge der Strecke i in km

t = Beobachtungszeit in Tagen

Der mittlere durchschnittliche tägliche Verkehr (Ø DTV 1980 - 1983) beträgt: - Teilstrecke 1 und 3 ca. 42'000 Fahrzeuge
- Teilstrecke 2 und 4 ca. 39'000 Fahrzeuge

Der Anteil des Schwerverkehrs beläuft sich auf rund 9 %.

Abbildung 5: Ausgangsdaten und Unfallraten der Teilstrecken

	Teilstrecke	Streckenlänge km	DTV	Beobachtungszeit t	polizeilich rapp. Fz ZH	polizeilich rapp. Fz BE	Verkehrsleistung (Mio Fz km in 39 1/2 Mte)	Unfall- rate UR je Teil- strecke		Unfallrate UR je Seil- variante		
								Richtung * Zürich	Richtung * Bern	Richtung * Zürich	Richtung * Bern	beide Richtungen
Variante 0	1	3.1	42'000	39.5 Monate	23	7	157	0.29	0.09	0.25	0.09	0.17
	2	2.9	39'000		14	6	137	0.20	0.09			
Variante 4	3	1.57	42'000		9	12	80	0.23	0.30	0.28	0.24	0.26
	4	2.0	39'000		15	9	94	0.32	0.19			

* basiert auf der Annahme, dass die Verkehrsleistung gleichmässig auf beide Fahrtrichtungen verteilt ist.

Beobachtungszeit: 10.9.1980 - 31.12.1983 $\hat{=}$ 1'207 Tage $\hat{=}$ 39.5 Monate

Es ist zu beachten, dass die statistische Aussagekraft der Unfallraten angesichts der geringen Unfallzahlen sehr begrenzt ist.

Vergleicht man die Unfallraten der verschiedenen Teilstrecken und Richtungen miteinander, so fallen folgende Unterschiede auf:

- Die Unfallraten der Teilstrecken 1 und 2 in Fahrtrichtung Bern (beide mit Variante 0) liegen deutlich tiefer als die übrigen Werte.
- Eine relativ hohe Unfallrate weisen die Teilstrecken 1 und 4 in Richtung Zürich und die Teilstrecke 3 in Richtung Bern auf.

Vermutlich sind die erhöhten bzw. tieferen Unfallraten an der Seilleitschranke auf höhere bzw. tiefere Werte der Gesamtzahl der Unfälle auf der jeweiligen Strecke zurückzuführen.

Vergleicht man die Unfallraten aus Abbildung 5 mit Werten aus anderen Publikationen, z.B. [1,3], so kann man festhalten, dass sie hier eher tiefer liegen. In [1] wies die Strecke mit Seilleitschranke eine Unfallrate von 0,48 auf und in [3] wurde für die Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil auf der 4-spurigen Strecke bei Berücksichtigung aller Unfälle mit Beschädigung der Mittelstreifenleitschranke eine Unfallrate von 0,44 errechnet.

2.2. Aufteilung der Seilzaununfälle in die verschiedenen Unfallkategorien

Nachfolgend (Abbildung 6) werden die polizeilich rapportierten Seilzaununfälle in die verschiedenen Unfallkategorien aufgeteilt:

- Primärunfälle ohne Folgeunfall (PoF)
- Primärunfälle mit Folgeunfall (PmF)
- Sekundärunfälle ohne Folgeunfall (SoF)
- Sekundärunfälle mit Folgeunfall (SmF)

Neben der Anzahl der Unfälle enthält die Abbildung 6 auch die Anzahl der Seilzaunanfahrten.

Anschliessend ist die Anzahl der Seilzaununfälle (inkl. prozentualer Anteil) der einzelnen Unfallkategorien, aufgegliedert nach Teilstrecken, in Abbildung 7 dargestellt.

Die Abbildung 8 fasst dann die Verteilung der Unfälle pro Unfallkategorie und Seilzaunvariante zusammen.

Abbildung 6: Anzahl Seilzaununfälle der einzelnen Unfallkategorien aufgegliedert nach Teilstrecken (Prozentzahlen in Klammern)

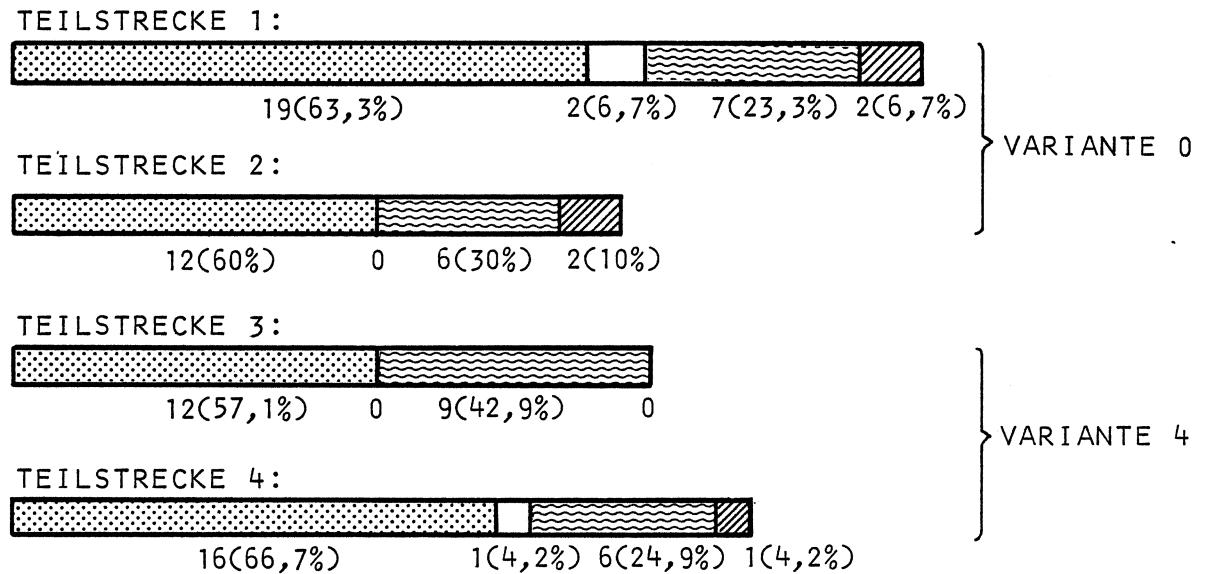


Abbildung 7: Prozentanteile der Unfallkategorien bei den beiden Seilzaunvarianten

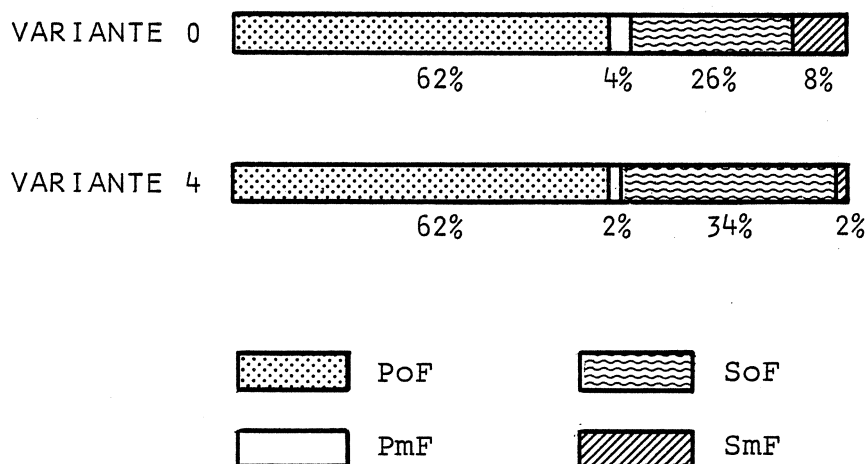


Abbildung 8: Aufteilung der polizeilich registrierten Seilzaununfälle

	Teilstrecke	alle polizeilich rapportierten Seil- zaununfälle	Primärunfälle				Sekundärunfälle				Total	
			PoF		PmF		SoF		SmF		Unfälle	Anfahrten
			Anzahl Unfälle	Anz. Anfahrten	Anzahl Unfälle	Anz. Anfahrten	Anzahl Unfälle	Anz. Anfahrten	Anzahl Unfälle	Anz. Anfahrten		
Variante 0	1	30	19	19	2	2	7	7	2	2	50	52
	2	20	12	14	0	0	6	6	2	2		
Variante 4	3	21	12	12	0	0	9	10	0	0	45	50
	4	24	16	18	1	3	6	6	1	1		

Betrachtet man die Aufteilung in Primär- und Sekundärunfälle (Abbildung 8), so fällt auf, dass die Selbstunfälle (PoF) den grössten Teil (62%) der Unfälle ausmachen. Die Prozentzahl entspricht auch etwa dem Ergebnis in anderen Publikationen [1,3]. Gesamthaft gesehen ist der Anteil der Primär- und Sekundärunfälle bei beiden Seilvarianten ungefähr gleich (Abbildung 8). Unterschiedliche Resultate ergeben sich, wenn man jede Teilstrecke einzeln auswertet (Abbildung 7).

Den höchsten Anteil an Sekundärunfällen weist die Teilstrecke 3 mit 43 % auf. Wahrscheinlich ist die relativ grosse Verkehrsdichte zusammen mit häufigen Fahrstreifenwechseln (Verzweigung Härkingen) der Hauptgrund für die vielen Sekundärunfälle auf dieser Strecke.

Bezüglich Folgeunfällen lassen sich im Rahmen dieser Arbeit wegen der kleinen Unfallzahlen keine allgemeingültigen Aussagen machen.

Die errechneten Anteile betragen:

Variante 0 : 12 % Folgeunfälle (PmF + SmF)

Variante 4 : 4 % Folgeunfälle (PmF + SmF)

Der Anteil von 12 % Folgeunfälle bei Variante 0 liegt relativ hoch. Der gleiche Wert wurde aber in [3] auch für die Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil auf der 4-spurigen Strecke ermittelt. Eine genaue Untersuchung des Anprallvorganges und der Wirkungsweise der Seilleitschranke erfolgt in späteren Kapiteln.

2.3. Verhalten vor, während und nach der Anfahrt

2.3.1. Verhalten vor dem Unfall

In diesem Kapitel geht es darum, eine Antwort auf folgende drei Fragen zu finden:

- Wie viele Fahrzeuge schleuderten bzw. hatten eine "normale" Fahrt, bevor sie mit dem Seilzaun kollidierten? (Abbildung 9).
- Bestehen Unterschiede zwischen dem Verhalten vor der Anfahrt bei Primär- und bei Sekundärunfällen? (Abbildung 10).
- Lassen sich teilstreckenspezifische Unterschiede bezüglich des Fahrverhaltens vor der Seilzaunanfahrt (Variante 0 / Variante 4) erkennen ? (Abbildung 11).

Datenmaterial für die nun folgenden Tabellen waren die Anzahl Unfälle.

Abbildung 9: Verhalten vor dem Unfall, aufgegliedert nach Teilstrecken (Absolutzahlen und Prozente)

		normale Fahrt		schleudern		ungewiss	
		n	%	n	%	n	%
Variante 0	Teilstrecke 1	6	20	20	67	4	13
	Teilstrecke 2	2	10	17	85	1	5
Variante 4	Teilstrecke 3	7	32	12	57	2	10
	Teilstrecke 4	8	33	14	58	2	9

Abbildung 10: Verhalten vor dem Unfall; Aufteilung in Primär- und Sekundärunfälle für alle 4 Teilstrecken

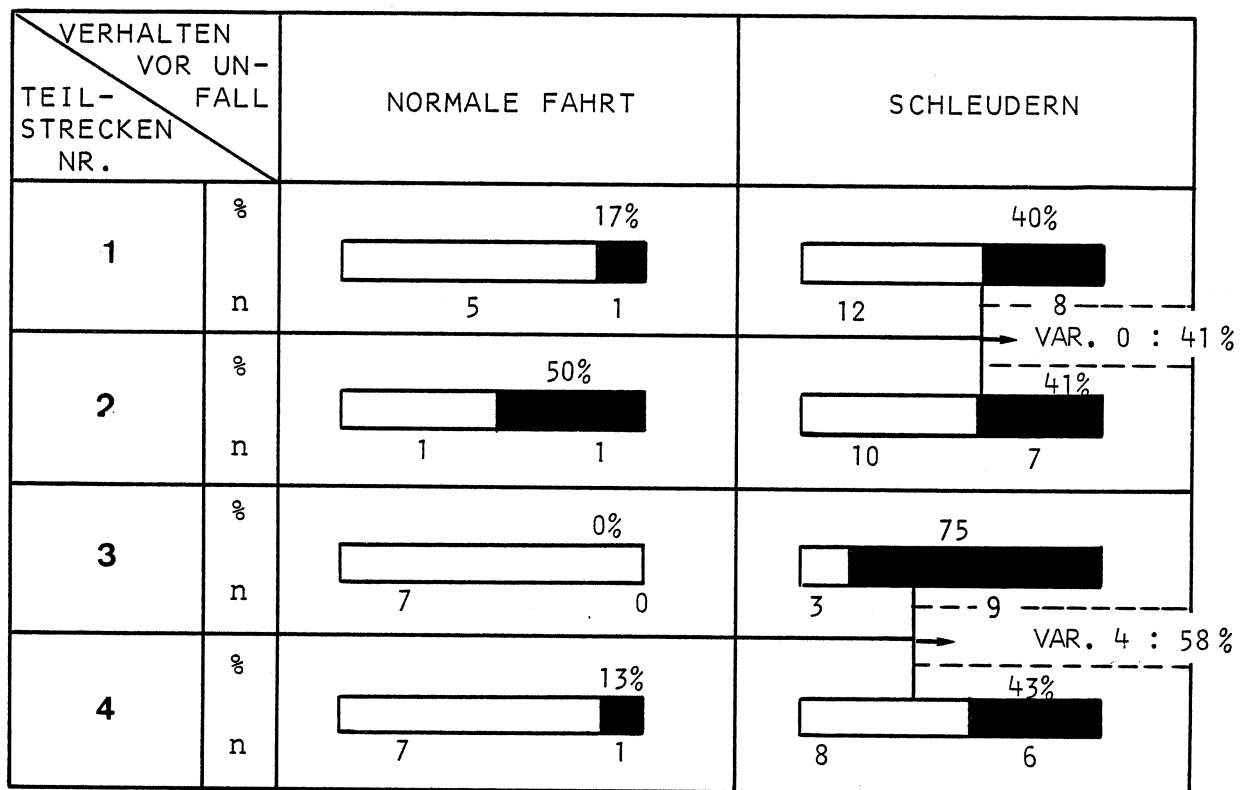
Unfallkategorien		Anzahl Unfälle	normale Fahrt	schleudern	ungewiss
Primär-unfälle	n	62	20	33	9
	%	100	32,3	53,2	14,5
Sekundär-unfälle	n	33	3	30	0
	%	100	9,1	90,9	0

