



Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen

**M. Laube, dipl. Bau-Ing. ETH
IVT ETH Zürich**

**Conference paper STRC 2001
Session Engineering**

STRC

**1st Swiss Transport Research Conference
Monte Verità / Ascona, March 1.-3. 2001**

Verkehrsverhalten und Unfallgeschehen im Bereich von Autobahnbaustellen

Author M. Laube
Department Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau
Organisation ETH Zürich
City 8093 Zürich

Phone: 01-633 66 95
Fax: 01-633 10 57
eMail: laube@ivt.baug.ethz.ch

Abstract

Die im Rahmen der Substanzerhaltung notwendigen Baustellen auf Hochleistungsstrassen (HLS) führen grundsätzlich zu Einschränkungen und Behinderungen im Verkehrsablauf. Im Zusammenhang mit dem Forschungsarbeit FA 19/99 ‚Verkehrstechnische Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnbaustellen‘ wird der Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen bei verschiedenen Autobahnbaustellentypen genauer untersucht.

Pro Jahr muss auf dem rund 1'200 km langen Nationalstrassennetz mit durchschnittlich 50 Baustellenkilometer gerechnet werden, die mit 800 Stautunden rund einen Viertel aller Stautunden verursachen. Zudem erhöht sich im Vergleich zu den übrigen Strassen sehr sicheren Autobahnen im Bereich der Autoibahnbaustellen die Unfallrate um rund 50%.

Die genauere Analyse der Unfälle im Baustellenbereich zeigt, dass bei den unterschiedlichen Verkehrsführung im Baustellenbereich aber auch in den einzelnen Abschnitten der Baustelle die Unfallrate stark variiert. Zudem steigt bei hohen Geschwindigkeiten und grossen Verkehrsmengen der Anteil kurzer Zeitlücken zwischen den einzelnen Fahrzeugen stark an. Diese Konstellation wird für die Fahrzeuglenker bei plötzlich auftretenden Inhomogenitäten (beispielsweise Baustellen) zu einem grossen Risiko mit einer steigenden Gefahr von Auffahrunfällen. Leider lässt sich der Fahrzeuglenker oftmals durch Informationen aus dem Erscheinungsbild zu einer offensiven Fahrweise verleiten, obwohl der weitere Strassenverlauf, der vor ihm liegt und die Verkehrssituation noch nicht einsehbar sind.

Keywords

Autobahnbaustellen – Swiss Transport Research Conference – STRC 2001 – Monte Verità

1 EINLEITUNG

Die im Rahmen der Substanzerhaltung notwendigen Baustellen auf Hochleistungsstrassen (HLS) führen grundsätzlich zu Einschränkungen und Behinderungen im Verkehrsablauf. Je nach Verkehrsführung, Baustellenorganisation und Verkehrsmengen resultieren mehr oder weniger starke Auswirkungen auf das individuelle Fahrverhalten und somit auf das gesamte Verkehrs- und Unfallgeschehen. Die Folgen sind erhöhte Unfallzahlen, Stauerscheinungen und höhere Umweltbelastungen.

Zur Instandhaltung der vorhandenen Infrastruktur werden aber auch in Zukunft die Unterhalts- und Sanierungsarbeiten auf Autobahnen und Kunstbauten weiter zunehmen. Zudem wird ein sicherer und effizienter, dem Verkehrsgeschehen auf unseren Nationalstrassen angepasster Unterhalt unter zunehmenden Verkehrsbelastungen immer schwieriger, d.h. die Behinderungen und somit die Gefahr von Unfällen im Baustellenbereich nimmt auf den Autobahnen tendenziell weiter zu.

Das Schwergewicht der Forschungsarbeit FA 19/99 ‚Verkehrstechnische Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnbaustellen‘ im Baustellenbereich liegt im Übergangsbereich zwischen der freien Strecke und der Baustelle. Das Hauptziel dieser Untersuchungen liegt im Erkennen der wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangsbereiches und den Merkmalen des Verkehrsablaufes bei verschiedenen Baustellentypen auf HLS. Aus diesen Erkenntnissen sollen die Richtlinien für die der jeweilige Situation angepasste, optimale Einrichtung vor und im Baustellenbereich ausgearbeitet werden. Die Zweckmässigkeit dieser Einrichtung kann grundsätzlich aufgrund von Merkmalen des Unfallgeschehens und jenen des Verkehrsgeschehens beurteilt werden. Zur Ermittlung der Merkmale des Verkehrsgeschehens sowie zur Überprüfung der Hypothesen werden empirische Erhebungen als unerlässlich erachtet, die vor allem in diesem Sommer durchgeführt werden.

2 Hochleistungsstrassennetz

2.1 Verkehrsentwicklung und Staubildung

Während in den Jahren 1985 bis 1995 das Nationalstrassennetz um rund 150 km (+10%) von 1'054 km auf 1'197 km wuchs, verzeichnete die durchschnittliche Verkehrsbelastung (gemäss der Auswertung der amtlichen Verkehrszählungen) eine Zunahme um 50% und liegt heute durchschnittlich bei rund 36'000 Fz/Tag. Heute weisen viele Abschnitte des Autobahnnetzes Verkehrsbelastungen auf, die nahe an oder über der kritischen Belastungsgrenze (DTV 45'000 für vierstreifige Querschnitte) liegen. Die kleinsten Zwischenfälle oder Störungen führen zu Behinderungen im Verkehrsablauf und provozieren innert kürzester Zeit grössere Staubildungen. Kommen in diesen Bereichen zusätzlich noch Behinderungen durch Baustellen hinzu, sind Verkehrszusammenbrüche unvermeidlich.

Neben der Verkehrsüberlastung und den Verkehrsunfällen sind die Baustellen eine der Hauptursachen für die Bildung von Staus auf dem Nationalstrassennetz. Seit einigen Jahren werden Staumeldungen erfasst und auch wenn gewisse Zweifel an der Zuverlässigkeit der Daten angebracht werden dürfen, sind generelle Ableitungen aber durchaus möglich.

