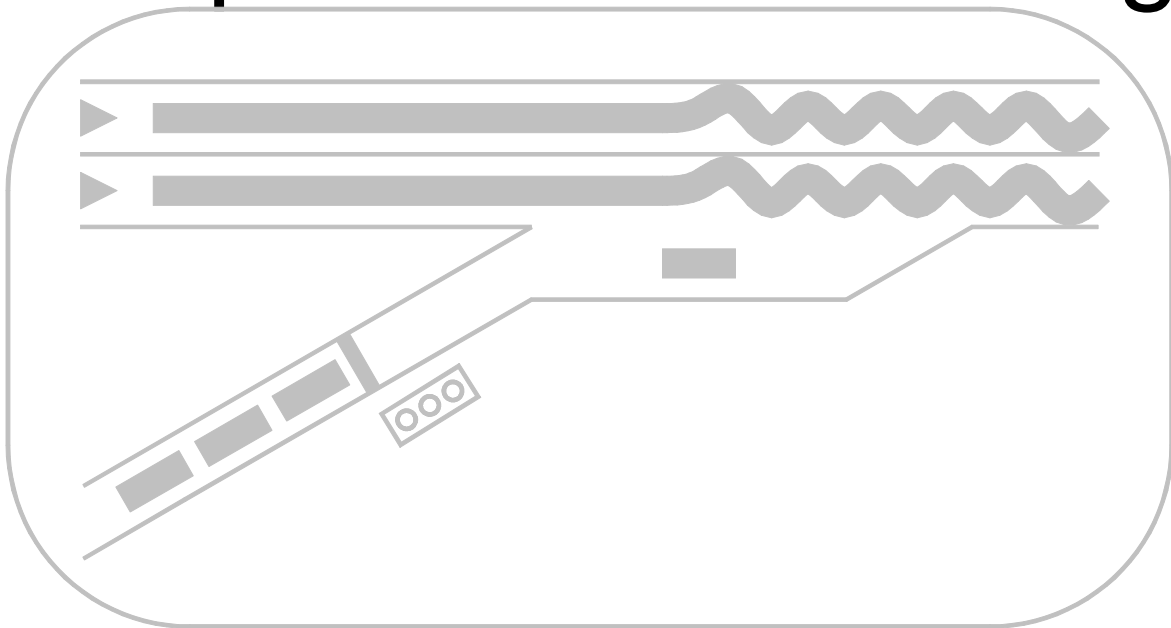


# Rampenbewirtschaftung



## Inhalt

1. Zusammenfassung.....	2
2. Einleitung .....	3
2.1 Ausgangslage.....	3
2.2 Problembeschreibung.....	4
2.3 Aufgabe .....	5
2.4 Vorgehen.....	5
3. Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz.....	6
3.1 Bewirtschaftung der A1 Zufahrt vor dem Westportal des Baregg隧NELS.....	6
3.2 Bewirtschaftung der A1L Zufahrt Schwamendingen in Zürich .....	11
3.3 Fazit.....	15
4. Ausländische Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen.....	16
4.1 USA.....	16
4.2 Deutschland.....	19
4.2 Andere Länder.....	21
5. Empfehlungen zur Rampenbewirtschaftung .....	21
5.1 Definitionen.....	21
5.2 Grundsätze .....	21
5.3 Anlass.....	22
5.4 Ziele.....	22
5.5 Methodik.....	23
5.6 Konzept .....	27
5.7 Projekt .....	29
5.8 Evaluation.....	31

## 1. Zusammenfassung

Hochleistungsstrassen (HLS) weisen Engpässe mit regelmässigen Überlastungen und zufälligen Störungen auf. Die Folgen sind Unfälle, Zeitverluste, Luftschadstoff-Belastungen und damit volkswirtschaftliche Verluste nicht nur auf den HLS selbst, sondern auch in den Zufahrten und auf dem anschliessenden untergeordneten Strassennetz. Es besteht ein Handlungsbedarf.

Die Rampenbewirtschaftung ist eine Massnahme zur Verbesserung des Verkehrsflusses und der Verkehrssicherheit. Dabei wird der Verkehr in Einfahrten vor Engpässen der HLS temporär bewirtschaftet. Die Rampenbewirtschaftung ist im Ausland erprobt, erste Anwendungen bewähren sich in der Schweiz. Die Einstellung in der Öffentlichkeit zur Rampenbewirtschaftung ist allerdings kontrovers. Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Rampenbewirtschaftung sind deshalb nötig.