Auf den Teilstrecken 3 und 4 (mit Seilleitschranke Variante 4) schleudern deutlich weniger Fahrzeuge vor dem Anprall an die Mittelleitschranke als auf den Teilstrecken 1 und 2 (Variante 0). Gesamthaft gesehen über alle 4 Teilstrecken schleuderten die Fahrzeuge in zweidrittel der Fälle vor der Kollision mit der Seilleitschranke. Ein knappes Drittel hatte eine "normale" Fahrt.

Interessantere Resultate liefert die Abbildung 10. Deutlich erkennt man, dass grosse Unterschiede bezüglich des Verhaltens

vor dem Unfall zwischen Primär- und Sekundärunfällen bestehen. Bei den Sekundärunfällen kommt das "Schleudern" zu 90 % vor. Bei den Primärunfällen kommt neben dem "Schleudern" noch ein beträchtlicher Anteil (32 %) normaler Fahrten vor.

Abbildung 11: Verhalten vor dem Unfall, aufgegliedert nach Teilstrecken, unter Angabe des Anteils der Sekundärunfälle



 PRIMÄRUNFÄLLE
 SEKUNDÄRUNFÄLLE

SKALA ←
0

Streckenspezifische Unterschiede erkennt man auch in Abbildung 11. Der Anteil der Sekundärunfälle mit schleudernden Fahrzeugen ist auf den Strecken mit Seilleitschranke Variante 4 (58 %)

erheblich grösser als auf den Teilstrecken mit Variante 0 (41%). Vor allem bei Teilstrecke 3 (Verzweigung Härkingen) fällt ein sehr hoher Anteil schleudernder Fahrzeuge bei den Sekundärunfällen auf.

Desweiteren scheint auch ein Zusammenhang zu bestehen zwischen dem Verhalten vor der Anfahrt und dem möglichen Auftreten von Folgekollisionen. Eine Analyse ergab, dass in 7 der insgesamt 8 Unfälle mit Folgekollision das Fahrzeug vor dem Anprall an die Seilleitschranke geschleudert ist.

2.3.2. Ablauf der Anfahrt

Im vorhergehenden Kapitel 2.3.1. waren die Anzahl Unfälle Ausgangsdatenmaterial für die Untersuchungen. In diesem Kapitel sind nun die Anzahl Anfahrten massgebend. Bei einem Unfall können ja mehrere Anfahrten vorkommen, die uns jetzt interessieren.

Die Abbildungen 12 und 13 geben einen Ueberblick über den Ablauf der Seilzaunanfahrten unter Berücksichtigung aller polizeilich rapportierten Seilzaununfälle (Primär- und Sekundärunfälle).

Abbildung 12: Ablauf der Anfahrt. Primär- und Sekundärunfälle (Absolutzahlen und Prozente); aufgliedert nach Teilstrecken

	Teilstrecke	Anzahl Anfahrten		d a v o n									
				normal vorwärts		normal rückw.		an Seilzaun drehend		überschlagen kippen		ungewiss	
		n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Variante 0	1	30	100	10	33	4	13	8	27	3	10	5	17
	2	22	100	7	32	4	18	8	36	0	0	3	14
Variante 4	3	22	100	10	45	3	14	3	14	4	18	2	9
	4	28	100	19	68	2	7	4	14	1	4	2	7

Abbildung 13: Ablauf der Anfahrt. Vergleich Variante 0 - 4

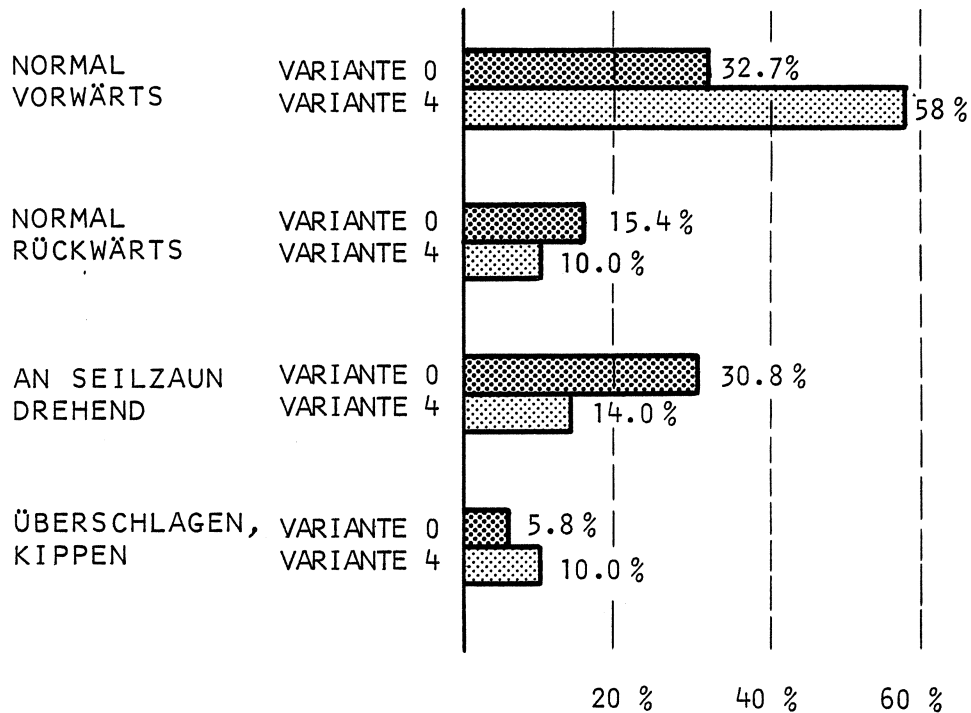
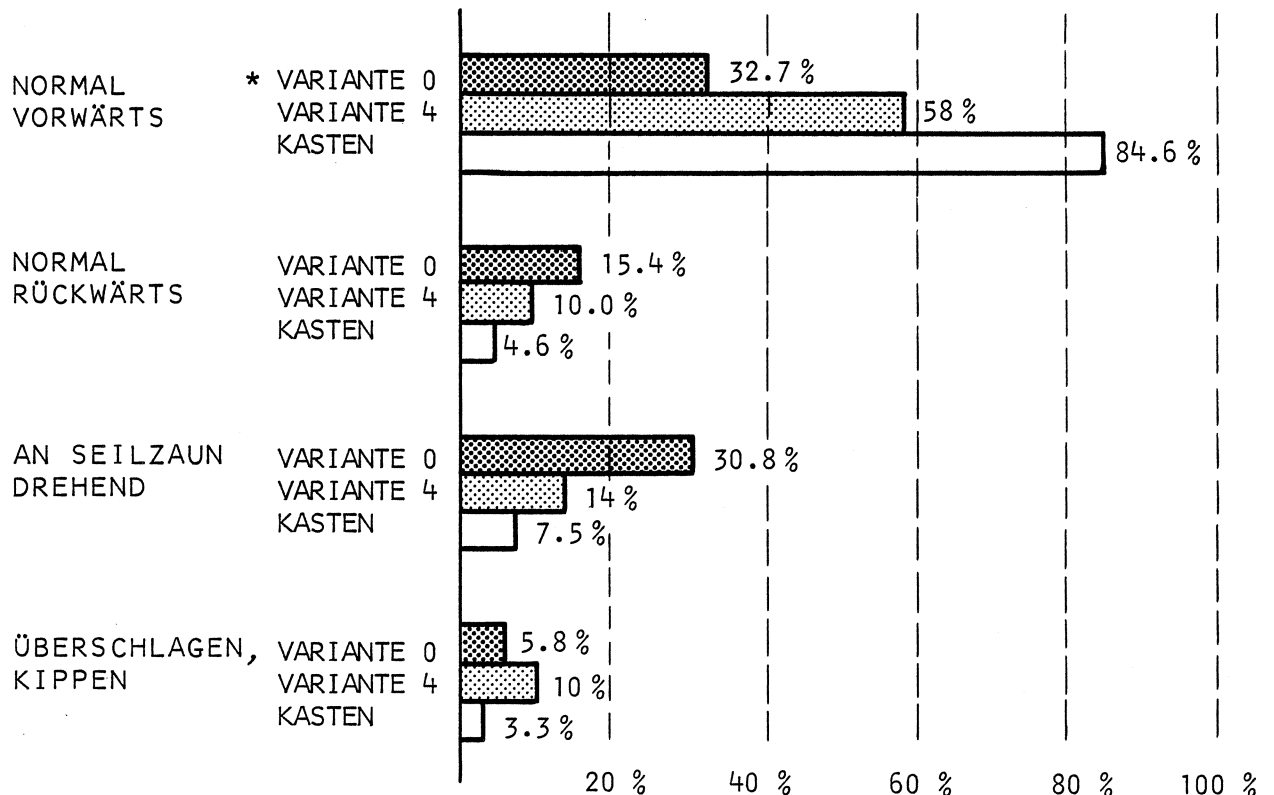


Abbildung 14: Vergleich Ablauf der Anfahrt Variante 0/Variante 4 mit Kastenprofil (4-spurige Strecke [3]); Primär- und Sekundärünfälle



*) Bei Variante 0 und Variante 4 sind die Anfahrten, bei denen der Ablauf des Anpralls ungewiss, d.h. im Polizeirapport nicht beschrieben ist, nicht berücksichtigt worden.

Die Auswertung zeigt, dass bezüglich Ablauf der Anfahrt einige Unterschiede zwischen den beiden Seilvarianten festzustellen sind. Inwieweit dieses unterschiedliche Verhalten wirklich auf die beiden Seilvarianten zurückzuführen ist, lässt sich angesichts der geringen Anzahl Unfälle nicht sagen. Es können auch streckenspezifische Einflüsse eine wesentliche Rolle spielen. Folgende Punkte wurden festgestellt:

- Bei der Variante 4 ist der prozentuale Anteil der Anfahrten "normal vorwärts" erheblich grösser als bei der Variante 0. Verglichen mit dem in [3] ermittelten Wert von rund 85 % für die Leitschranken mit Kastenprofil im Mittelstreifen (Abbildung 14), liegt der Anteil der Anfahrten "normal vorwärts" bei beiden Seilvarianten sehr tief. Wie die Abbildung 12 zeigt, kommen auf der Teilstrecke 4 mit einem Anteil von 68 % am meisten Anfahrten dieser Art vor.
- Die Anfahrten "normal rückwärts" kommen auf den Beobachtungsstrecken mit Seilzaun Variante 0 häufiger vor als auf denjenigen mit Variante 4. Verglichen mit den Verhältnissen am Kastenprofil auf der N1 im Kanton Zürich [3] liegt der Anteil der Rückwärtsanfahrten in dieser Untersuchung ziemlich hoch (Abbildung 14).
- Im Rahmen dieser Untersuchung haben sich am Seilzaun Variante 0 erheblich mehr Fahrzeuge gedreht als an der Variante 4. Vergleicht man wiederum mit den Werten vom Kastenprofil (Abbildung 14), liegt der Anteil der sich drehenden Fahrzeuge bei beiden Seilvarianten deutlich höher. Insbesondere auf der Teilstrecke 2 dieser Untersuchung drehen sich viele Fahrzeuge an der Seilleitschranke.
- Bezüglich "überschlagen und kippen" der anfahrenen Fahrzeuge schneidet die Seilzaunvariante 4 schlechter ab als die Variante 0. Auch bei diesem Kriterium liegt die Seilleitschranke deutlich ungünstiger als die Mittelleitschranke mit Kastenprofil (Abbildung 14). Besonders häufig kippen oder überschlagen sich die anprallenden Fahrzeuge auf der Teilstrecke 3, während auf der Teilstrecke 2 kein derartiger Unfall vorgekommen ist.