Table 1 Staustunden auf Nationalstrassen nach Ursachen

	1994		1995		1996	
	total	%	total	%	total	%
Verkehrsüberlastung	852	34%	1'292	39%	1'433	36%
Verkehrsunfälle	832	33%	1'101	33%	1'474	37%
Baustellen	632	25%	747	23%	820	21%
Andere Ursachen	208	8%	174	5%	255	6%
Total	2'524	100%	3'314	100%	3'982	100%

Source: Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke (1998) 18

Aufgrund der Tabelle ist ersichtlich, dass rund ein Viertel aller Staustunden auf Baustellen zurückzuführen sind. Grobe Schätzungen gehen von einem durch alle Staustunden entstandenen volkswirtschaftlichen Schaden in zweistelliger Millionenhöhe aus.

2.2 Baustellenkapazität

Bei einer angenommenen Gebrauchsdauer von 25 Jahren für den Strassenoberbau sowie für Kunstbauten muss bei einem 1'200 km langen Nationalstrassennetz jährlich mit durchschnittlich rund 50 Baustellenkilometer gerechnet werden. Die Erfahrungsgrenzwerte in der Schweiz, gemäss denen bei einem Spurabbau ohne Staubbildung gerechnet werden kann, liegen bei 25'000 Fz/Tag für vierstreifige (2x2) und 50'000 Fz/Tag für sechsstreifige (3x3) Autobahnen. Aufgrund der heutigen Verkehrsbelastungen des Nationalstrassennetzes ist ein Fahrstreifenabbau ohne grössere Folgen für den Verkehrsablauf nur noch auf wenigen Teilstrecken ausserhalb der Agglomerationen möglich. Trotzdem kann insbesondere bei Sanierungen von Kunstbauten (Tunnels, Brücken) aufgrund der prekären Platzverhältnisse (keine Standstreifen) ein Fahrstreifenabbau bei Verkehrsbelastungen, die wesentlich höher liegen als die Grenzwerte, notwendig werden (z.B. Stadt Zürich A1: Sanierung Schöneichtunnel).

2.3 Unfallgeschehen

Die Hochleistungsstrassen gelten im Vergleich zu den übrigen Strassen als sichere Verkehrswege. 1996 ereigneten sich auf dem 1'200 km langen Nationalstrassennetz 8'275 Unfälle mit 2'691 Verletzten. Dies entspricht einer mittleren Unfallrate von 0.52. In der folgenden Tabelle sind die Durchschnittswerte der Unfallrate resp. der Verunfalltenrate für verschiedene Strassentypen dargestellt.

Table 2 Unfallgeschehen nach Strassentypen

Strassentyp	Autobahn	Hauptstrasse ausserorts	Hauptstrasse innerorts
Unfallrate	0.5	1.2	2.1
Verunfalltenrate	17	80	100

Source: Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke (1998) 17

Bei den im Vergleich zu den übrigen Strassen sehr sicheren Autobahnen ist aufgrund einer neueren Untersuchung [1] in der Schweiz im Bereich von Autobahnbaustellen mit einer rund 50% höheren Unfallrate gerechnet werden.

3 Autobahnbaustellen

3.1 Allgemeines

Die Signalisation von Autobahnbaustellen wird in der Schweiz mit der Norm SN 640 885c ‚Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen‘ der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute geregelt. In dieser Norm wird die Signalisation von zeitlich begrenzten Beschränkungen und Behinderungen bei Arbeiten auf oder unmittelbar neben der Fahrbahn und den damit verbundenen Hindernissen, Unebenheiten und Verengungen der Fahrstreifen behandelt.

In dieser Norm werden folgende Baustellentypen definiert:

- Autobahnbaustellen (= 2 Tage)
- Tagesbaustellen von kurzer Dauer bis max. 48 Stunden
- mobile Baustellen, Tagesbaustellen, die sich in der Regel laufend verschieben

Aufgrund dieser Einteilung sind für jeden Baustellentyp die notwendigen Einrichtungen für die optimale Signalisation sowie die Markierung vorgegeben. Die Signale, Abschränkungen und Markierungen müssen eine Verkehrsführung mit möglichst flüssiger und sicherer Fahrweise gewährleisten, Stausituationen sind zu vermeiden.