Der Forschungsbericht dokumentiert Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz und im Ausland und leitet daraus die Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Rampenbewirtschaftung ab:

- Definitionen
- Grundsätze
- Anlass
- Methodik
- Ziele
- Konzept
- Projekt
- Evaluation

Diese Empfehlungen dienen als Grundlage für eine VSS Norm zur Rampenbewirtschaftung.

### Résumé

Les routes à grand débit (RGD) comportent des rétrécissements de chaussée impliquant des surcharges régulières de trafic ainsi que des perturbations aléatoires. Les conséquences se manifestent sous forme d'accidents, de pertes de temps, de charges accrues en matière d'émissions polluant l'air, donc de pertes politicoéconomiques, non pas seulement sur les RGD elles-mêmes, mais aussi sur leurs voies d'accès et sur le réseau routier qui y est subordonné. Dans ces conditions, il est nécessaire de réagir.

L'exploitation des rampes constitue une mesure tendant à l'amélioration du flux de trafic ainsi qu'à celle de sa sécurité. Des mesures d'exploitation temporaires sont alors prises aux accès des RGD situés avant leurs rétrécissements de chaussée. L'exploitation des rampes a été mise à l'épreuve à l'étranger et les premières applications effectuées en Suisse se révèlent concluantes. L'opinion publique relative à l'exploitation des rampes est toutefois controversée. C'est pourquoi des recommandations pour l'engagement pratique de l'exploitation des rampes s'avèrent nécessaires.

Le présent rapport de recherche documente des expériences effectuées en Suisse et à l'étranger en matière d'exploitation des rampes et en déduit les recommandations pour l'engagement pratique de l'exploitation des rampes:

- définitions
- principes
- motifs
- méthode
- objectifs
- projet
- évaluation

Ces recommandations constituent le fondement d'une norme VSS sur l'exploitation des rampes.

## 2. Einleitung

### 2.1 Ausgangslage

Hochleistungsstrassen HLS (Autobahnen und Autostrassen), die als Verbindungen zwischen den Regionen erstellt wurden, dienten in den 60- er und 70- er Jahren primär dazu, das damals stark belastete Netz der Hauptverkehrsstrassen HVS und der Stadtstrassen vom Verkehr zu entlasten. Die Kanalisierung des sogenannten gebietsfremden Verkehrs auf das HLS- Netz war in den städtischen Agglomerationen eine der wichtigsten Zielsetzungen. Dementsprechend ist es die primäre verkehrsplanerische Aufgabe der HLS, den Verkehr zu durchleiten (VSS Norm SN 640 040b).

Im Bereich der Agglomerationen, die sich in den 80- er und 90- er Jahren stark entwickelten, kommt heute den HLS zunehmend die Aufgabe zu, den auf Stosszeiten konzentrierten Pendlerverkehr zu bewältigen. Sie müssen somit auch Verbindungs- und sogar Sammelfunktionen übernehmen. Dementsprechend ist die Anschlussdichte in den Agglomerationen grösser als im Überlandbereich. Seit den 90- er Jahren kommt erschwerend hinzu, dass Überlastungen und Störungen des Verkehrsablaufes infolge Unfällen, Pannen und Bauarbeiten zur Substanzerhaltung der Strassen immer häufiger auftreten. Weil das Netz der HVS mit der Eröffnung der HLS zum Teil redimensioniert wurde und nicht wesentlich erweitert werden kann, sind die geschilderten Aufgaben auf dem vorhandenen, beschränkten Verkehrsraum zu bewältigen. Dies führt zur gezielten Verkehrsbeeinflussung.

Die eingesetzten Ressourcen bei der Verkehrsbeeinflussung sind Daten- Erfassung, - Übertragung, -Verarbeitung und Informationsanzeige. Die aktuelle Verkehrs- und Witterungssituation wird frühzeitig erfasst und analysiert; Überlastungen, Stau, Störungen und Unfälle werden erkannt. Die entsprechenden Reaktionen auf den Fahrstreifen und in den Anschlüssen - teilweise unter Einbezug von Standstreifen - erfolgen mit Fahrstreifenlichtsignalen, Lichtsignalen an den Rampen, wechselnden Vorschrifts- und Gefahrensignalen, Wechseltextanzeigen und Wechselwegweisungen. Die Massnahmen umfassen bei Überlastungen und bei zufälligen Störungen und Unfällen das temporäre Öffnen von Engpässen, das Drosseln des Zuflusses zu Engpässen die sich nicht öffnen lassen, bzw. die Ableitung des Verkehrs in den Ausfahrten. Eine wesentliche Aufgabe ist auch das Absichern der Störstellen und das Harmonisieren des Verkehrsflusses (Störungsmanagement).