Eine weitere Analyse hat gezeigt, dass zwischen dem Ablauf der Anfahrt bei Primär- und Sekundärunfällen kein grosser Unterschied besteht. Die Abbildung 15 zeigt die entsprechende Aufteilung. Bei den Sekundärunfällen kommen die Rückwärtsanfahrten sowie die sich drehenden Fahrzeuge häufiger vor, dafür kippen bzw. überschlagen sich etwas weniger Fahrzeuge als bei den Primärunfällen.

Abbildung 15: Ablauf der Anfahrt: Aufteilung in Primär- und Sekundärunfälle

		Anzahl Anfahrten	d a v o n				
			normal vorw.	normal rückw.	an SZ drehend	überschl. kippen	unge- wiss
Primärunfälle	n	68	30	7	14	6	11
	%	100	44,1	10,3	20,6	8,8	16,2
Sekundärunfälle	n	34	16	6	9	2	1
	%	100	47,1	17,6	26,6	5,9	2,9

2.3.3. Verhalten der Fahrzeuge nach Kontakt mit dem Seilzaun

Ideal ist es, wenn das anprallende Fahrzeug dicht an der Mittelleitschranke zum Stillstand kommt, ohne dass es in die Fahrbahn hineinragt oder sogar auf die Fahrbahn zurückgeworfen wird. Die Gefahr einer Folgekollision ist dann geringer. Selbstverständlich darf die Mittelleitschranke nicht über- oder unterquert werden.

In diesem Kapitel wird neu der Begriff der Folgekollision eingeführt. Es ist demnach zu unterscheiden zwischen Folgekollision, also einer Kollision zwischen dem Unfallfahrzeug und einem Drittfahrzeug nach dem Anprall an die Leitschranke, und Folgeunfall (vgl. Kapitel 1.3.). Der Folgeunfall kann

auch ohne direkte Kollision mit dem an die Leitschranke angeprallten Fahrzeug durch umherfliegende Gegenstände oder durch Behinderung oder Erschrecken verursacht werden.

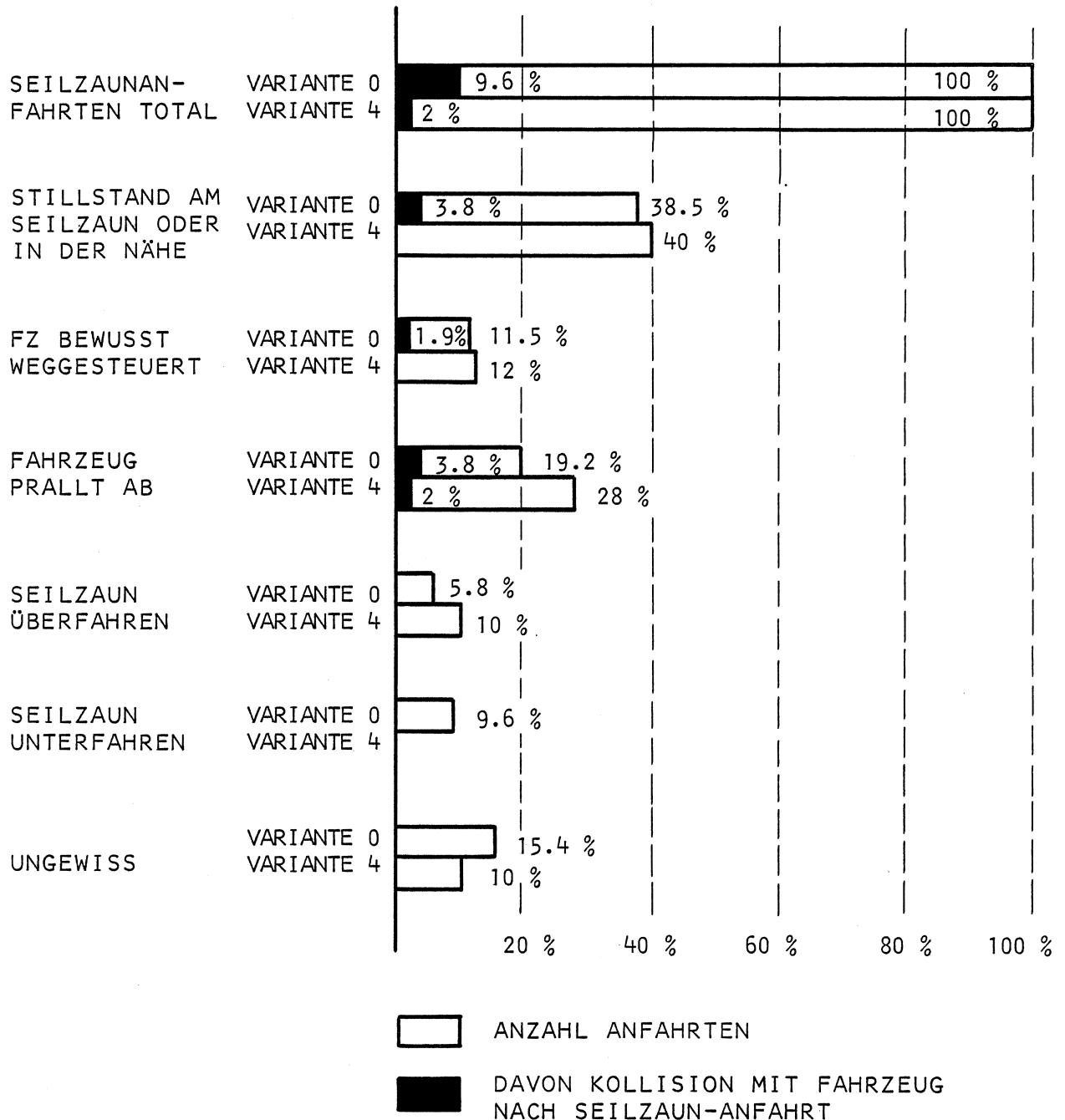
Eine Vorbemerkung zu Abbildung 16: Hatte sich ein Fahrzeug u n t e r dem Seilzaun gedreht oder war es unter dem Seilzaun zum Stillstand gekommen, wurde dies als "unterfahren" gezählt. Das Analoge gilt für die Ueberfahrten. Es ist deshalb bei der Interpretation der Resultate darauf zu achten, dass 38 % bzw. 60 % der in den Rubriken Ueber- bzw. Unterfahrten vermerkten Fahrzeuge nicht auf die Gegenfährbahn gelangten.

Abbildung 16 zeigt das Verhalten der Fahrzeuge nach dem Anprall. Es wurden alle polizeilich registrierten Unfälle berücksichtigt. In Abbildung 17 werden die Verhältnisse graphisch dargestellt.

Abbildung 16: Verhalten der Fahrzeuge nach dem Kontakt mit dem Seilzaun

	Teilstrecke	Total Anzahl Schrankenfahrten	Stillstand am Seilzaun oder in der Nähe	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	Fahrzeug bewusst weggesteuert	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	Fz prallt ab	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	SZ überfahren	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	SZ unterfahren	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	ungewiss/andere
Variante 0	1 n	30	10	2	4	1	6	1	2	0	3	0	5
	1 %	100	33,3	20	13,3	25	20	16,7	6,7	0	10	0	16,7
Variante 4	2 n	22	10	0	2	0	4	1	1	0	2	0	3
	2 %	100	45,5	0	9,1	0	18,2	25	4,5	0	9,1	0	13,6
Variante 4	3 n	22	9	0	1	0	5	0	5	0	0	0	2
	3 %	100	40,9	0	4,5	0	22,7	0	22,7	0	0	0	9,2
Variante 4	4 n	28	11	0	5	0	9	1	0	0	0	0	3
	4 %	100	39,3	0	17,9	0	32,1	11,1	0	0	0	0	10,7

Abbildung 17: Verhalten der Fahrzeuge nach Kontakt mit dem Seilzaun



Die Auswertung ergibt folgendes:

- ganz allgemein stellt man fest, dass

- sich auf den Teilstrecken mit Variante 4 deutlich weniger Folgekollisionen ereignen.
- im Vergleich mit [3] der %-Anteil über- bzw. unterfahren der Fahrzeuge relativ hoch ist.
- im Vergleich mit [3] die Anzahl der abgeprallten Fahrzeuge hingegen relativ klein ist.

- im einzelnen folgende Resultate:

- Obwohl bei Variante 4 mehr Fahrzeuge abprallen, führt das nicht zu mehr Folgekollisionen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht nur das Seilzaun-System Einfluss auf Folgekollisionen hat, sondern auch andere Faktoren wie z.B. Sichtverhältnisse, Verkehrsdichte etc.
- Die Folgekollisionen kommen fast ausschliesslich auf der Teilstrecke 1 vor.
- Deutliche Vorteile weist die Variante 4 bezüglich Seilzaun-Unterfahrten auf.
- Dagegen ist bei der Variante 4 ein erhöhter Anteil an SZ-Ueberfahrten zu verzeichnen. Dies ist vor allem auf die grosse Zahl von Ueberfahrten auf der Teilstrecke 3 zurückzuführen. Die Teilstrecke 4 weist keine einzige Ueberfahrt auf. Zu diesem Thema weitere Ueberlegungen im Kapitel 2.3.4.

Die nachfolgende Abbildung 18 zeigt das Verhalten der Fahrzeuge nach dem Anprall aufgegliedert in Primär- und Sekundär-unfälle.

Abbildung 18: Verhalten der Fahrzeuge nach Kontakt mit der Seilleitschranke.
Aufteilung in Primär- und Sekundär-unfälle.

		Total Anzahl Schranken-anfahrten	Stillstand am Seilzaun oder in der Nähe	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	Fz bewusst wegge- steuert	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	Fz prallt ab	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	SZ überfahren	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	SZ unterfahren	davon Kollision mit Fz nach SZ-Anfahrt	ungewiss / andere
Primär- unfälle	n %	64 100	23 35,9	1 4,3	10 15,6	1 10	15 23,4	1 6,7	5 7,8	0 0	3 4,7	0 0	8 12,6
Sekundär- unfälle	n %	38 100	17 44,7	1 5,9	2 5,3	0 0	9 23,7	2 22,2	3 7,9	0 0	2 5,3	0 0	5 13,1

Während allgemein kein grosser Unterschied zwischen den beiden Unfallkategorien besteht, sind drei Punkte beachtenswert:

- Bei den Primärunfällen werden mehr Fahrzeuge bewusst weggesteuert als bei den Sekundärunfällen.
- Bei den Sekundärunfällen stehen mehr Fahrzeuge in der Nähe oder beim Seilzaun still als bei Primärunfällen. Dies deutet auf niedrigere Anprallenergien bei den Sekundärunfällen hin.
- Was die Rubrik "abprallende Fahrzeuge" betrifft, weisen die Sekundärunfälle einen höheren Anteil an Folgekollisionen auf.

2.3.4. Ueber- und Unterfahrungen des Seilzaunes

Die Anzahl der Seilzaunüber- bzw. unterfahrungen hängt nicht nur vom Leitschranksystem (Variante 0/Variante 4), sondern auch von der Art der anfahrenden Fahrzeuge ab. In der Abbildung 19 ist das Fahrzeugverhalten nach der Seilzaunanfahrt bzw. die Wirkungsweise der beiden Seilzaunvarianten aufgliedert in die verschiedenen Fahrzeugkategorien. Gesicherte Aussagen über die Wirkungsweise der Seilleitschranksvarianten bei den einzelnen Fahrzeugarten lassen sich aufgrund der kleinen Unfallzahlen allerdings nicht machen.

Anfahrten von Motorrädern an den Seilzaun wurden nicht registriert. Die Anzahl der Lastwagen- und Lieferwagenanfahrungen ist sehr gering.

Bei den insgesamt 13 Ueber- oder Unterquerungen der Seilleitschranke (8 Pw, 3 Sportwagen, 2 Lieferwagen) gelangten aber nur 7 Fahrzeuge auf die Gegenfahrbahn (4 Pw, 2 Sportwagen, 1 Lieferwagen). Die übrigen Fahrzeuge (4 Pw, 1 Sportwagen, 1 Lieferwagen) blieben auf oder unter dem Seilzaun stehen.

Abbildung 19: Anzahl der Ueber- bzw. Unterfahrungen, aufgliedert nach Fahrzeugarten und Teilstrecken

		Variante 0 Teilstrecke				Variante 4 Teilstrecke			
		1		2		3		4	
		n	%	n	%	n	%	n	%
alle Fahrzeug- arten	total Anfahrten	30	100	22	100	22	100	28	100
	aufgehalten	25	83.3	19	86.4	17	77.3	28	100
	überfahren	2	6.7	1	4.5	5	22.7	-	-
	unterfahren	3	10	2	9.1	-	-	-	-
Pw und Pw mit Anhängen	total Anfahrten	22	100	18	100	18	100	24	100
	aufgehalten	19	86.4	17	94.4	14	77.8	24	100
	überfahren	2	9.1	-	-	4	22.2	-	-
	unterfahren	1	4.5	1	5.6	-	-	-	-
Sportwagen	total Anfahrten	6	100	2	100	2	100	4	100
	aufgehalten	4	66.7	1	50	2	100	4	100
	überfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
	unterfahren	2	33.3	1	50	-	-	-	-
Lieferwagen	total Anfahrten	2	100	1	100	2	100	-	-
	aufgehalten	2	100	-	-	1	50	-	-
	überfahren	-	-	1	100	1	50	-	-
	unterfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
Lastwagen	total Anfahrten	-	-	1	100	-	-	-	-
	aufgehalten	-	-	1	100	-	-	-	-
	überfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
	unterfahren	-	-	-	-	-	-	-	-

Beim Vergleich der beiden Seilzaunvarianten kann man feststellen, dass die Variante 4 im Gegensatz zur Variante 0 die Unterfahrungen sicher verhindert hat (Abbildung 19). Die Variante 0 wurde insgesamt fünfmal unterfahren. Dabei gelangten 2 Fahrzeuge auf die Gegenfahrbahn.