3.2 Kapazitäten

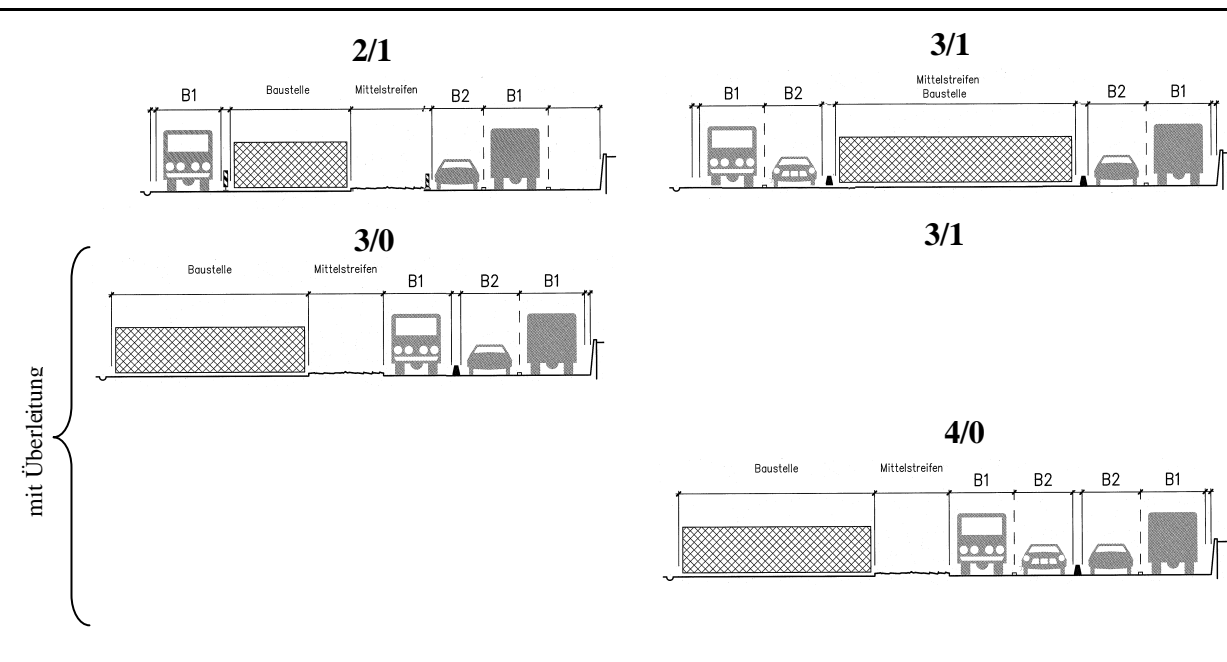
Bei Baustellen auf dem Nationalstrassennetz liegt aufgrund der Engpasswirkung, der Verkehrsführung, der Fahrstreifenbreite und natürlich bei einem Fahrstreifenabbau die Leistungsgrenze tiefer als auf offener Strecke. Aus zahlreichen Untersuchungen liegen sehr unterschiedliche Angaben zur Leistungsgrenze von Baustellen mit einstreifiger Verkehrsführung (Reduktion von zwei auf einen Fahrstreifen) vor. Bei guten Sicht- und Witterungsverhältnissen sowie trockener Fahrbahn und durchschnittlichem Anteil Schwerverkehr scheint ein Grenzwert von 1'500 Fz/h•Richtung, der auch normiert wurde [7], realistisch zu sein. Da dieser Richtwert der Verkehrsqualitätsstufe E entspricht, besteht beim Erreichen dieses Belastungswertes die Gefahr der Staubildung.

3.2 Verkehrsführung

3.2.1 Querschnitt

Bei Baustellen auf Autobahnen müssen für vierstreifige Hochleistungsstrasse folgende ganz unterschiedliche Verkehrsführungen berücksichtigt werden:

Figure 1 Verkehrsführung mit Fahrstreifenabbau Verkehrsführung ohne Fahrstreifenabbau



Das grösste Rationalisierungspotential für eine Unternehmung bei Sanierungs- und Instandhaltungsmassnahmen zeigt sich dann, wenn die Bedingungen auf den Baustellen den Verhältnissen jenen einem Neubau möglichst ähnlich sind. Dies ist insbesondere bei den Verkehrsführungen 3/0 und 4/0 der Fall.

Die Vielfalt der Querschnittstypen sowie die gegenüber ausländischen Beispielen in der Schweiz eher knapp bemessenen Querschnitte machen die Lösung der Aufgabe Verkehrsführung 4 / 0 nicht leicht. Vorarbeiten im Bereich der Überfahrten sowie Fahrbahnverbreiterungen zum Mittelstreifen oder zur Seite sind oftmals unumgänglich. Unlösbare Probleme treten aber oftmals in Bereichen von Kunstbauten (Brücke, Tunnel) mit fehlenden oder reduzierten Standstreifen auf. Bei diesen Baustellen wird die Verkehrsführung oftmals entsprechend den momentanen Verkehrsbelastungen und dem Baufortschritt der entsprechenden Situation angepasst.

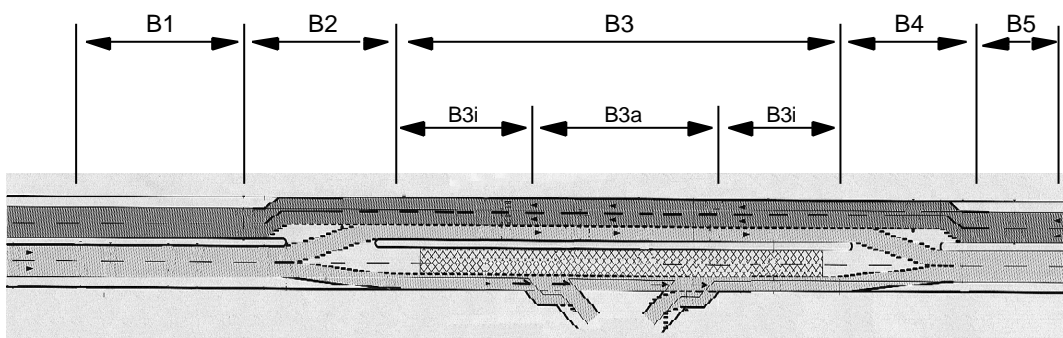
- Beispiel Tunnel Baregg AG: 2/2 am Tag, 2/0 mit Gegenverkehr in der Nacht

3.2.2 Längsrichtung

In Längsrichtung wird die Baustelle unabhängig der Verkehrsführung in folgende Abschnitte unterteilt:

- Abschnitt B1: Beschilderter Bereich vor der Baustelle mit Geschwindigkeitstrichter. Der Verkehrsteilnehmer wird auf die Baustelle hingewiesen und ändert sein Fahr- und Geschwindigkeitsverhalten (Länge 1000 m).
- Abschnitt B2: Überleitungs- und / oder Verschwenkungsbereich am Beginn der Baustelle. Die Länge ist abhängig von der Verkehrsführung.
- Abschnitt B3: Baustelleninnenbereich mit ausschliesslich eingeebten Fahrstreifen. Die Länge ist abhängig von der Baustelle.
 - Abschnitt B3i: Baustelleninnenbereich ohne Abschnitte Verzweigung oder Autobahnein- resp. Ausfahrt
 - Abschnitt B3a: Baustelleninnenbereich im Abschnitt einer Autobahnein- resp. Ausfahrt
 - Abschnitt B3b: Baustelleninnenbereich im Abschnitt einer Verzweigung
- Abschnitt B4: Überleitungs- und / oder Verschwenkungsbereich am Ende der Baustelle. Die Länge ist abhängig von der Verkehrsführung.
- Abschnitt B5: Entflechtungsbereich hinter der Baustelle. Die Verbote und Einschränkungen werden aufgehoben.