Im Rahmen der Verkehrsbeeinflussung steht in diesem Forschungsvorhaben die Dosierung des Verkehrs in den Einfahrten (Rampenbewirtschaftung bzw. ramp metering) im Vordergrund. Die Ableitungen des Verkehrs in Ausfahrten wird sehr kontrovers beurteilt, beeinträchtigt sie doch die Verkehrsqualität und Sicherheit im nachgeordneten Netz, und vor allem die Umweltqualität der Siedlungsgebiete. Sie wird in der Regel nur bei grossen Störfällen vor Tunneln eingesetzt.

Die Rampenbewirtschaftung will die Verkehrsprobleme in Engpässen der HLS lindern und deren negative Folgen für Verkehrssicherheit, Umweltlasten und Volkswirtschaft reduzieren. Generell gesagt geht es um einen besseren und verlässlicheren Zugang zu Personen und Dienstleistungen. Ausweichverkehr soll zurück verlagert und damit die Verkehrskanalisierung auf den Hochleistungsstrassen wieder hergestellt werden.

- Diese Ziele sollen bei einer isolierten Rampenbewirtschaftung mit einer Dosierung des Verkehrs in der Einfahrt unmittelbar stromaufwärts vom Engpass der HLS erreicht werden. Auf der Einfahrt und auf dem anschliessenden untergeordneten Strassennetz kann zwar Stau entstehen, aber der grössere Verkehr auf der HLS soll flüssig und sicher bleiben.
- Eine integrierte Rampenbewirtschaftung drosselt mehrere, stromaufwärts vor einem Engpass der HLS liegende Einfahrten, um auch bei eingeschränkten Verhältnissen im nachgeordneten Strassennetz eine positive intermodale Gesamtbilanz des Verkehrsablaufs zu erzielen.

## 2.2 Problembeschreibung

Zahlreiche Abschnitte von Hochleistungsstrassen sind anfällig auf regelmässige Überlastungen und zufällige Störungen. Die Folgen sind Unfälle, Zeitverluste, Luftschadstoff- Belastungen und damit volkswirtschaftliche Verluste nicht nur auf den Hochleistungsstrassen, sondern auch auf dem anschliessenden untergeordneten Strassennetz.

Es besteht ein Handlungsbedarf, um die Funktionsfähigkeit der HLS zu verbessern und trotz Verkehrszunahme zu wahren. Mit dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur lassen sich diese Verkehrsprobleme nicht kurzfristig lösen. Der erprobte Weg, Unfälle, Zeitverluste und Umweltlasten kurzfristig zu reduzieren und dem Personal von Polizei und Unterhaltsdiensten Sicherheit bieten, ist das Optimieren der Nutzung von HLS mit Verkehrsbeeinflussungssystemen. Darunter bildet die Rampenbewirtschaftung eine kostengünstige Massnahme zur Verbesserung des Verkehrsflusses auf Hochleistungsstrassen. Rampenbewirtschaftungen werden im Ausland angewendet und sind erprobt. Erste Anwendungen bewähren sich auch in der Schweiz.

Die Einstellung in der Öffentlichkeit zur Rampenbewirtschaftung ist allerdings kontrovers:

- auf der positiven Seite stehen der Nutzen für den Verkehr, der bereits die HLS befährt, und die niedrigen Kosten der Rampenbewirtschaftung
- auf der negativen Seite stehen die Nachteile für den Verkehr auf der Einfahrt, der versucht die HLS zu erreichen, und auf dem anschliessenden untergeordneten Strassennetz. Durchgangsverkehr, der an weit entfernten Einfahrten auf die HLS gelangt ist, werde gegenüber dem Agglomerationsverkehr bevorzugt. Die Kanalisierung des Agglomerationsverkehrs auf die HLS werde mit der Rampenbewirtschaftung beeinträchtigt. Zudem wurden mit dem Ausbau der HLS die Alternativrouten des Agglomerationsverkehr auf den Hauptverkehrsstrassen noch zurückgebaut.