Was die Ueberfahrten betrifft stellt man folgendes fest (Abbildung 19):

Absolut wie anteilmässig weisen die Teilstrecken mit Seilzaunvariante 4 mehr Ueberfahrten auf (4 von 5 Fahrzeugen gelangten auf die Gegenfahrbahn) als die Teilstrecken mit Seilzaun Variante 0 (1 von 3 Fahrzeugen gelangte auf die Gegenfahrbahn). Bei der Seilzaunvariante 4 scheint zudem die erhöhte Zahl an Ueberquerungen teilstreckenspezifisch zu sein, denn die Ueberfahrten passierten ausnahmslos auf der Teilstrecke 3.

Die total fünf Ueberfahrten (wovon 1 Fast-Ueberfahrt nach vorangegangener Seilüberquerung) bei der Variante 4 beschränken sich aber nicht nur auf die selbe Teilstrecke, sondern passierten sogar ungefähr bei der selben Kilometrierung (ca. km 52,4), allerdings auf beiden Richtungsfahrbahnen. Im weiteren ereigneten sich vier dieser fünf Seilüberfahrten im Herbst 1980.

Diese zeitliche und örtliche Häufung der Ueberfahrungen bei der Seilleitschranke Variante 4 ist auffällig. Falls es sich nicht um Zufall handelt, können möglicherweise gewisse Eigenschaften der Mittelstreifenausbildung oder der Seilzaunausführung zu diesem Phänomen beigetragen haben.

Ansichts der Tatsache, dass auf den übrigen Abschnitten mit Variante 4 und im weiteren Verlauf der Untersuchungsperiode fast keine Ueberfahrungen mehr aufgetreten sind, erscheint es fraglich, ob die modifizierte Seilleitschranke Variante 4 bezüglich Ueberquerungen wirklich ungünstiger wirkt als die herkömmliche Seilleitschranke Variante 0.

Die Tabelle 20 zeigt einen Vergleich der hier ermittelten Untersuchungsergebnisse mit den Ergebnissen von den Mittelleitschranken mit Kastenprofil [3] und einer früheren Unfallauswertung an der Seilleitschranke [1]. Daraus lassen sich folgende Aussagen machen:

Abbildung 20: Vergleich der Seilzaunvarianten 0/4 mit dem Kastenprofil aus [3] und dem Seilzaun aus [1]

Leitschranken- system Fahrzeug- kategorie		Variante 0		Variante 4		Kasten- profil (aus [3])		Seil * (aus [1])	
		n	%	n	%	n	%	n	%
alle Fahrzeug- arten	total Anfahrten	52	100	50	100	465	100	1053	100
	aufgehalten	44	84.6	45	90	456	98.1	1016	96.5
	überfahren	3	5.8	5	10	7	1,5	17	1.6
	unterfahren	5	9.6	-	-	2	0.4	20	1.9
Pw, Pw mit Anhänger und Sportwagen	total Anfahrten	48	100	48	100	450	100	1006	100
	aufgehalten	41	85.4	44	91.7	443	98.5	976	97
	überfahren	2	4.2	4	8.3	5	1.1	10	1
	unterfahren	5	10.4	-	-	2	0.4	20	2
Lieferwagen	total Anfahrten	3	100	2	100	8	100	18	100
	aufgehalten	2	66.7	1	50	8	100	18	100
	überfahren	1	33.3	1	50	-	-	-	-
	unterfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
Lastwagen	total Anfahrten	1	100	-	-	7	100	27	100
	aufgehoben	1	100	-	-	5	71,4	20	74
	überfahren	-	-	-	-	2	28,6	7	26
	unterfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
Motorräder	total Anfahrten	-	-	-	-	-	-	2	100
	aufgehoben	-	-	-	-	-	-	2	100
	überfahren	-	-	-	-	-	-	-	-
	unterfahren	-	-	-	-	-	-	-	-

* entspricht der Seilleitschranke Variante 0

- In der vorliegenden Untersuchung wurden von der Seilleit-
schranke Variante 0 deutlich weniger Fahrzeuge aufgehalten
als vom identischen System im Rahmen der früheren Unter-
suchung [1]. Während damals 96.5 % aller anfahrenden Fahr-
zeuge aufgehalten wurden, konnten jetzt nur 84.6 % der an-
fahrenden Fahrzeuge aufgehalten werden.

Dieser Unterschied lässt sich möglicherweise auf die relativ kleine Zahl der Unfälle infolge der kurzen Beobachtungsstrecken zurückführen. Unter Umständen ist auch die Definition "aufgehalten" in dieser Untersuchung anders als in der damaligen Arbeit. Denn während jetzt, wie übrigens auch in der Untersuchung der Mittelleitschranken mit Kastenprofil [3], der Stillstand auf oder unter dem Seil als Versagen gewertet wurde, ist das diesbezügliche Vorgehen bei der früheren Untersuchung [1] nicht bekannt.

(Anmerkung: Werden nur die Anfahrten als Versager gerechnet, bei denen das Unfallfahrzeug auf die Gegenfahrbahn gelangt ist, so hat die Variante 0 94.2 % aller anfahrenden Fahrzeuge aufgehalten).

- Die Seilleitschranke Variante 4 hat mehr Fahrzeuge aufgehalten als die Variante 0, aber die Versagerquote ist immer noch grösser als bei der Seilleitschranke gemäss früherer Untersuchung und als bei den Mittelleitschranken mit Kastenprofil.
- Ueberfahrungen kommen bei beiden jetzt betrachteten Varianten der Seilleitschranke erheblich öfter vor als beim Kastenprofil oder bei der früher untersuchten Seilleitschranke (entspricht Variante 0).
- Bei der Variante 0 wurden viel mehr Unterfahrungen registriert als bei der identischen Seilleitschranke in der früheren Untersuchung. Bei der Variante 4 kommen hingegen keine und beim Kastenprofil nur sehr wenige Unterfahrungen vor.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Durchbruchssicherheit beider Seilvarianten deutlich unter derjenigen der Mittelleitschranken mit Kastenprofil liegt. Auch verglichen mit der früheren Untersuchung der Wirkungsweise der Seilleitschranke wurde hier bei beiden Seilvarianten eine schlechtere Durchbruchssicherheit ermittelt.

2.4. Personenschäden

2.4.1. Untersuchung nach Schwere der Verletzung

Berücksichtigt werden nur Verletzungen, die von Primärunfällen herrühren. Sekundärunfälle werden in diesem Kapitel nicht berücksichtigt, weil meistens nicht klar ist, ob die Verletzung vom ersten oder zweiten Unfall stammt.

Die Personenschäden werden im folgenden nach der Methode der "Schwere der Verletzungen" untersucht:

Die verschiedenartigen Verletzungen wurden in vier Kategorien eingeteilt. Es sind dies: "leichtverletzt, mittelschwerverletzt, schwerverletzt und tot".

Die Zuteilung erfolgte nach den folgenden Kriterien, wobei die Instruktionen der eidgenössischen Strassenverkehrsunfall-Statistik als Zuteilungshilfe dienten:

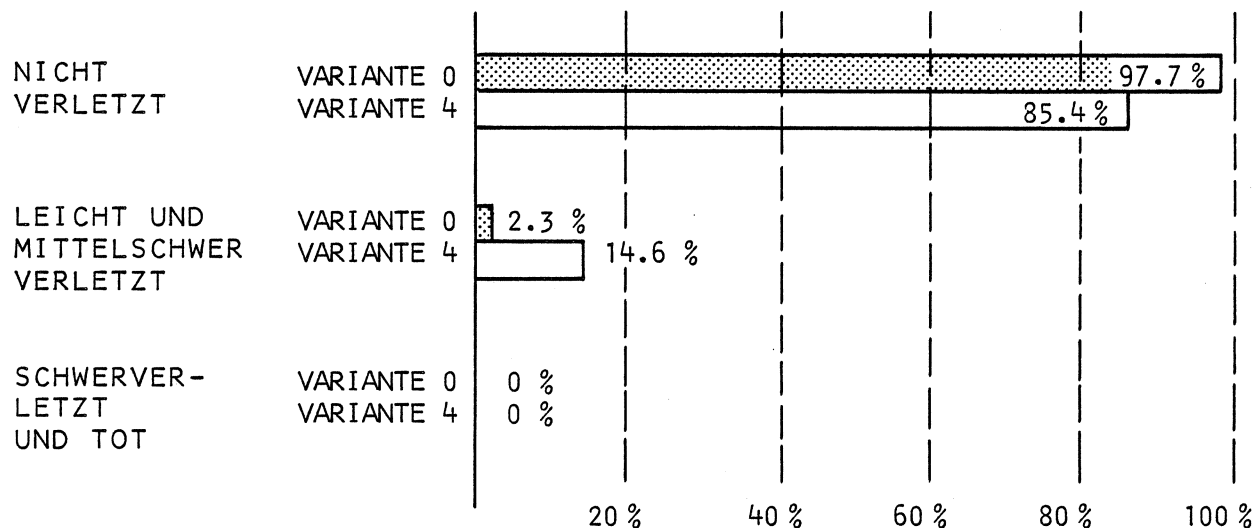
- Wo vorhanden, wurde die Schwere der Verletzung aus dem Unfallrapport der Polizei übernommen.
- Bei Verletzungen, wo nur deren Art angegeben war (z.B. Beinbruch), wurde die Schwere nach unserem Ermessen festgelegt.
- Als leichtverletzt galten alle diejenigen Verletzten, die lediglich eine ambulante Behandlung auf dem Unfallplatz benötigten.
- Als mittelschwer galten alle diejenigen Verletzungen, die einen Spitalaufenthalt nötig machten, von denen aber keine bleibenden körperlichen Schäden zu erwarten waren.
- Als schwer galten alle Verletzungen, die einen Spitalaufenthalt nötig machten und bei denen bleibende körperliche Schäden zurückblieben oder zu befürchten waren (z.B. Schädelbruch).

Die Abbildung 21 enthält die Anzahl der Insassen der Fahrzeuge, die bei Primärunfällen beteiligt waren, und die dabei aufgetretenen Personenschäden. In der Abbildung 22 werden die Resultate graphisch dargestellt.

Abbildung 21: Anzahl verletzte Personen, eingeteilt nach der Schwere ihrer Verletzungen (nur Primärunfälle)

	total Anzahl Insassen	nicht verletzt	leicht verletzt	mittel-schwer verletzt	schwer-verletzt	tot
Variante 0	44	43	1	0	0	0
Variante 4	41	35	6	0	0	0

Abbildung 22: Verletzte und getötete Personen (nur Primärunfälle)



Der prozentuale Anteil der Leicht- und Mittelschwerverletzten ist bei den Teilstrecken mit Seilzaunvariante 4 grösser als bei den Teilstrecken mit Seilzaunvariante 0. Wobei zu bemerken ist, dass die Anzahl der Leichtverletzten zu 80 % von einem einzigen Unfall herrühren. D.h. der Stichprobenumfang dieser Untersuchung ist nicht gross genug, um allgemeine Aussagen bezüglich der Gesamtheit aller Seilzaununfälle machen zu können.

Bei Seilzaunüber- bzw. unterfahrungen, bei denen Fahrzeuge auf die Gegenfahrbahn gelangten, waren keine Verletzten bzw. Toten

zu verzeichnen. Ebenso wurden keine Primärunfälle mit Folgekollisionen, die zu Verletzungen geführt haben, registriert.

Vergleicht man den Anteil "nicht verletzte" Personen aus Abbildung 22 mit den Werten aus einer anderen Untersuchung [3], so stellt man, unter der Einschränkung des kleinen Stichprobenumfanges dieser Untersuchung fest, dass die Zahlen auf einem eher günstigeren Niveau liegen.

2.4.2. Untersuchung nach Unfallschwere

Im Kapitel 2.4.1. wird die Untersuchung der Personenschäden infolge von Seilzaununfällen anhand der Anzahl der Verletzten und Getöteten bzw. der Schwere der Verletzungen durchgeführt.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Anzahl der Verletzten und Getöteten erheblich durch Zufälligkeiten (Fahrzeugart, Fahrzeugbesetzung, Unfallörtlichkeit usw.) beeinflusst wird. Diese Zahlen geben daher, für sich allein betrachtet, nicht unbedingt ein objektives Bild.