Figure 2 Definition der Abschnitte im Baustellenbereich



3.3 Signalisation / Leiteinrichtungen

Mangelnde Sicherheit (z.B. schlechte Signalisation, fehlende Notausstellbuchten usw.) oder unzureichender Komfort (zu starke psychische Belastung der Verkehrsteilnehmer) kombiniert mit einem grossen Verkehrsaufkommen sind häufige Unfallursachen im Baustellenbereich.

Die optische Führung der Fahrzeuglenker wird stark beeinflusst durch die Ausgestaltung der Strassenränder, die Längsmarkierung und die Leiteinrichtung. Leider lässt sich der Fahrzeuglenker oftmals durch Informationen aus dem Erscheinungsbild zu einer offensiven Fahrweise verleiten, obwohl der weitere Strassenverlauf, der vor ihm liegt und die Verkehrssituation noch nicht einsehbar sind. Dieses oft bewusst eingegangene Risiko kann zu kritischen Fahrmanövern oder gar zu Verkehrsunfällen führen. Ein wesentliches Element der Baustellensicherheit ist die Art und Weise der Trennung der Baustelle vom rollenden Verkehr, der insbesondere bei kurzzeitigen Baustellen nicht immer die notwendige Aufmerksamkeit geschenkt wird. Eine Untersuchung in der Bundesrepublik Deutschland zeigt auf, dass bei kurzzeitigen / beweglichen Arbeitstellen die Unfallrate rund doppelt so hoch, die Verunfalltenrate sogar um den Faktor drei höher ist wie bei längerfristigen und dementsprechend besser gesicherten Baustellen. Somit ist der Signalisation, der Führung des Verkehrs und der seitlichen Abgrenzung der Fahrstreifen zu der Baustelle besondere Beachtung zu schenken.

4 Verkehrsverhalten

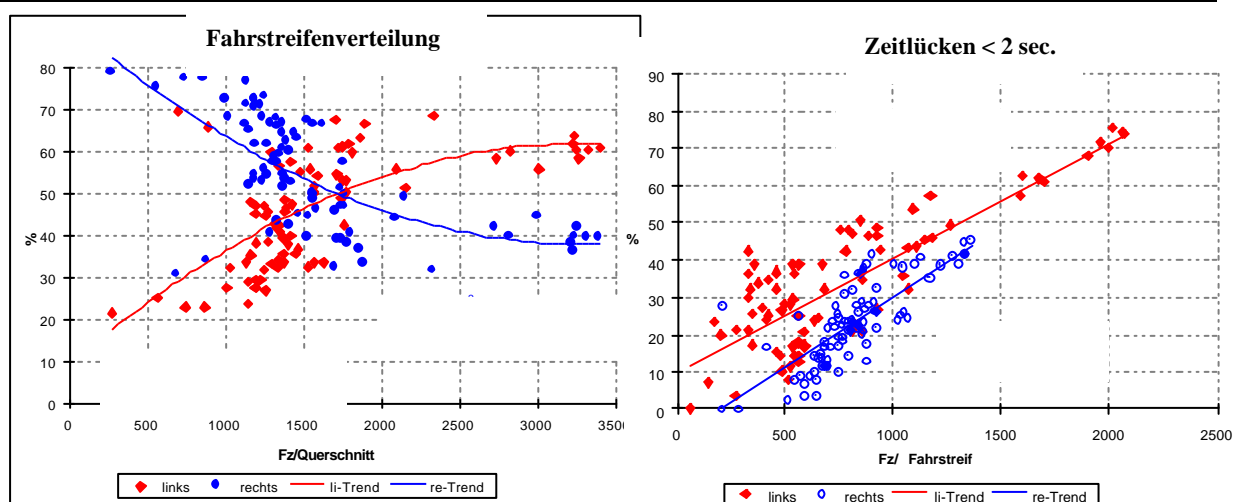
4.1 Allgemeines

Das Fahrverhalten der Fahrzeuglenker wirkt sich auf das Unfallgeschehen auf Autobahnen und somit auch auf das Unfallgeschehen bei Autobahnbaustellen aus. Das IVT ETHZ untersuchte zusammen mit der Kantonspolizei Zürich im Forschungsbericht ‚Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen‘ [2] das Verkehrsverhalten der Fahrzeuglenker eingehend.

4.2 Offene Strecke

In der Abbildung drei links ist die Verteilung der Verkehrsmenge auf die beiden Fahrstreifen in Abhängigkeit zur Verkehrsmenge im Querschnitt dargestellt. Die Verkehrsmenge auf den beiden Fahrstreifen ist bei mittleren Verkehrsbelastungen sehr ausgeglichen, mit einem leicht höheren Anteil auf dem rechten Fahrstreifen. Mit Zunahme der Belastung nimmt der Anteil Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen zu und erreicht bei hohen Belastungen einen Anteil von rund 60%. Diese Verhältnisse der Fahrstreifenbelastungen im Verkehrsablauf bei hohen Verkehrsbelastungen sind hinsichtlich der Verkehrssicherheit ungünstig, da der linke Fahrstreifen als Überholstreifen blockiert wird. Dies führt zu nahem Aufschliessen und häufig zu sehr kleinen, gefährlichen Abständen (kleine Zeitlücken).