Es stellen sich somit Fragen nach Prioritäten. Dabei fehlt aber das Verständnis für die Grundlagen der Rampenbewirtschaftung:

- die Rampenbewirtschaftung kann nur Zufahrten zu HLS bewirtschaften, sie kann nicht den Verkehr der Hauptfahrbahn der HLS steuern
- die Bewirtschaftung muss in Einfahrten knapp stromaufwärts von einem Leistungsengpass auf der HLS erfolgen. Es ist wenig sinnvoll, den Verkehr an - vom Engpass der HLS - weit entfernten Einfahrten zu bewirtschaften, denn dieser Verkehr hat vorwiegend andere Anschlüsse und Verzweigungen als den Engpass selbst zum Ziel
- die primäre Aufgabe der HLS ist es, den Verkehr zu durchleiten und damit den gebietsfremden Verkehr der Agglomeration auf der HLS zu kanalisieren
- nur sekundär können auf der HLS auch die Verbindungs- und Sammelfunktionen in der Agglomeration erfüllt werden

Wissenslücken bestehen demnach in Bezug auf die sinnvolle Behandlung der einzelnen Teilströme und hinsichtlich einer räumlich ausgedehnten Strategie (HLS- Korridor bis HLS- Netzteil). Bei den Teilströmen wird das Problemfeld der Auswirkungen angesprochen, das sich bei der Bewirtschaftung der HLS- Einfahrten im nachgeordneten Strassennetz der Agglomeration stellt.

Die Überlegungen über Sinn, Zweck und Methoden einer Rampenbewirtschaftung dürfen sich deshalb nicht isoliert auf die Schwachstelle der Autobahn und auf eine Einfahrt beschränken, sondern es ist ein Korridor zu betrachten, der auch das anschliessende untergeordnete Strassennetz einbezieht.

## 2.3 Aufgabe

Auf Grund der geschilderten Ausgangslage und Problembeschreibung drängt sich die Ausarbeitung von Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Rampenbewirtschaftung auf:

- die Definitionen
- die Grundsätze
- der Anlass
- die Ziele
- die Methodik
- das Konzept
- das Projekt
  - die Verkehrserfassung
  - die Verkehrsanalyse
  - die Steuerung
  - die Signalanzeige
- die Evaluation.

## 2.4 Vorgehen

Der erste Schritt dokumentiert Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz mit der

- Bewirtschaftung der A1 Zufahrt vor dem Westportal des Baregg隧nells
- Bewirtschaftung der A1L Zufahrt Schwamendingen in Zürich.

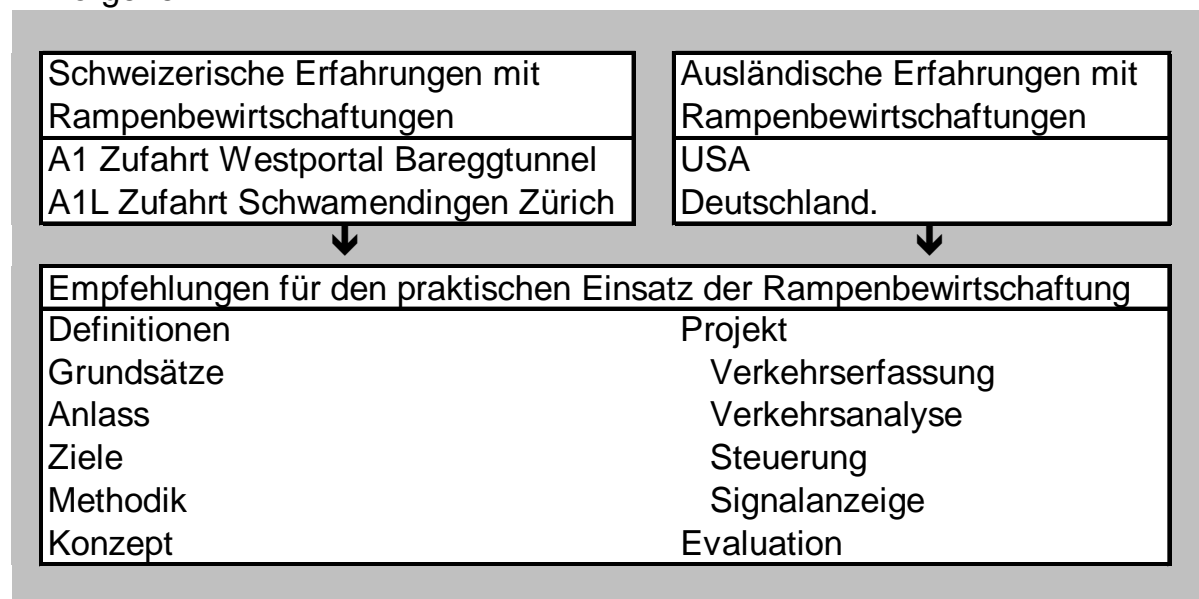
Der zweite Schritt fasst ausländische Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen zusammen aus den

- aus den USA
- aus Deutschland.