Die Strassenverkehrstechnik bedient sich auch noch eines anderen Verfahrens, das diese Zufälligkeiten mildert und somit besser vergleichbare Durchschnittswerte liefert. Unter Verwendung bestimmter Gefahrengewichte werden für einen abgegrenzten Zeitabschnitt sogenannte Unfallgewichtsziffern U_g berechnet:

$$U_g = p_s \cdot u_s + p_l \cdot u_l + p_m \cdot u_m + p_v \cdot u_v + p_t \cdot u_t$$

p = Gefahrengewichte und zwar:

p_s	= Sachschaden	= Gewicht	1
p_l	= Leichtverletzte	= Gewicht	5
p_m	= Mittelschwerer Verletzter	= Gewicht	40
p_v	= Schwerer Verletzter	= Gewicht	70
p_t	= Tote	= Gewicht	130

ferner:

u_s = Zahl der Unfälle mit nur Sachschaden
 u_l = Zahl der Unfälle mit Leichtverletzten
 u_m = Zahl der Unfälle mit Mittelschwerverletzten ¹⁾
 u_v = Zahl der Unfälle mit Schwerverletzten
 u_t = Zahl der Unfälle mit Toten.

Pro Unfallereignis ist jeweils die schwerste dabei vorkommende Unfallart massgebend.

Die mittlere Unfallschwere für einen untersuchten Zeitabschnitt und Unfallart ergibt sich aus dem Verhältnis:

$$U_M = \frac{\text{Unfallgewichtsziffer } U_g}{\text{Unfallzahl } Z}$$

Z = Summe aller Unfälle.

Als Beispiel folgt nun die Berechnung der mittleren Unfallschwere U_M der Primärunfälle.

Abbildung 23: Unfallschwere der Primärunfälle an den beiden Seilvarianten

		mittlere Unfallschwere U_M pro Teilstrecke	U_M pro Seilvariante
Variante 0	Teilstrecke 1	1.2	1.1
	Teilstrecke 2	1.0	
Variante 4	Teilstrecke 3	1.7	1.3
	Teilstrecke 4	1.0	

1) Ueblicherweise werden die Unfälle nur in 4 Unfallarten eingeteilt, nämlich in Unfälle mit Sachschaden, Unfälle mit Leichtverletzten, Schwerverletzten und Toten. Da in diesem Bericht die Verletzungsarten feiner unterteilt sind, kommt noch der Typ der Unfälle mit Mittelschwerverletzten hinzu. Ihr Gefahrengewicht wurde vom Institut mit 40 angenommen.

Auch mit diesem Bewertungsverfahren ergibt sich die bereits in Kapitel 2.4.1. gemachte Aussage, dass nämlich auf den Teilstrecken mit Seilvariante 4 etwas schwerwiegendere Unfallfolgen auftraten als auf den Teilstrecken mit Seilvariante 0. Obige Aussage kann sogar noch präzisiert werden: Es ist allein die Teilstrecke 3, bei der die schwerwiegenden Unfallfolgen auftraten ($U_M = 1.7$).

Verglichen mit den Werten aus früheren Untersuchungen [z.B. 3] sind jedoch die Unfallschwereraten aller 4 Teilstrecken (Abbildung 23) sehr tief. Die mittlere Unfallschwere der Unfälle an den Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil lag auf der 4-spurigen Untersuchungsstrecke bei $U_M = 3.8$ [3]. Bei den Unfällen an der Seilleitschranke wurde in [1] eine Unfallschwere von $U_M = 5,0$ errechnet.

2.5. Unfallkosten und Leitschrankenschaden

Die nachfolgenden Kostenangaben beinhalten nur die reinen Sachschäden. Die Kosten wurden aus den Unfallrapporten entnommen. Die Angaben basieren auf den Schätzungen der Polizei und sind daher mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet. Auch werden die Unfallkosten in starkem Masse durch Zufälligkeiten (z.B. Fahrzeugtyp und -alter) beeinflusst. Alle Kosten aus Personenschäden und weitergehende volkswirtschaftliche Kosten konnten nicht ermittelt werden.

Aufgrund der voranstehenden Ausführungen darf der Kostenbetrachtung nicht zuviel Bedeutung beigemessen werden. Dennoch ist die Kenntnis der ungefähren, durchschnittlichen Reparaturkosten an der Mittelleitschranke und am Unfallfahrzeug bei einem Mittelleitschrankenunfall interessant. Auf die Berücksichtigung der Teuerung bei den Reparaturkosten wurde verzichtet, da sich, angesichts der oben erwähnten Einschränkungen, die Genauigkeit dadurch nur scheinbar verbessern würde.

Für die nachstehenden Kostenangaben (Abbildung 24) wurden nur die Selbstunfälle (PoF) berücksichtigt, da bei der Beteiligung mehrerer Fahrzeuge an einem Unfall meist nicht mehr zu

ermitteln ist, welche Kosten von der Seilzaunanfahrt und welche Kosten von der Kollision mit anderen Fahrzeugen stammen. So ergeben sich folgende Reparaturkosten:

Abbildung 24: Geschätzte Unfallkosten der Selbstunfälle PoF an Seilzäunen
(mittlere Kosten pro Unfall in Fr.)

		Kostensumme aller Unfälle	Anzahl Unfälle	mittlere Kosten pro Unfall
Kosten am Seilzaun	Variante 0	29'430.- Fr.	25	1'177.- Fr.
	Variante 4	30'120.- Fr.	22	1'369.- Fr.
Kosten am Fahrzeug	Variante 0	153'000.- Fr.	25	6'120.- Fr.
	Variante 4	154'500.- Fr.	22	7'023.- Fr.
Σ Kosten Seilzaun + Fahrzeug	Variante 0	-	-	7'297.- Fr.
	Variante 4	-	-	8'392.- Fr.

Die Kosten für die Selbstunfälle liegen bei den Teilstrecken mit Seilvariante 4 rund 15% höher als bei der Seilvariante 0.

Beim Vergleich mit anderen Untersuchungen ergibt sich folgendes:

Die Kosten der Selbstunfälle liegen (unter Berücksichtigung der Teuerung) bei der Variante 0 um 26% und bei der Variante 4 um 45% höher als die Seil-Unfallkosten, wie sie in [1] berechnet wurden (Mitteilung Nr. 34: Kosten beim Seil 4'810.- Fr., Kostenstand 1975. Der Preisindex stieg von 1975 bis 1981 = Mitte der Untersuchungsperiode um ca. 20 Punkte). Die Gesamtkosten bei der Variante 0 liegen auf ähnlichem Niveau wie diejenigen bei den Mittelleitschranken mit Kastenprofil [3], während bei der Variante 4 höhere Kosten entstehen.

Den weitaus grössten Teil der Reparaturkosten bei einem Mittelleitschrankenunfall beansprucht die Behebung der Fahrzeugschäden. Die Reparatur des Seilzaunes fällt demgegenüber nicht stark ins Gewicht.

Abbildung 25: Durchschnittliche Anzahl umgefahrener Pfosten, aufgegliedert nach Unfallkategorien

Unfallkategorie Teil- strecken	Primärunfälle	Sekundärunfälle	alle Seil- zaununfälle *)
Variante 0	17.1	10.6	14.6
Variante 4	20.2	17.2	18.9
alle 4 Teilstrecken	18.7	13.9	16.6

*) Diese Mittelwerte sind gewichtet nach der Anzahl der Primär- bzw. Sekundärunfälle

Die durchschnittliche Zahl umgefahrener Pfosten aller Seilzaun-
unfälle (Abbildung 25) beträgt 16.6 Pfosten. Dies ist ein ho-
her Wert, wenn man ihn mit der entsprechenden Zahl von 10.7
Pfosten aus [1] vergleicht (gleiches System wie Variante 0).
Die Gründe für die erhöhte Zahl umgefahrener Pfosten können
mannigfaltig sein:

- Fahrzeugart
- Anprallgeschwindigkeit
- Anprallwinkel
- Unfallkategorie
- Seilzaun-System

Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich, weiter auf diese
Problematik einzugehen.

Erwähnt sei jedoch noch, dass die durchschnittliche Anzahl um-
gefahrener Pfosten (Distanz zwischen 2 Pfosten: 2.5 m) für die
Primärunfälle (PoF und PmF) ca. 19 Pfosten beträgt und für die
Sekundärunfälle (SoF und SmF) ca. 14 Pfosten.

Im weiteren ergaben sich auch Unterschiede bei der durchschnitt-
lichen Anzahl umgefahrener Pfosten (alle Seilzaununfälle) zwi-
schen den beiden Seilzaunvarianten. Die Teilstrecken mit Seil-
zaunvariante 4 weisen einen deutlich höheren Wert auf (18.9) im
Vergleich zu den Teilstrecken der Seilzaunvariante 0 (14.6).
Der Umlenkvorgang ist also bei der Seilzaunvariante 4 durch-
schnittlich rund 11 m länger als bei der Variante 0. Die mitt-
lere Schadenlänge bei den Unfällen an den Mittelstreifenleit-
schränken mit Kastenprofil wurde in [3] mit ca. 11 m errechnet,
während sie hier bei der Seilleitschranke im Mittel ca. 42 m
beträgt.

2.6. Beteiligte Fahrzeugarten

Das folgende Kapitel gibt einen Ueberblick über die an den Seilleitschrankenunfällen beteiligten Fahrzeugarten. Hier werden alle 4 Teilstrecken der beiden Seilvarianten zusammengefasst. Es wird unterschieden einerseits zwischen den Fahrzeugen die im Verlaufe des Unfalles den Seilzaun anfahren, und andererseits allen Fahrzeugen, die bei einem Unfall am Seilzaun beteiligt waren, auch wenn sie selber den Seilzaun nicht angefahren haben.

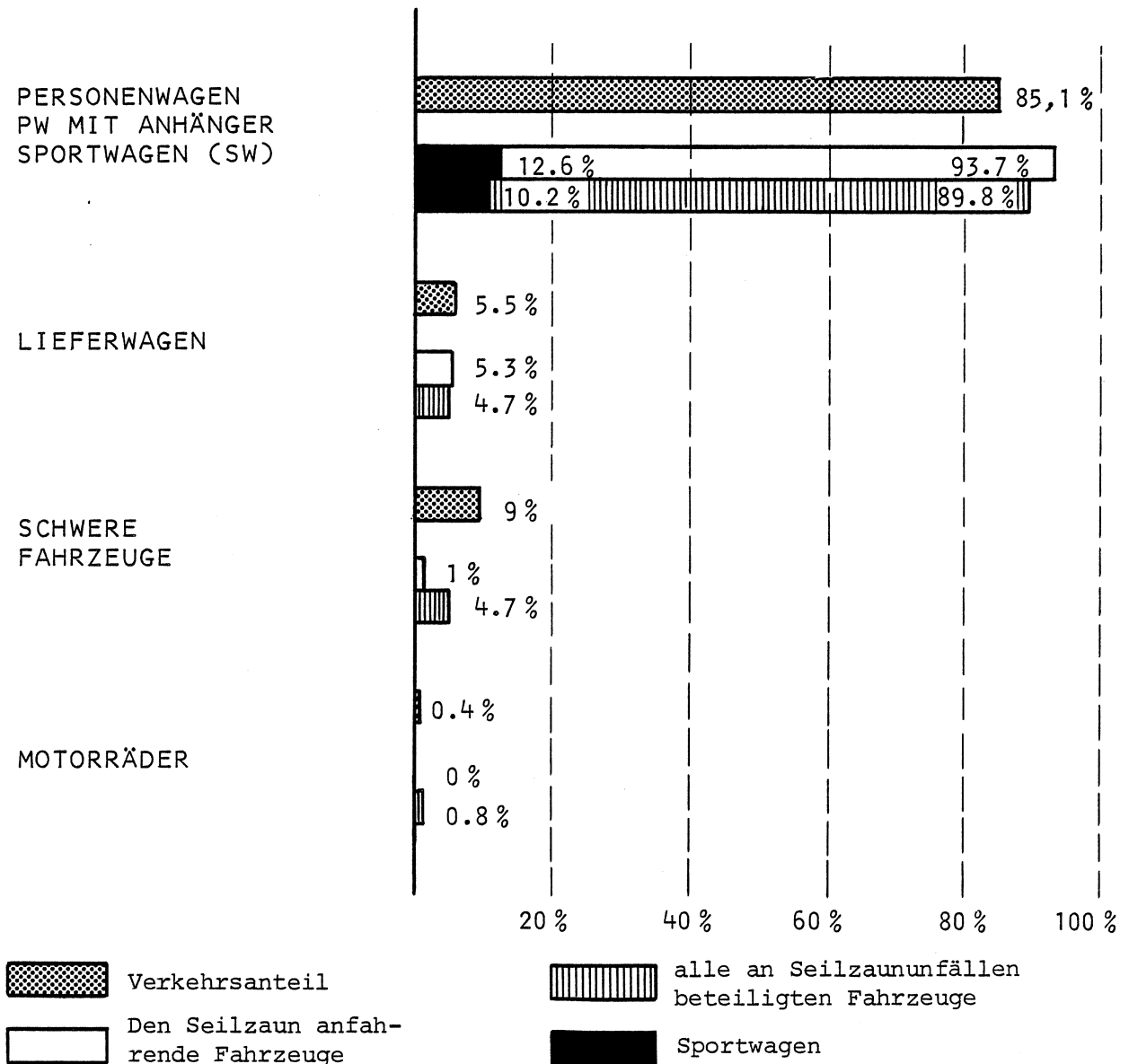
Die Häufigkeit der Beteiligung an Seilzaununfällen wird mit den Verkehrsanteilen der einzelnen Fahrzeugkategorien verglichen. Die Verkehrsanteile wurden aus den Aufzeichnungen der automatischen Verkehrszähler und den Strassenverkehrszählungen der Bundesämter für Strassenbau und Statistik abgeleitet.