Figure 3 Fahrzeugverteilung und kritische Zeitlücken je Fahrstreifen



Source: Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen (2000)

Wie in der Abbildung drei rechts ersichtlich, steigen mit zunehmender Verkehrsmenge die Anteile kleiner Zeitlücken stark an. Diese kurzen Zeitlücken stellen grundsätzlich ein Sicherheitsproblem dar und sind ein enormes Risikopotential bei den Zufahrten zu Autobahnbaustellen. Die Konstellation von hohen Geschwindigkeiten, grossen Verkehrsmengen und kurzen Zeitlücken wird für die Fahrzeuglenker bei plötzlich auftretenden Inhomogenitäten im Verkehrsablauf (beispielsweise Baustellen) zu einem grossen Risiko und einer steigenden Gefahr von Auffahrunfällen.

Zusammenfassung:

- bei zweistreifigen HLS ist bei mittleren Verkehrsbelastungen die Verkehrsmenge auf den beiden Fahrstreifen sehr ausgeglichen
- bei hohen Verkehrsbelastungen nimmt der Anteil der Fahrzeuge auf dem linken Fahrstreifen bis auf 60% zu, der linke Fahrstreifen als Überholstreifen funktioniert nicht mehr
- mit zunehmender Verkehrsbelastung steigen die Anteile kleiner Zeitlücken ($T < 2$ sec.) stark an und erreichen einen Anteil von rund 80%, d.h. vier von fünf Zeitlücken sind kleiner als 2 sec.
- die signalisierte Höchstgeschwindigkeit im Baustellenbereich wird stark überschritten, insbesondere bei einer signalisierten Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h missachten rund 50% der Verkehrsteilnehmer diese Limite

5 Autobahnunfälle

5.1 Allgemeines

In den letzten 20 Jahren nahm auf dem Nationalstrassennetz die Unfall- wie auch die Verunfalltenrate kontinuierlich ab und lag 1996 bei $U_R = 0.53$ und $V_R = 17.1$. Als massgebende Unfalltypen auf dem Hochleistungsstrassennetz sind mit rund 57% die Schleuder- / Selbstunfälle und mit 24% die Auffahrunfälle zu bezeichnen. Eine Studie der verkehrstechnischen Abteilung der Kantonspolizei Zürich zeigte, dass die auf die Fahrleistung bezogenen Unfälle (= Unfallrate) vor allem auf stark belasteten Autobahnabschnitten und bei relativ kurzer Anschlussfolge hoch ist.

5.2 Stark belastete Autobahnen

Bei stark belasteten Autobahnen liegen ein Hauptteil der Unfallschwerpunkte im Bereich von Anschlüssen und Verzweigungen. Der Anteil Auffahrunfälle nimmt gegenüber dem durchschnittlichen Anteil von 24% auf über 60% zu, während die Schleuder- / Selbstunfälle von rund 57% auf 35% zurückgehen. Der Anteil der Unfälle beim Fahrstreifenwechsel ist äusserst gering.

Das höhere Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen ist somit durch die Häufung der Auffahrunfälle geprägt. Diese hohe Anzahl Auffahrunfälle stehen im Zusammenhang mit den grossen Verkehrsmengen (zeitweise im Bereich der Leistungsfähigkeit) und den damit verbundenen Fahrverhaltensweisen (kurze Zeitlücken) der Verkehrsteilnehmer.

5.3 Einflüsse der Verkehrsführung

Die Verkehrsführung im Baustellenbereich wirkt sich einerseits auf die Baustellenorganisation, den Bauablauf und die Bauzeit und andererseits auf den Verkehrsfluss und die Homogenität des Verkehrsablaufs aus. Sie wird häufig bereits aufgrund der örtlichen Gegebenheiten weitgehend vorgegeben, so dass oftmals keine freie Wahl der Verkehrsführung im Baustellenbereich möglich ist. Insbesondere bei Anschlussbauwerken oder Verzweigungen, die auch

während der Bauzeit in Betrieb bleiben müssen, ist die Verkehrsführung 4 / 0 nicht oder nur schlecht realisierbar.

5.3.1 Belagserneuerung A2

Bei der Belagssanierung auf der A2 zwischen der Kantonsgrenze AG / LU und Sursee wurde während der rund 14 monatigen Bauzeit die Baustelle mit vier verschiedenen Verkehrsführungen betrieben. Zudem kann aufgrund der Unfallstatistik die Unfallhäufigkeit in den Jahren vor der Belagserneuerung ermittelt werden. Die Unfall- und Verunfalltenraten wurden mit einer Baustellenlänge von 7.5 km und einem DTV von 30'000 Fahrzeugen berechnet.

Table 2 A2: Unfallrate vor / während der Bauzeit

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

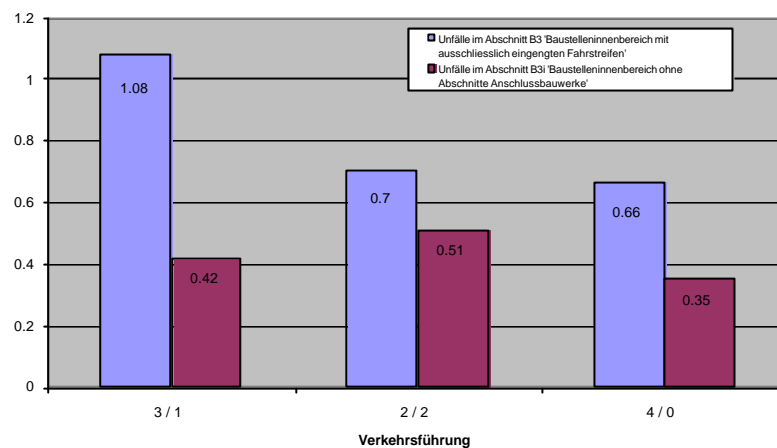
(1) = ohne Baustelle
(2) = mit Baustelle (Hochrechnung auf ein Jahr)
(*) = Unfall- und Verunfalltenzahl während der Bauzeit

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

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

In der folgenden Abbildung sind die Unfallraten der Verkehrsführungen 3 / 1, 2 / 2 und 4 / 0 dargestellt. Ein grosser Anteil der Unfälle ereignete sich im Abschnitt des Anschlussbauwerkes. Die Unfallauswertung erfolgt somit separat für den Abschnitt B3 'Baustelleninnenbereich' und den Abschnitt B3i 'Baustelleninnenbereich ohne Abschnitte Verzweigung oder Autobahnein- resp. Ausfahrt'.