Dazu werden Rampenbewirtschaftungen in anderen Ländern erwähnt.

Schliesslich wird die Aufgabe so gelöst, dass auf der Basis dieser schweizerischen und ausländischen Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen an Hochleistungsstrassen die Empfehlungen für den praktischen Einsatz der Rampenbewirtschaftung abgeleitet werden.

### Vorgehen



### **3. Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen in der Schweiz**

#### **3.1 Bewirtschaftung der A1 Zufahrt vor dem Westportal des Baregg隧nels**

##### **3.1.1 Ausgangslage**

Seit der Verlängerung der Autobahn A3 von Frick bis zur A1 im Birrfeld im Jahr 1996 bildet der Baregg隧nel einen vierstreifigen Engpass im Verlauf der sechsstreifigen A1 zwischen der Verzweigung Birrfeld im Westen und dem Limmattaler Kreuz im Osten.

Dieser Engpass soll primär mit einer neuen baulichen Infrastruktur behoben werden. Seit etwa einem halben Jahr werden Sicherheitseinrichtungen in der bestehenden Südröhre des Baregg隧nels installiert, die entsprechenden Arbeiten in der Nordröhre beginnen noch heuer. Im Jahr 2004 wird eine dritte Röhre eröffnet, aber nacheinander wird dann jeweils eine der drei Röhren für Bauarbeiten gesperrt sein. 2005 sollten schliesslich drei Tunnelröhren in Betrieb sein - in der neuen dritten Röhre drei Fahrstreifen in Richtung Bern, in der heutigen Nordröhre zwei und in der heutigen Südröhre ein Fahrstreifen in Richtung Zürich, dazu ein Fahrstreifen für den Regionalverkehr zwischen den Anschlüssen Baden West und Neuenhof.

Um schon vor dem Jahr 2005 den Stau vor dem Baregg隧nel zu reduzieren, wurden in einer „Stauweg / Woche“ im November 1999 neue Ansätze des Verkehrsmanagements mit Einbezug von Sozialwissenschaften erprobt. Dabei wurden Informationen über den Stau am Baregg隧nel bzw. über Alternativen an die Verkehrsteilnehmer vermittelt, und Anreize zum Vermeiden von Stau, zum Benutzen von Bahn und Bus und zum Mitfahren im PW gesetzt. Der Bekanntheitsgrad der vermittelten Botschaft „staufreie Fahrt, wenn genügend mitmachen“ war hoch, der Effekt auf der Strasse allerdings bescheiden [1].

Ab Mitte Juni 2000 wird die A1 Zufahrt Baden West bewirtschaftet mit dem Ziel, den regelmässigen Stau in werktäglichen Morgenspitzen vor dem Baregg隧nel in Richtung Zürich zu reduzieren. Diese Rampenbewirtschaftung ist Gegenstand dieses Kapitels.

Für die Gegenrichtung ist hier bis jetzt keine Rampenbewirtschaftung geplant, denn hier verheissen niedrige Verkehrsfrequenzen und kurze Stauräume auf dem Lokalstrassennetz im A1 Anschluss Neuenhof und die gegenwärtigen Bauarbeiten an der Überdeckung Neuenhof wenig Erfolg.