Die Abbildung 26 zeigt folgendes; wobei die zum Teil sehr kleine Anzahl Fahrzeuge pro Kategorie berücksichtigt werden muss:

- An Seilzaununfällen sind vorwiegend Personenwagen beteiligt, und zwar mehr als ihrem Verkehrsanteil entsprechen würde. Schwere Fahrzeuge sind demgegenüber bedeutend seltener in Seilzaununfälle verwickelt, als es ihrem Verkehrsanteil entsprechen würde. Lieferwagen und Motorräder sind ungefähr ihrem Verkehrsanteil entsprechend an Seilleitschrankenunfälle beteiligt.
- Betrachtet man nur die Fahrzeuge, die den Seilzaun tatsächlich angefahren haben, wird der überproportionale Anteil der Personenwagen noch extremer. Die Häufigkeit der Anfahrt schwerer Fahrzeuge an den Seilzaun entspricht hingegen nur einem Bruchteil des Verkehrsanteils dieser Fahrzeugkategorie. Motorradunfälle wurden gar nicht registriert.

Obige Bemerkungen zum prozentualen Anteil der beteiligten Fahrzeugarten decken sich recht gut mit den Untersuchungsergebnis-

Abbildung 26: Prozentualer Anteil der beteiligten Fahrzeugarten (alle 4 Teilstrecken zusammengefasst)



sen aus [3]. Hingegen ergibt sich bezüglich der Beteiligung schwerer Fahrzeuge ein wesentlicher Unterschied zur früheren Untersuchung [1]: In dieser neuen Untersuchung sind die Lastwagen, wie auch in [3], deutlich weniger an Seilzaununfällen beteiligt. Diese Aussage gilt sowohl für die ausschliessliche Mitbeteiligung an Seilzaununfällen als auch für die tatsächlichen Anfahrten an den Seilzaun.

Die Häufigkeit von Lastwagenanfahrrten an die Mittelstreifenleitschranke bezogen auf die Gesamtzahl der Anfahrrten an die Mittelstreifenleitschranke auf 4-spuriger Strecke beträgt:

- in dieser Untersuchung am Seil:
 - 1 % bei einem Lw-Anteil am Verkehr von 9 %
- in der Untersuchung der Leitschranken mit Kastenprofil [3]:
 - 1.4 % bei einem Lw-Anteil von knapp 7 % .
- in der früheren Untersuchung der Seilleitschranke [1]:
 - 2.6 % bei einem Lw-Anteil von ca. 10 %

Bezieht man die Anzahl Seilzaunanfahrrten auf die Verkehrsleistung, ergeben sich im Rahmen dieser Untersuchung ungefähr folgende Unfallraten für die Anfahrrten an die Mittelleitschranke: $U_{Pw} = \text{ca. } 0.22$, $U_{Lw} = \text{ca. } 0.024$ (nur 1 Lw-Unfall). Die Unfallrate für die Anfahrrten an die Mittelstreifenleitschranke ist also bei den Personenwagen rund neunmal grösser als bei den Lastwagen. Zum Vergleich seien die entsprechenden Werte von der 4-spurigen Strecke mit Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil [3] angegeben: $U_{Pw} = \text{ca. } 0.26$, $U_{Lw} = \text{ca. } 0.053$; sowie die in der früheren Untersuchung der Seilleitschranke [1] ermittelten Werte: $U_{Pw} = \text{ca. } 0.32$, $U_{Lw} = \text{ca. } 0.096$. Die Wahrscheinlichkeit von Mittelstreifenleitschrankenanfahrrten scheint also in neuerer Zeit generell abzunehmen, wobei dies ganz besonders für die Lastwagenanfahrrten gilt.

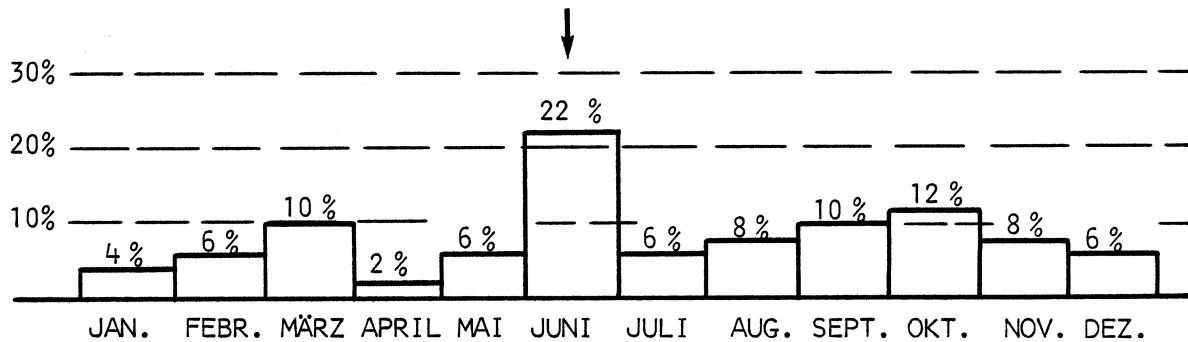
2.7. Unfälle in Abhängigkeit der Beleuchtung und des Strassenzustandes

Die momentanen Umweltbedingungen beeinflussen das Verkehrs- und Unfallgeschehen sehr stark. Aufgrund der vorliegenden Daten können Auswertungen hinsichtlich zeitlicher Verteilung der Unfälle, hinsichtlich Beleuchtungsverhältnisse (Tag, - Dämmerung - Nacht) und hinsichtlich Strassenzustand gemacht werden.

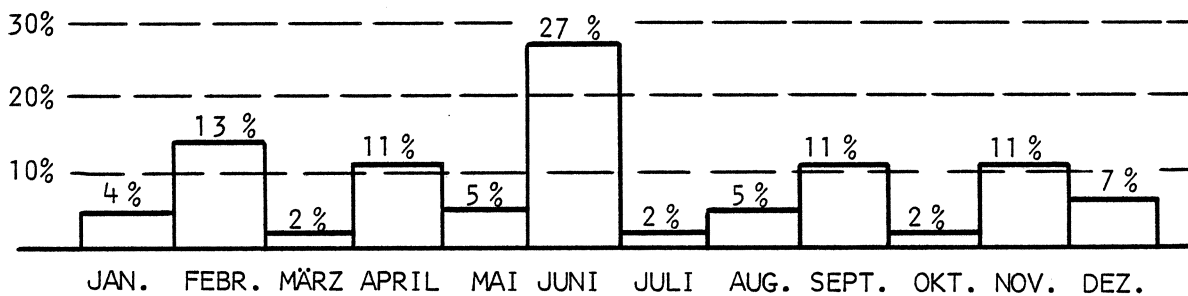
Zuerst also eine kurze Betrachtung der monatlichen Verteilung der Unfälle.

Abbildung 27: Monatliche Verteilung der Unfälle (jeweils beide Teilstrecken zusammengefasst)

Teilstrecken mit Seilvariante 0



Teilstrecken mit Seilvariante 4



Zu dieser Abbildung 27 folgende zwei Bemerkungen:

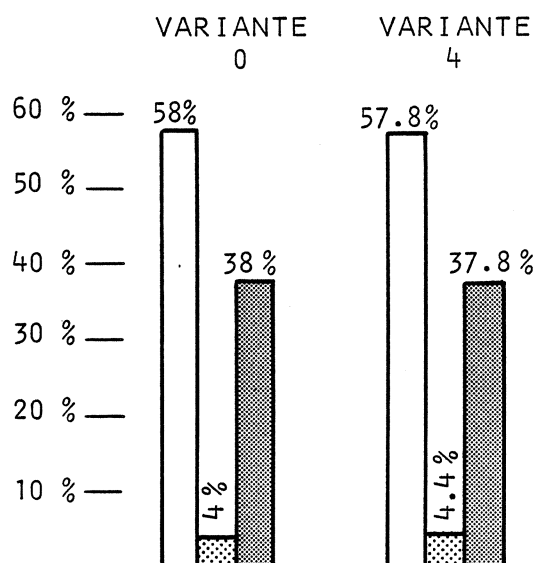
- Der Monat Juni ist bei beiden Seilvarianten der unfallreichste Monat
- Die Verteilungen über das Jahr ist bei allen Teilstrecken ähnlich.

Anhand der Abbildung 28 wurde versucht, den Einfluss der Beleuchtungsverhältnisse auf das Unfallgeschehen an den beiden Seilvarianten abzuklären.

Abbildung 28:

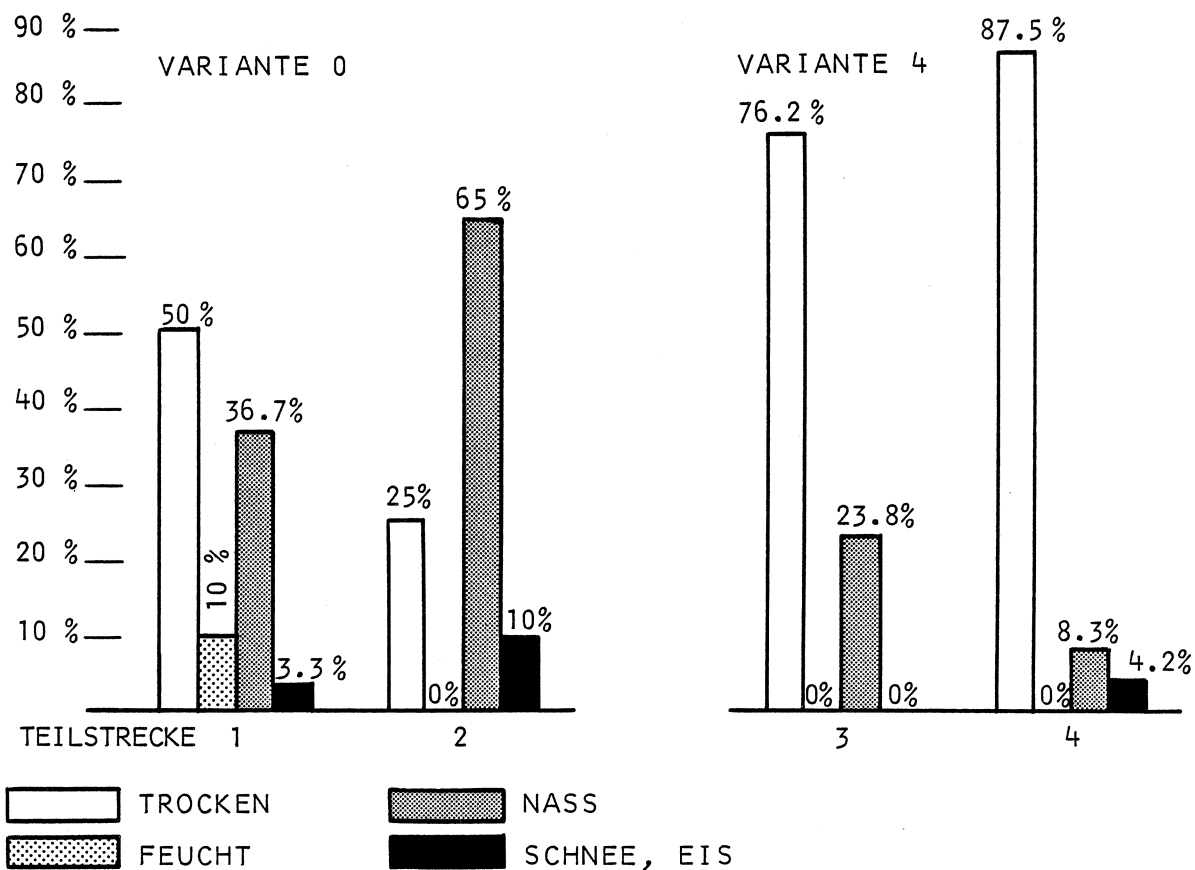
Prozentuale Aufteilung der
Seilzaununfälle auf Tag,
Dämmerung und Nacht

(jeweils beide Teilstrecken
zusammengefasst)



Die Abbildung 28 zeigt praktisch dieselbe prozentuale Aufteilung der Unfälle auf Tag, Dämmerung und Nacht für beide Seilvarianten. D.h. es gibt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Teilstrecken mit Seilvariante 0 und den Teilstrecken mit Seilvariante 4 bezüglich der beleuchtungsbedingten Sichtverhältnisse. Anders sieht es beim Strassenzustand aus:

Abbildung 29: Unfallverteilung nach Strassenzustand
(teilstreckenweise)



Zusammenfassend kann folgendes festgehalten werden:

- keine Unterschiede zwischen den Teilstrecken bezüglich monatlicher Verteilung der Seilzaununfälle.
- keine Unterschiede zwischen den Teilstrecken bezüglich Beleuchtungsverhältnisse bei den Seilleitschrankenunfällen. Der Anteil der Nachtunfälle liegt weit über dem entsprechenden Verkehrsanteil. Diese Tatsache wurde auch in [1] und [3] festgestellt.
- bezüglich Strassenzustand bei den Mittelleitschrankenunfällen ergeben sich deutlich Unterschiede zwischen den einzelnen Teilstrecken. Während sich auf der Teilstrecke 1 und ganz besonders 2 (beide mit Variante 0) ein erheblicher Anteil der Unfälle bei nasser Strasse ereignete, überwiegen auf den Teilstrecken 3 und 4 (beide mit Seilvariante 4) ganz eindeutig die Unfälle bei trockener Strasse.