Figure 4 Unfallrate in Abhängigkeit der Verkehrsführung Abschnitt B3 und B3i



Aufgrund der graphischen Darstellung ist deutlich ersichtlich, dass bei der Verkehrsführung 3 / 1 im Bereich des Autobahnanschlusses ein Unfallschwerpunkt lag. Die Unfallrate im Abschnitt B3i 'Baustelleninnenbereich ohne Abschnitte Verzweigung oder Autobahnein- resp. Ausfahrt' unterscheiden sich bei den drei verschiedenen Verkehrsführungen nur gering und liegen unter der durchschnittlichen Unfallrate der Hochleistungsstrassen.

Die grosse Differenz der Unfallrate der Verkehrsführung 3 / 1 zu den beiden anderen Verkehrsführungen liegt somit im Bereich des Anschlusses, bei dem sich bei der Verkehrsführung 3 / 1 über 50% der Unfälle ereigneten. Ob die Ursache bei der einstreifigen Verkehrsführung liegt, die auf dem Hauptstrom keine Ausweichmöglichkeit bei einfahrenden Fahrzeugen lässt, ist in einem weiteren Schritt genauer abzuklären.

5.3.2 Belagsanierung A1

Die Baustelle zur Belagsanierung auf der A1 zwischen Rothrist und Lenzburg wurde in zwei Etappen geteilt. Die Etappe R zwischen Oftringen und Rothrist mit der Autobahnverzweigung Wiggertal und einer Länge von 4.2 km sowie die Etappe I zwischen Lenzburg und Suhr mit einer Länge von 9.4 km. Während bei der Etappe I die Verkehrsführung 4 / 0 resp. 2 / 2 zur

Anwendung gelangte, musste infolge der Autobahnverzweigung für die Etappe R die Verkehrsführung 3 / 1 gewählt werden.

In der folgenden Tabelle sind die massgebenden Unfalltypen aufgeführt. Bei der Etappe R wurde zudem noch zwischen der unbeeinflussten Strecke im Baustellenbereich und der Strecke im Bereich der Anschlussbauwerke (B3a) unterschieden. Von den 70 registrierten Unfällen ereigneten sich 31 im Einfahrts- oder Verzweigungsbereich mit einfahrenden Fahrzeugen. Die Unfallrate im unbeeinflussten Baustellenbereich (B3i) ohne die Einfahrtsunfälle kann mit $U_R = 0.57$ auf rund die Hälfte reduziert werden.

Table 3 A1: massgebende Unfalltypen der Bauetappen I und R

Unfalltypen 1998	Etappe I		Etappe R total		Unbeeinflusst		B3a Anschlussbauwerke	
Streifkollision	11	31%	17	24%	8	21%	9	29%
Auffahrkollision	9	25%	38	54%	18	46%	20	65%
Fahrerunfall	12	33%	10	14%	8	21%	2	6%
andere	4	11%	5	7%	5	13%	0	0%
Total	36		70		39		31	

Aus diesen Unfallzahlen ist ersichtlich, dass im Bereich der Etappe R mit einem deutlich höheren Verkehrsaufkommen und entsprechend öfteren Verkehrsstockungen die Auffahrkollisionen der massgebende Unfalltyp ist. Insbesondere im Bereich der Anschlussbauwerke mit den oftmals verkürzten Beschleunigungsstreifen führen diese hohen Verkehrsbelastungen zu einer Überforderung der Verkehrsteilnehmer und zu entsprechenden Fehlreaktionen.

Zusammenfassung

- Die Unfallraten im Bereich von Baustellen ist um rund 50% höher als vor Inbetriebnahme der Baustelle.
- Die Verkehrsführung 3 / 1 weist gegenüber der Verkehrsführungen 2 / 2 und 4 / 0 oftmals infolge eines Anschlussbauwerkes im Durchschnitt eine höhere Unfallrate aus.
- Anschlussbauwerke im Baustelleninnenbereich sind unabhängig der Verkehrsführung oftmals Unfallschwerpunkte.
- Die Unfallrate reduziert sich ohne die Unfälle im Abschnitt der Anschlussbauwerke bei allen Verkehrsführungen um 30% bis 60%.
- Die Auffahrerunfälle nehmen im Baustellenbereich stark zu, insbesondere bei der Verkehrsführung 3 / 1 können sie mehr als 50% aller Unfälle ausmachen.

5.4 Baustellenabschnitte

Das Unfallgeschehen bei Autobahnbaustellen ist unter anderem abhängig von der Verkehrsführung im Baustellenbereich. Je nach Verkehrsführung variieren zudem die Örtlichkeiten der unfallträchtigsten Abschnitte. Zur Verifizierung dieser Unfälle wird die Autobahnbaustelle in die in 3.1 definierten Abschnitte unterteilt.

5.4.1 Belagssanierung A1 Limmattal

Bei der Belagssanierung der sechsstreifigen A1 im Limmattal wurde während der ganzen Bauzeit die Verkehrsführung 4 / 2 gewählt, wobei die zwei durchgehenden Fahrstreifen im Baustellenbereich zusätzlich verschwenkt wurden.

In der folgenden Tabelle sind die Unfallzahlen der einzelnen Bauabschnitte aufgeführt und in der Abbildung dargestellt.

Table 4 A1: Unfallrate in den einzelnen Baustellenabschnitten

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

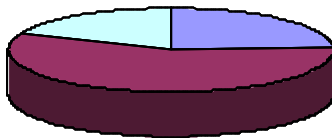
Aufgrund der Unfallrate der einzelnen Abschnitte ist deutlich ersichtlich, dass die Abschnitte B2 'Überleitung / Verschwenkung' sowie B3a, B3b 'Baustelleninnenbereich mit Anschlussbauwerken' im Verkehrsablauf als kritisch zu beurteilen sind.