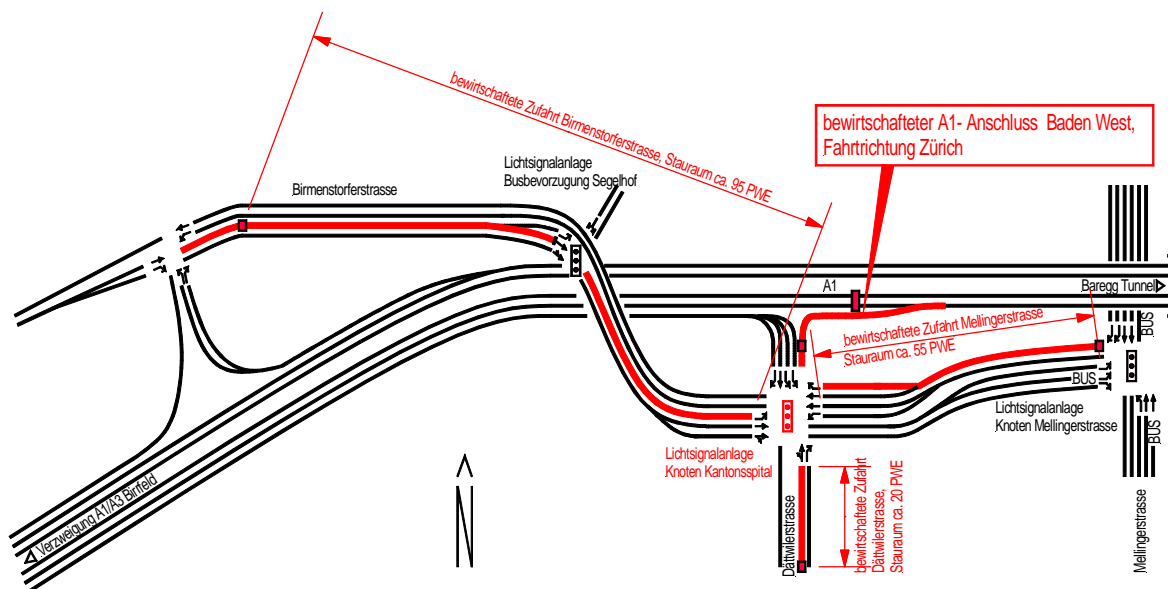
##### **3.1.2 Engpass in Fahrtrichtung Zürich**

In Fahrtrichtung Zürich gesehen mündet vor dem Westportal des Baregg隧nels die Zufahrt Baden West in die zweistreifige Richtungsfahrbahn der A1 ein. Regelmässig in werktäglichen Morgenspitzen zwischen etwa 6 Uhr und 9.30 Uhr überschritten die Verkehrsbelastungen der A1 zusammen mit jenen der Zufahrt die Leistungsfähigkeit dieses Engpasses. Auf der A1 bildete sich dann Stau, der sich über die A1/A3- Verzweigung Birrfeld hinaus stromaufwärts gegen den A1 Anschluss Mägenwil und gegen den A3 Anschluss Lupfig erstreckte.

Der Verkehr der Zufahrt floss aber während dieser Zeit ohne Behinderungen in Richtung Baregg隧nel, entgegen dem Vortritt der A1 Fahrbahn. Auf der Zufahrt entstanden Stau und Zeitverluste nur durch eine Lichtsignalanlage am Rampenbeginn, nicht durch eine Überlastung am Rampenende an der A1. Es lag deshalb nahe, den Zufluss auf der Zufahrt Baden West zum Engpass zu reduzieren und damit die Behinderungen im Abfluss auf der Fahrbahn der A1 einzuschränken. Im Auftrag des Baudepartements des Kantons Aargau wurde deshalb ein entsprechendes Projekt erarbeitet [2].

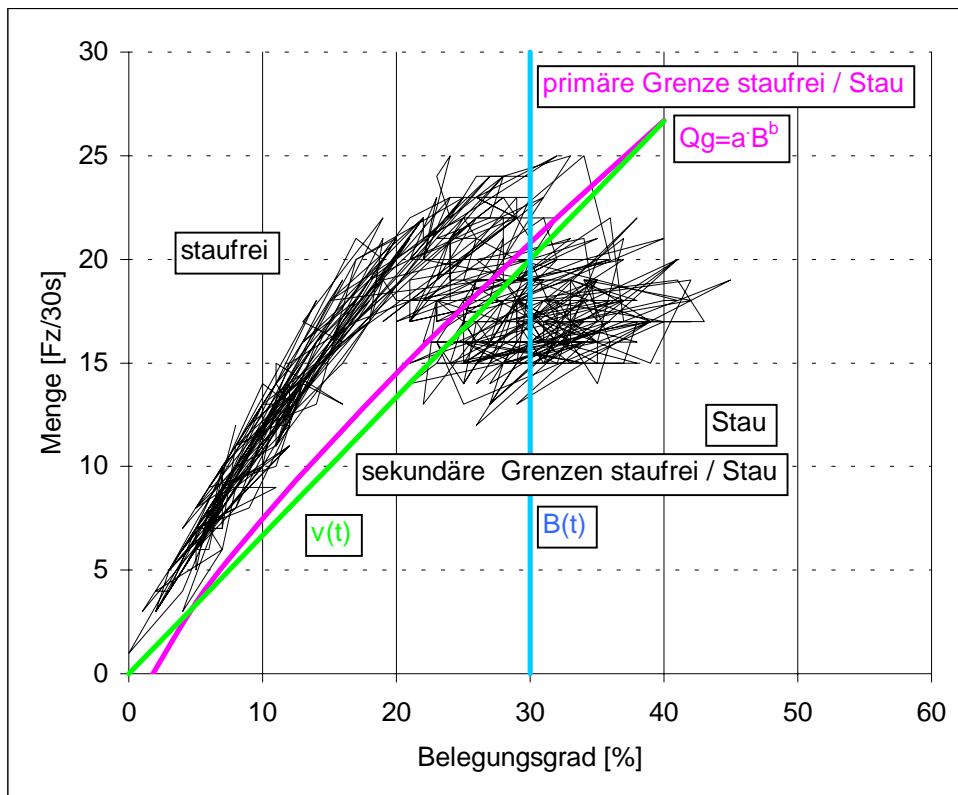
##### **3.1.3 Bewirtschaftung des Engpasses**