2.8. Anprallgeschwindigkeiten und Dehnungen des Seilzaunes

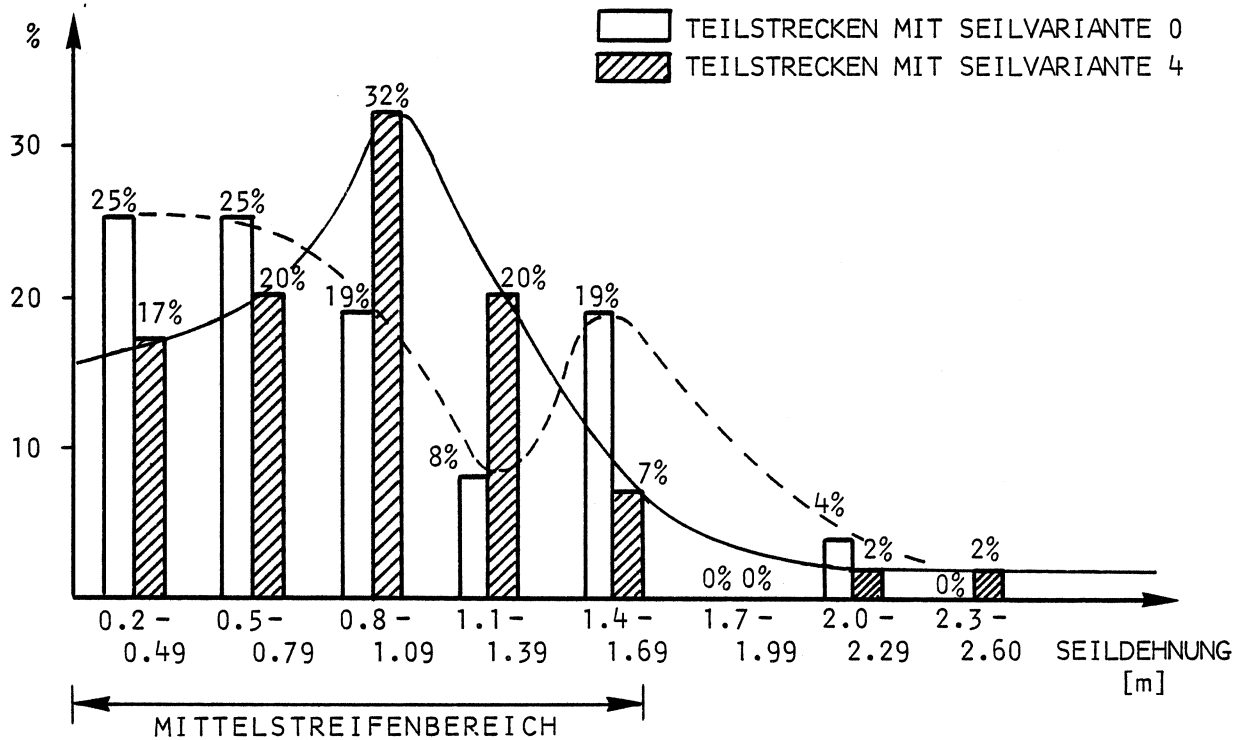
Im ersten Teil dieses Abschnittes geht es um die Häufigkeitsverteilung der Seildehnungen bei den beiden Seilvarianten (inkl. Vergleich). Berücksichtigt werden Primär- und Sekundärunfälle. Unter dem Begriff "Seildehnung" wird hier die seitliche Durchbiegung des Seilzaunes verstanden, die anhand der Fahrspuren auf dem Mittelstreifen (Grasmarken) ermittelt werden konnte.

Im Abschnitt der Anprallgeschwindigkeiten werden nur Primärunfälle berücksichtigt, da die Anprallgeschwindigkeit bei den Sekundärunfällen oft unbekannt und durch den vorangegangenen Unfall verringert ist.

Der Versuch, eine Korrelation zwischen der Dehnung des Seiles und der Energie des Aufpralls ($E = \frac{m}{2} \cdot v^2 \cdot \sin \alpha$) zu finden, blieb erfolglos. Die errechneten Korrelationswerte lagen viel

zu tief. Der Grund für diesen Misserfolg liegt wohl in der Ungenauigkeit der Erhebungsmethode für die Zahlenwerte (v, α , Seildehnung) begründet.

Abbildung 30: Häufigkeit der Seildehnungen je Seilvariante (Primär- und Sekundärurfälle)



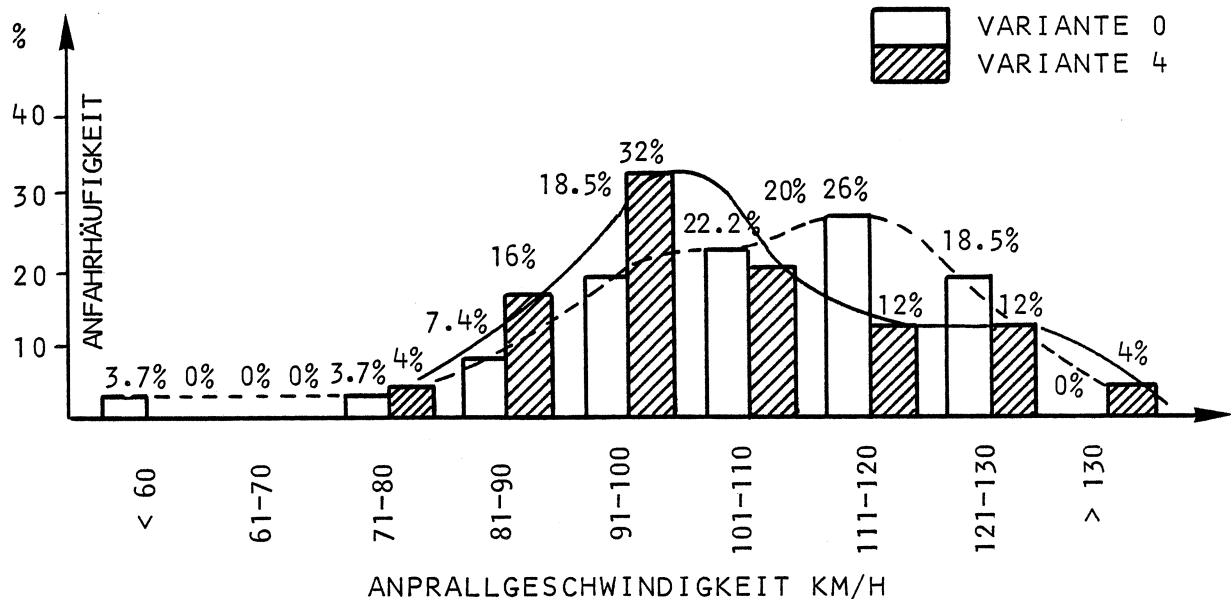
Die Abbildung 30 zeigt die Verteilung der Seildehnungen. Dabei lassen sich Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede beim Vergleich zwischen den Teilstrecken mit Seilvariante 0 und den Teilstrecken mit Seilvariante 4 erkennen.

Innerhalb des Bereiches des Mittelstreifens (Seildehnung $\leq 1.7\text{m}$) befinden sich auf allen 4 Teilstrecken 96 % aller Seildehnungen.

Die beiden Seilvarianten unterscheiden sich hingegen in der Form der Häufigkeitsverteilung innerhalb des Mittelstreifenbereiches. Bei den Teilstrecken mit Seilvariante 0 sind mehr Seildehnungen $\leq 0.79\text{m}$ zu verzeichnen als bei den Teilstrecken mit Seilvariante 4. Die Häufigkeitsverteilung bei den Teilstrecken mit Seilvariante 4 ist zudem nahezu normalverteilt.

Dabei wurde in ca. $\frac{1}{3}$ der Fälle das Seil 0.8 - 1.09 m seitlich durchgebogen. Ob diese Unterschiede auf die jeweilige Seilvariante oder andere streckenspezifische Gründe zurückzuführen sind, muss offenbleiben.

Abbildung 31: Histogramm der Anprallgeschwindigkeiten bei Primärunfällen



Die Abbildung 31 zeigt die Verteilung der Anprallgeschwindigkeiten bei allen Primärunfällen (PoF + PmF). Die theoretische mittlere Anprallgeschwindigkeit beträgt auf den Teilstrecken mit Seilvariante 0 ca. 105 km/h. Sie liegt auf den Teilstrecken mit Seilvariante 4 mit ca. 103 km/h etwas tiefer.

Vergleicht man obige Mittelwerte mit den Werten aus der früheren Untersuchung der Seilleitschranke [1], so stellt man fest, dass sie damals auf einem ähnlichem Niveau lagen (Planke ca. 101 km/h, Seil BE ca. 106 km/h, Seil SO ca. 99 km/h). Die 1974 eingeführte Geschwindigkeitsbegrenzung auf 130 km/h hat somit keinen merklichen Einfluss auf die mittlere Anprallgeschwindigkeit bei den Mittelleitschrankenunfällen. Für die Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil wurde in [3] auf einer anderen, aber ebenfalls 4-spurigen Autobahnteilstrecke eine mittlere Anprallgeschwindigkeit von 99 km/h ermittelt.

2.9. Konstruktive Gesichtspunkte der Seilzaunvariante 4

Die Variante 4 weist gegenüber der Variante 0 einige konstruktive Änderungen auf. Deren Verhalten bei den Unfällen wird in diesem Kapitel kurz betrachtet.

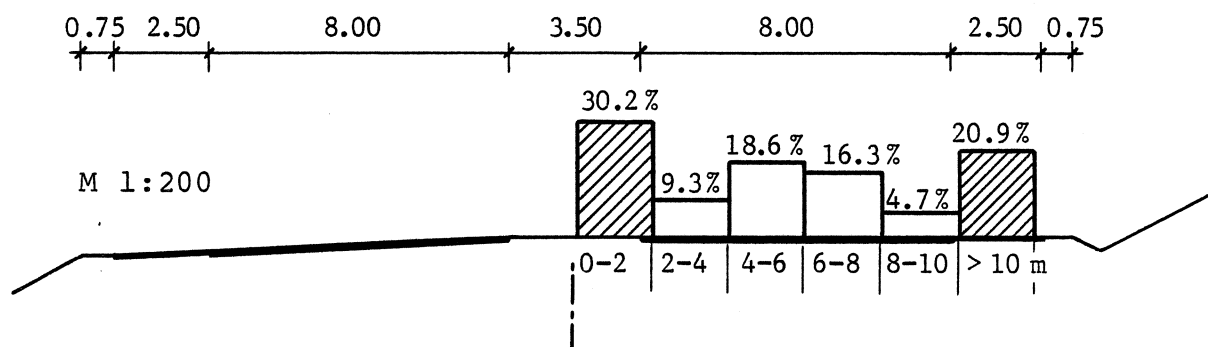
- a) Die Pfostengabeln mit dem tiefen Schlitz verhielten sich im allgemeinen gut. Die Verstärkung war ausreichend.
- b) Verdrehungen der Pfosten sind bei der Seilvariante 4 nicht wesentlich öfter vorgekommen als bei der Seilvariante 0. Diese Aussage kann aufgrund der den Unfallprotokollen beiliegenden Photos gemacht werden.

Eine Verdrehung der Pfosten deutet daraufhin, dass sich die Seile nicht rasch genug vom Pfosten gelöst haben.

- c) Anhand der Polizeiphotos wurde untersucht, ob sich das untere Seil bei der Variante 4 vom Pfosten gelöst hat oder von diesem heruntergerissen wurde. In 80,6 % der Fälle hat sich das untere Seil vom Pfosten gelöst und in 19,4 % der Fälle wurde es vom Pfosten heruntergerissen.
- d) Eine Gefährdung des Verkehrs durch wegfliegende Distanzstücke kann nicht ausgeschlossen werden. Bei der Auswertung der Unfallprotokolle konnten aber keine Fahrzeugschäden festgestellt werden, die sich auf das Wegschleudern der Distanzstücke zurückführen lassen.

Die mittlere Entfernung der weggeschleuderten Distanzstücke betrug ca. 6,2 m. Somit können sowohl die Fahrzeuge auf dem Ueberholstreifen als auch die auf dem Normalstreifen der Gegenfahrbahn durch umherfliegende Distanzstücke gefährdet werden.

Abbildung 32: Histogramm der Entfernung der Distanzstücke
(repräsentatives Normalprofil der N 1)



- e) Die Einbauhöhen der Seile auf den Versuchsstrecken der N1 lagen im Schnitt drei bis vier Centimeter tiefer als bei den Anfahrversuchen [2]. Diese geringe Bauhöhe kann eventuell ein Mitgrund sein für die in Kapitel 2.3.4 erwähnten Ueberfahrungen der Seilvariante 4 auf der Teilstrecke 3. Wenn nämlich das obere Seil ausschwingt, wird das Unfallfahrzeug allein vom unteren Seil geführt. Auch in diesem Fall darf die entsprechende Umlenkraft nicht so tief am Fahrzeug angreifen, dass das entstehende Kippmoment bewirkt, dass das Fahrzeug über die Seilleitschranke kippt. Ausserdem kann ein tiefes Seil leichter vom Fahrzeug niedergerissen und überquert werden.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Untersuchung der Unfälle an Seilleitschranken umfasst 95 polizeilich rapportierte Unfälle. Es geht dabei um den Vergleich zweier Ausführungen der Seilleitschranke bezüglich ihrer Wirkungsweise bei Unfällen.