In den folgenden Abbildungen sind die massgebenden Unfalltypen der offenen Strecke des Nationalstrassennetzes, des Abschnittes B3i 'Baustelleninnenbereich ohne Abschnitte Anschlussbauwerke' sowie die beiden Baustellenabschnitte B2 und B3a mit den höchsten Unfallraten dargestellt.

Figure 5 massgebende Unfalltypen einzelner Baustellenabschnitte

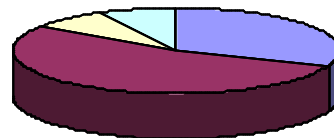
Hochleistungsstrassennetz Massgebende Unfalltypen*

* FS-Wechsel-Unfälle im Typ ,andere' enthalten.



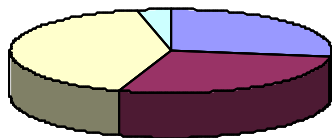
$U_R = 0.53$

B3 Baustelleninnenbereich ohne Anschlussbauwerke



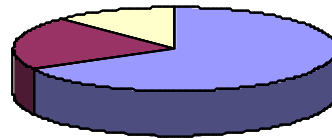
$U_R = 0.30$

B2 Überleitung / Verzweigung







$U_R = 1.66$

B3a Einfahrt im Baustellenbereich



$U_R = 1.40$

Die massgebenden Unfalltypen Fahrnfall und Auffahrunfall wie auch die prozentuale Verteilung entspricht im Baustelleninnenbereich ohne die Unfälle in den Abschnitten der Anschlüsse etwa den massgebenden Unfalltypen auf dem Hochleistungsstrassennetz

 Auffahrunfälle	 FS-Wechsel
 Schleuder-/Selbstunfall	 andere

Neben einer viel höheren Unfallrate ändern gegenüber der \emptyset Unfallrate auch die massgebenden Unfalltypen. So erreigneten sich im Abschnitt B2 über 40% der Unfälle beim FS-Wechsel und im Abschnitt B3a waren zwei von drei Unfällen Auffahrunfälle.

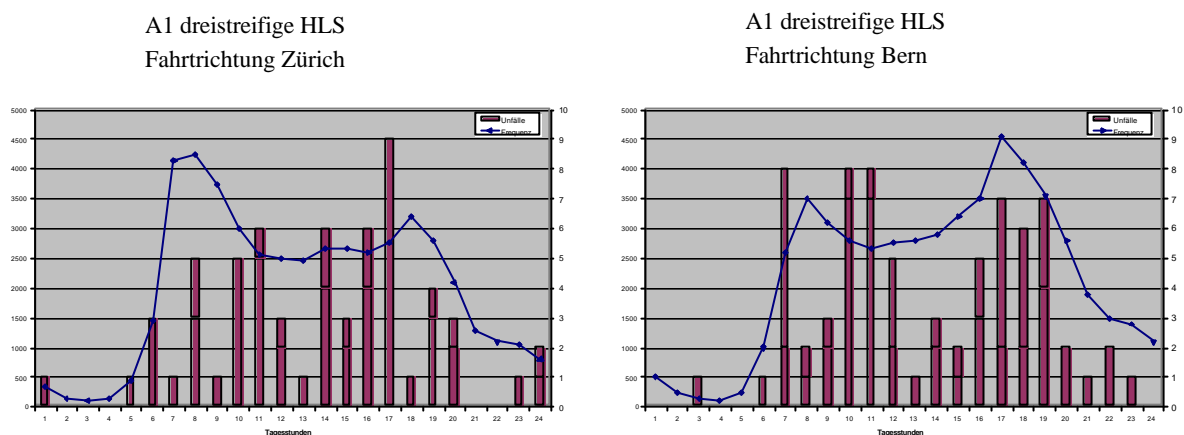
Zusammenfassung:

- Die Abschnitte B2 Überleitung / Verschwenkung sowie B3a Anschlussbauwerke im Baustelleninnenbereich sind die unfallträchtigsten Abschnitte einer Baustelle.
- Die Unfallrate der restlichen Abschnitte ist tief und liegt in der Grössenordnung des durchschnittlichen Wertes auf HLS ($U_R = 0.53$).
- Die massgebenden Unfalltypen im Baustelleninnenbereich ohne Abschnitte Anschlussbauwerke entsprechen den massgebenden Unfalltypen auf dem HLS-Netz.
- Bei den unfallträchtigen Baustellenabschnitten B2 und B3a ändern die massgebenden Unfalltypen, die FS-Wechsel und Auffahrunfälle nehmen stark zu während die Schleuder- / Selbstunfälle prozentual stark nachlassen.
- Im Abschnitt B2 Überleitung / Verschwenkung sind die massgebenden Unfalltypen Unfall beim Fahrstreifenwechsel, Auffahrunfall und Fahrnfall zu gleichen Teilen vertreten.
- Im Abschnitt B3a sind zwei von drei Unfällen ein Auffahrunfall.

5.5 Verkehrsbelastungen

Bei der Autobahnbaustelle A1 Limmattal wurden im Baustellenbereich die Verkehrsfrequenzen auf den einzelnen Fahrstreifen gemessen. Auf dem sechsstreifigen Autobahnabschnitt konnte 1999 ein DWV von über 100'000 Fahrzeugen gemessen werden, mit einem Richtungsanteil von 52% in Fahrtrichtung Bern. In den folgenden Abbildungen sind die Tagesganglinien sowie die Unfallhäufigkeiten in Bezug zur Tageszeit dargestellt.

Figure 6 A1 Tagesganglinie - Unfallhäufigkeit



Die Unfallhäufigkeit verläuft nicht parallel zu den Frequenzen sondern sie verhält sich insbesondere in Fahrtrichtung Zürich diametral zu den Hauptverkehrsbelastungen. In Fahrtrichtung Bern konnten während den Morgenstunden vor wie auch nach der Hauptverkehrszeit (7.00 – 9.00 Uhr) wie auch während der Hauptverkehrszeit am Abend eine Unfallhäufung registriert werden.