Der Verkehrszustand auf der A1 wird unmittelbar vor der Einmündung der Zufahrt Baden West erfasst. Detektoren messen dort mit Doppelschleifen pro Fahrstreifen in Intervallen von 30 Sekunden die Verkehrsmenge, den Belegungsgrad und die Geschwindigkeit (Abbildung 1).



Auf Grund der Detektordaten unterscheidet ein Algorithmus zwischen den Verkehrszuständen staufrei und Stau auf der A1. Die primäre Grenze zwischen staufrei und Stau folgt aus der Verkehrsmenge  $Q(t)$ , dem Belegungsgrad  $B(t)$  und den Parametern  $\alpha$  und  $\beta$  zu  $Q_g(t) = \alpha \cdot B(t)^\beta \cdot R(t)$ . Diese Schwelle schwankt mit wechselnden Witterungsbedingungen, sie wird deshalb mit  $R(t) = 0.95 \cdot R(t-1) + 0.05 \cdot Q_g(t)/Q(t)$  angepasst.

Sekundäre Grenzen zwischen den Verkehrszuständen staufrei und Stau sind der Belegungsgrad  $B_g(t)$  allein, und die Geschwindigkeit  $V_g(t)$  allein. Diese drei Grenzen sind an die spezifischen Verhältnisse auf dem Normal- bzw. auf dem Überholstreifen der A1 adjustiert. Zusammen ergeben sie eine hohe Erkennungsrate, eine niedrige Fehlalarmrate und eine kurze Erkennungszeit von Stau auf der A1 (Abbildung 2).



Beim Anschluss Baden West steuert eine Lichtsignalanlage den Verkehr im Knoten Kantonsspital und damit auch jenen der Zufahrt zur A1. Die Rampe zwischen dem Knoten und dem Beschleunigungsstreifen an der A1 ist zu kurz, um ein spezielles Rampensignal anzubringen. Die Lichtsignalanlage arbeitet verkehrsabhängig mit drei Phasen, wobei in jeder Phase Verkehr in die Zufahrt Baden West fliesst. Solange kein Stau auf der A1 entsteht, teilt die Anlage die Grünzeiten proportional zu den Verkehrsbelastungen auf die drei Zufahrtstrassen bei einem Zyklus von etwa 90 Sekunden auf.

Bei Stau auf der A1 wird der Verkehr der Zufahrt Baden West zunächst auf ~450 PWE/h gedrosselt (maximale Drosselung), indem die Grünzeiten in den drei Zufahrtstrassen bei gleichem Zyklus auf 5 Sekunden limitiert werden. Dies dauert solange, bis während einer bestimmten Zahl von Intervallen der Verkehrszustand staufrei erkannt wird. Anschliessend wird die Drosselung stufenweise verringert. Wird bei anhaltend starkem Zufluss die Gefahr der Staubildung erkannt, so wird weiter dosiert. Allerdings nur so lange, bis der Stau vorgegebene Grenzwerte auf den Zufahrtstrassen erreicht - nämlich 95 PWE auf der Birmenstorferstrasse, 55 PWE auf der Mellingerstrasse und 20 PWE auf der Dättwilerstrasse (Abbildung 1). Beim Überschreiten des vorgegebenen Stauraumes wechselt in der jeweiligen Zufahrtstrasse die Mindest- zur normalen Grünzeit und die Drosselung wird aufgehoben.