Als Variante 0 wird die bekannte und normierte Seilleitschranke System "British ropes" bezeichnet (Kap. 1.4, Abb.1). Diesem System wird die ebenfalls in Anfahrversuchen erprobte Variante 4, mit tiefem Schlitz in den Pfosten und zwei Seilen auf verschiedenen Höhen mit Abstandhaltern dazwischen, gegenübergestellt (Kap. 1.4, Abb.2). Ziel dieser Modifikation der Seilleitschranke ist, dass das tieferliegende untere Seil die Unterfahrungen der Seilleitschranke durch niedrige Personenwagen (Sportwagen) verhindern soll.

Diese 95 Unfälle mit Polizeirapport haben sich innerhalb von 39 1/2 Monaten (10.9.80 - 31.12.83) auf der total ca. 10 km langen Beobachtungsstrecke (Autobahn N1 Zürich-Bern) ereignet. Die insgesamt vier Beobachtungsstrecken weisen alle einen 4-spurigen Querschnitt auf. Die Beobachtung des Unfallgeschehens an der Seilleitschranke Variante 0 erfolgte auf einer Strecke von 6 km, die Unfälle an der Variante 4 wurden auf einer Länge von 3,6 km erfasst (vgl. Kap. 1.5, Abb.4). Die geringe Anzahl Unfälle schränkt die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse stark ein.

Diese Untersuchung der Unfälle an Seilleitschranken lehnt sich stark an frühere Arbeiten an, in denen das Unfallgeschehen an der Seilleitschranke und an der Doppelten Distanzleitschranke bzw. an den Leitschranken mit Kastenprofil untersucht wurde [1,3]. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse dieser früheren Unfalluntersuchungen des öfters zu Vergleichen herangezogen.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Unfallraten der verschiedenen Teilstrecken sich nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Mit einer Ausnahme: Die Unfallraten der Teilstrecken 1 und 2 in Fahrtrichtung Bern (beide mit Variante 0)

liegen deutlich tiefer als die übrigen Werte. Vergleicht man die Unfallraten mit Werten aus früheren Publikationen [1,3], so kann man feststellen, dass sie hier eher tief liegen (Kap. 2.1, Abb.5).

Gesamthaft gesehen ist der Anteil der Primär- und Sekundärurfälle bei beiden Seilvarianten ungefähr gleich gross (Kap. 2.2, Abb.8). Bezüglich Folgeunfällen lassen sich im Rahmen dieser Arbeit wegen der kleinen Unfallzahlen keine allgemeingültigen Aussagen machen.

Die errechneten Anteile betragen:

Variante 0:	12 %	Folgeunfälle	(PmF + SmF)
Variante 4:	4 %	Folgeunfälle	(PmF + SmF)

Ein Anteil von 12 % Folgeunfällen wie bei der Variante 0 wurde auch für die Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil ermittelt. Es ist zu beachten, dass die Gefahr von Folgeunfällen nicht allein vom Leitschranksystem abhängt.

Interessant ist die Tatsache, dass gesamthaft gesehen bei 2/3 der Unfälle die Fahrzeuge vor der Kollision mit der Seilleitschranke schleuderten. Ein knappes Drittel hatte eine normale Fahrt (Kap. 2.3.1, Abb.9).

Weiter zeigt die Auswertung, dass bezüglich Ablauf der Anfahrt einige Unterschiede zwischen den beiden Seilvarianten festzustellen sind:

- Bei der Variante 4 ist der prozentuale Anteil der Anfahrten "normal vorwärts" erheblich grösser als bei der Variante 0. Wobei dieser Wert bei beiden Seilvarianten, verglichen mit früheren Untersuchungen, sehr tief liegt (Kap. 2.3.2, Abb. 14).
- Im Rahmen dieser Untersuchung haben sich am Seilzaun Variante 0 erheblich mehr Fahrzeuge gedreht als an der Variante 4. Dieser Umstand kann möglicherweise in Zusammenhang mit dem Verhalten vor dem Unfall gebracht werden. Denn auf den

Teilstrecken 3 und 4 (Seilleitschranke Variante 4) schleuderten deutlich weniger Fahrzeuge vor dem Anprall als auf den Teilstrecken 1 und 2 (Variante 0).

- Bezüglich "überschlagen, kippen" der anfahrenden Fahrzeuge schneidet die Seilzaun-Variante 4 schlechter ab als die Variante 0, wobei der Unterschied vor allem im ungünstigen Verhalten auf der Teilstrecke 3 begründet liegt.

Inwieweit diese Unterschiede bei den Unfallabläufen wirklich auf die beiden Seilvarianten zurückzuführen sind, lässt sich angesichts der geringen Anzahl Unfälle nicht sagen.

Die Auswertung bezüglich des Verhaltens der Fahrzeuge nach dem Kontakt mit dem Seilzaun (Kap. 2.3.3) ergab, dass die Variante 4 im Gegensatz zur Variante 0 die Unterfahrungen sicher verhindert hat (Kap. 2.3.4, Abb.19).

Was aber die Ueberfahrten betrifft, weisen die Teilstrecken mit Seilzaunvariante 4 mehr Ueberfahrten auf als diejenigen mit Variante 0. Dabei ist eine zeitliche und örtliche Häufung aller Ueberfahrungen bei der Seilleitschranke Variante 4 auf einem Abschnitt der Teilstrecke 3 auffällig. Angesichts der Tatsache, dass auf den übrigen Abschnitten mit Variante 4 und im weiteren Verlauf der Untersuchungsperiode fast keine Ueberfahrungen mehr aufgetreten sind, erscheint es fraglich, ob die modifizierte Seilleitschranke Variante 4 bezüglich Ueberquerungen wirklich ungünstiger wirkt als die herkömmliche Seilleitschranke Variante 0.

Mit dem Bewertungsverfahren der Unfallschwere ergibt sich, dass auf den Teilstrecken mit Seilvariante 4 etwas schwerwiegendere Unfallfolgen auftraten als auf den Teilstrecken mit Variante 0, wobei wiederum die Teilstrecke 3 dafür verantwortlich ist.

Verglichen mit den Werten aus früheren Untersuchungen liegen jedoch die Unfallschwereraten aller 4 Teilstrecken sehr tief (Kap. 2.4, Abb.23).

Die Gesamtkosten der Unfälle bei der Variante 0 liegen auf ähnlichem Niveau wie diejenigen bei den Mittelleitschranken mit Kastenprofil [3] während bei der Variante 4 etwas höhere Kosten entstehen.

An Seilzaununfällen sind vorwiegend Personenwagen beteiligt, und zwar mehr als es ihrem Verkehrsanteil entsprechen würde. Schwere Fahrzeuge sind demgegenüber bedeutend seltener in Seilzaununfälle verwickelt als es ihrem Verkehrsanteil entsprechen würde. Zudem scheint die Wahrscheinlichkeit von Mittelleitschrankenanfahrten in neuerer Zeit generell abzunehmen, wobei dies ganz besonders für die Lastwagenanfahrten gilt (Kap. 2.6).

Die Auswertungen hinsichtlich zeitlicher Verteilung der Unfälle, hinsichtlich Beleuchtungsverhältnisse und hinsichtlich Strassenzustand (Kap. 2.7) haben folgendes ergeben:

- keine Unterschiede zwischen den Teilstrecken bezüglich monatlicher Verteilung der Seilzaununfälle.
- keine Unterschiede zwischen den Teilstrecken bezüglich der Beleuchtungsverhältnisse bei den Seilleitschrankenunfällen, wobei die Nachtunfälle überproportional vertreten sind.
- Auf den Teilstrecken 1 und 2 (beide mit Variante 0) ereignete sich ein erheblicher Anteil der Unfälle bei nasser Strasse, während auf den Teilstrecken 3 und 4 (beide mit Seilvariante 4) ganz eindeutig die Unfälle bei trockener Strasse überwiegen.

Die theoretische mittlere Anprallgeschwindigkeit (Kap. 2.8, Abb.31) beträgt auf den Teilstrecken mit Seilvariante 0 ca. 105 km/h. Sie liegt auf den Teilstrecken mit Seilvariante 4 mit ca. 103 km/h auf ähnlichem Niveau. Vergleicht man obige Mittelwerte mit den Werten aus der früheren Untersuchung der Seilleitschranke [1], so stellt man fest, dass sich trotz zwischenzeitlicher Einführung der Geschwindigkeitsbegrenzung wenig verändert hat (Planke ca. 101 km/h, Seil BE ca. 106 km/h, Seil SO ca. 99 km/h).

Bei der Auswertung der Unfallprotokolle konnten keine Fahrzeugschäden festgestellt werden, die sich auf das Wegschleudern der Distanzstücke zurückführen lassen, obwohl $\frac{2}{3}$ der Distanzstücke in den Bereich der Gegenfahrbahn geschleudert wurden.

Bei der Variante 4 hat sich das untere Seil in ca. 81 % aller Fälle wunschgemäss vom Pfosten gelöst, während es in ca. 19 % der Fälle vom Pfosten mit hinuntergerissen wurde.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mittelleitschranken sind ein wesentliches Element der passiven Sicherheit auf Autobahnen. Ihre Wirkung ist sowohl bei Primär- als auch Sekundärunfällen von grosser Bedeutung.

Der vorliegenden Untersuchung liegt wegen der kurzen Beobachtungsstrecken nur eine relativ kleine Anzahl Unfälle zu Grunde. Dementsprechend können in vielen Punkten keine gesicherten Aussagen gemacht werden. Dennoch zeigen sich einige wesentliche Tendenzen:

- Die Wahrscheinlichkeit von Mittelleitschrankenanfahrten scheint generell abzunehmen, wobei dies ganz besonders für die Lastwagenanfahrungen gilt. Diesen Schluss kann man ziehen, wenn man die hier ermittelten Unfallraten mit denjenigen früherer Untersuchungen vergleicht.
- Bezüglich Unfallschwere fällt die Beurteilung ebenfalls günstig aus. Im Mittel blieben knapp 92 % der Insassen aller der beiden Seilzaunvarianten anfahrenden Fahrzeuge unverletzt. Dieser Wert liegt im Rahmen anderer moderner Mittelleitschrankensysteme.
- Trotzdem muss man aber feststellen, dass die Durchbruch-sicherheit beider Seilvarianten (Variante 0 : 85 %; Variante 4 : 90 %) deutlich unter derjenigen der Mittelstreifenleitschranken mit Kastenprofil liegt und somit erst recht diejenige der Doppelten Distanzleitschranke bei weitem nicht erreicht. Auch verglichen mit der früheren Untersuchung der Wirkungsweise der Seilleitschranke wurde hier bei beiden Seilvarianten eine schlechtere Durchbruch-sicherheit ermittelt.
- Beim Vergleich der beiden Seilzaunvarianten stellt man fest, dass die Variante 4 im Gegensatz zur Variante 0 die Unterfahrungen sicher verhindert hat. Diesbezüglich werden die Ergebnisse der Anfahrversuche bestätigt.

- Hingegen ist bei der Variante 4 ein erhöhter Anteil an Seil-Ueberfahrten zu verzeichnen, der allerdings auf eine zeitliche und örtliche Häufung von Ueberfahrten auf einem Abschnitt der Teilstrecke 3 zurückzuführen ist.

Zusammenfassend muss man sagen, dass die Seilleitschranke bezüglich Durchbruchsisicherheit den heutigen Anforderungen nicht mehr genügen kann. Sie sollte daher auf Autobahnen nicht mehr neu angewendet werden.

Die modifizierte Seilleitschranke Variante 4 verhindert im Gegensatz zur bekannten Ausführung die Unterfahrungen des Systems mit hoher Sicherheit, doch besteht beim neuen System möglicherweise eine grössere Gefahr von Ueberfahrungen. Aufgrund dieser Tatsache scheint uns der Aufwand für die Umrüstung der bestehenden Seilleitschranken auf die neue modifizierte Variante nicht sinnvoll zu sein. Vielmehr sollte mittelfristig ein Ersatz der Seilleitschranke im Mittelstreifen von Autobahnen durch durchbruchssichere Leitschrankensysteme, wie die Doppelte Distanzleitschranke oder eventuell auch die Mittelleitschranke mit Kastenprofil, ins Auge gefasst werden.

L I T E R A T U R :

- [1] Klingler/Seiler: Vergleich von Seilzaun und Doppelplanke anhand von Unfällen an Mittelschranken

Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der ETH Zürich,
Mitteilung Nr. 34
- [2] M. Klingler : Anfahrversuche an Varianten der Seilleitschranke System "British Ropes"

Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der ETH Zürich,
Mitteilung Nr. 43
- [3] H. Köster : Unfalluntersuchung an Leitschranken mit Kastenprofil im Mittelstreifen einer Autobahn

Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau an der ETH Zürich,
FA 14/80 des EDI
- [4] Richtlinien : Richtlinien für die Ausführung von Leitschranken

Bundesamt für Strassenbau, Bern 1982

Unfallrapporte der Autobahnpolizei des Kantons Solothurn

Schweizerische Strassenverkehrszählungen und Aufzeichnungen der automatischen Verkehrszähler

Bundesämter für Strassenbau und Statistik