In der folgenden Tabelle wurde die Unfallhäufigkeit der beiden unfallträchtigsten Abschnitte B2 und B3a den entsprechenden Frequenzen gegenübergestellt. Bei Frequenzen von 2500 – 3000 Fz/h, die nur während rund 8h (30% der Tagesganglinie) vorherrschen, ereignen sich im Abschnitt B2 rund 50%, im Abschnitt B3a über 60% der Unfälle. In beiden Abschnitten wurden drei Viertel aller Unfälle bei einer Frequenz zwischen 2'500 und 3'500 Fz/h registriert, die während knapp 10h (40% der Tagesganglinie) gemessen wurden. Mit weiter zunehmenden Frequenzen nimmt der prozentuale Anteil der Unfälle wieder ab, liegt aber immer noch höher als der prozentuale Anteil der Frequenz zur Tagesganglinie. Bei tieferen Frequenzen, die während rund 12 Stunden (vorwiegend in der Nacht) gemessen wurden, ereigneten sich in diesen Autobahnabschnitten nur ein resp. zwei Unfälle.

Table 5 Unfallträchtigste Autobahnabschnitte: Vergleich Belastungen - Unfallhäufigkeit

Fz / h	%-Anteile am DWV	B2 Verschwenkung Unfälle		B3a Anschlussbauwerke Unfälle	
0 – 500	21%	0	0	0	0
500 – 1000	4%	0	0	0	0
1000 – 1500	15%	0	0	0	0
1500 – 2000	2%	1	4%	0	0
2000 – 2500	6%	1	4%	1	4%
2500 – 3000	30%	13	48%	16	64%
3000 – 3500	10%	6	24%	3	12%
3500 – 4000	4%	1	4%	2	8%
4000 - 4500	8%	4	16%	3	12%
	100%	26	100%	25	100%

Zusammenfassung:

- Die Unfallhäufigkeit verläuft nicht parallel zur Verkehrsfrequenz
- auf der sechsstreifigen HLS ereigneten sich in den beiden unfallträchtigsten Abschnitten dreiviertel der Unfälle bei Frequenzen zwischen 2'500 und 3'500 Fz/h pro Richtung, die während ca. 10 h pro Tag gemessen wurden.
- In den 12 h mit tieferen Frequenzen ereigneten sich sehr wenige Unfälle

6 Beurteilung und weiteres Vorgehen

6.1 Beurteilung

Aufgrund dieser Auswertungen müssen die beiden Baustellenabschnitte B2 'Verschwenkung / Überleitung' sowie B3a 'Anschlussbauwerk im Baustelleninnenbereich' als kritisch beurteilt werden. Bei einer Konstellation von hohen Geschwindigkeiten, grossen Verkehrsmengen und kurzen Zeitlücken ist in diesen beiden Abschnitten die Unfallanfälligkeit besonders hoch. Der Fahrzeuglenker lässt sich oftmals durch Informationen aus dem Erscheinungsbild zu einer offensiven Fahrweise verleiten, obwohl der weitere Strassenverlauf, der vor ihm liegt und die Verkehrssituation noch nicht einsehbar sind.

6.2 weiteres Vorgehen

Wie bereits erwähnt liegt das Hauptziel der Forschungsarbeit FA 19/99 'Verkehrstechnische Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf Autobahnenbaustellen' im Erkennen der wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Elementen der baulichen und betrieblichen Ausgestaltung des Übergangsbereiches und den Merkmalen des Verkehrsablaufes bei verschiedenen Baustellentypen auf HLS.

Zur Verifizierung dieser Erkenntnisse und zur Beurteilung der Vergleichbarkeit mit schweizerischen Verhältnissen wird das Geschwindigkeitsverhalten sowie der Verkehrsablauf im Vorbereich von Baustellen auf dem schweizerischen HLS-Netz genauer untersucht. Zu diesem Zweck werden Unterlagen für Baustellen im Jahre 2001 aus fünf Kantonen eingeholt.

Bei der Analyse der Messdaten steht beim Verkehrsgeschehen die Homogenität im Geschwindigkeitsverhalten im Vordergrund. Bei den untersuchten Betriebsformen und deren Modifikationen werden vor allem die Geschwindigkeitsverteilungen an den Querschnitten des Zufahrtbereiches sowie die Inhomogenitäten im Geschwindigkeitsverlauf längs des Zufahrtbereiches analysiert, ihre Auswirkungen auf allfällige Staubbildungen unter Berücksichtigung der Zu- und Abflussmengen beurteilt und mögliche Ursachen der Elemente der Baustelleneinrichtung abgeleitet.

7 References

- Bundesamt für Strassen (1998) Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke, Bern [1]
- Lindenmann HP., Weber R. (2000) Unfallgeschehen auf stark belasteten Autobahnen, ETH Zürich / VTA Kantonspolizei Zürich, Zürich [2]
- Raemy M. (1998) Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Baustellen von Hochleistungsstrassen, VTA No. 28, Verkehrstechnische Abteilung Kantonspolizei Zürich, Zürich [3]
- Ruthishauser (1994) Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen, Forschungsbericht des EVED Bern [4]
- Robert-Grandpierre A., Bühlmann F. (1999) Verkehrsleitsysteme auf Hochleistungsstrassen, Forschungsbericht des UVEK, Bern [5]
- Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (1997) SN 640 822 Leiteinrichtungen [6]
- Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (2000) SN 640 885c Signalisation von Baustellen auf Autobahnen und Autostrassen [7]
- Weber R., Weissert M. (1998) Autobahnen, Ausnahmebetrieb; optische Gestaltung der Überfahrten; VTA No. 29, Verkehrstechnische Abteilung Kantonspolizei Zürich, Zürich [8]