Diese Randbedingungen werden von den Gemeinden an den Zufahrtstrassen gesetzt, damit der Regionalverkehr im Anschluss Baden West nicht übermässig benachteiligt, der Verkehr nicht auf Kantonsstrassen verlagert, und öffentlicher Verkehr nicht behindert wird. Neben der Bus- Privilegierung im Knoten Kantonsspital steuert eine Lichtsignalanlage den Knoten Segelhof so, dass er für einmündende Busse vom Areal der Firma ABB her frei bleibt vom Stau, und dass Busse dem Stau auf der Birmensdorferstrasse vorfahren und anschliessend links zur ABB abbiegen können. Zu diesem Zweck musste eine „elektronische“ Busspur eingerichtet werden.

### 3.1.4 Ergebnisse einer Vorher- Nachher- Untersuchung

Relevante Verkehrsdaten im Einzugsgebiet der Bewirtschaftung in der A1 Zufahrt Baden West wurden kurz vor der Inbetriebnahme am 19. Juni 2000 und kurz danach gemessen. Die Vorher-Erhebungen erfolgten vom Montag, 22.5.2000 bis zum Donnerstag, 25.5.2000, die Nachher-Erhebungen vom Montag, 26.6.2000 bis zum Donnerstag, 29.6.2000 jeweils in den Morgenspitzen von 6 Uhr bis 9.30 Uhr. Die Auswertung und Zusammenfassung dieser Verkehrsdaten erlaubt es, ein Bild von der Wirksamkeit der Bewirtschaftung zu zeichnen.

Zuerst sollen dazu *die mittleren Frequenzen und der durchschnittliche Verkehrsablauf* an werktäglichen Morgenspitzen ohne bzw. mit Bewirtschaftung des A1 Anschlusses Baden- West verglichen werden (Abbildung 3):

- Mit der Bewirtschaftung sind die mittleren stündlichen Frequenzen
  - auf der A1 um ~120 FZ/h gestiegen.
  - auf der A1 Zufahrt Baden West um ~180 FZ/h gesunken. Ein Teil dieser Fahrzeuge hat sich auf den A3 Anschluss Lupfig bzw. auf die Kantonsstrasse Brugg - Baden verlagert.
- Die Bewirtschaftung hat den Verkehrsablauf auf der A1 deutlich verbessert
  - die mittlere Staulänge ist von ~7 km um ~3 km auf ~4 km gesunken
  - der mittlere Stau ist von ~594 FZ um ~360 FZ auf ~234 FZ gesunken
  - der mittlere Zeitverlust ist von ~11 min um ~7 min auf ~4 min gesunken.
- Die Bewirtschaftung hat den Verkehrsablauf auf der A1 Zufahrt Baden West verschlechtert
  - der mittlere Zeitverlust ist von ~2 min um ~8 min auf ~10 min gestiegen.
- Kosten der Zeitverluste und der Unfälle sind die wesentlichen volkswirtschaftlichen Nutzenfaktoren des Verkehrs, Betriebskosten der Fahrzeuge und Schadstoffkosten sind deutlich niedriger. Wegen der kurzen Untersuchungsdauer liegen allerdings keine vergleichbaren Unfalldaten vor. Werden demnach nur die Zeitverluste auf der A1 und Zufahrt über das Jahr monetarisiert (3.5 Spitzenstunden pro Tag an 250 Werktagen mit Kosten von ~ Fr. 15.-/h), dann sind mit der Bewirtschaftung die volkswirtschaftlichen Zeitverlust- Kosten des Verkehrs jährlich von ~7.4 Mill. Fr. um ~3.0 Mill. Fr. auf ~4.4 Mill. Fr. gesunken.

Die Investitionskosten für die Bewirtschaftung des A1 Anschlusses Baden- West umfassen die Ausgaben für Verkehrserfassung, Datenübertragung, Datenverarbeitung, Informationsausgabe und betragen ~1.2 Mill. Fr. Die jährlichen Investitionskosten er-



rechnen sich aus den gesamten Investitionskosten und einem Abschreibungszeitraum von 10 Jahren zu ~0.1 Mill. Fr. Die jährlichen Betriebskosten für Wartung, Reparaturen, Personal und Energie betragen ca. 10% der gesamten Investitionskosten, oder ebenfalls bei 0.1 Mill. Fr. Insgesamt liegen die jährlichen Kosten der Bewirtschaftung demnach bei 0.2 Mill. Fr.

Nur schon aus dem hier berücksichtigten Teilnutzen für den Verkehr von ca. 3.0 Mill. Fr. (nur Zeitverluste werden verglichen) und den Kosten von ca. 0.2 Mill. Fr. folgt ein hoher Nutzen- Kosten- Quotient von ca. 15. Dieser Quotient erhöht sich noch wesentlich, wenn auch vergleichbare Unfallkosten vorliegen werden.

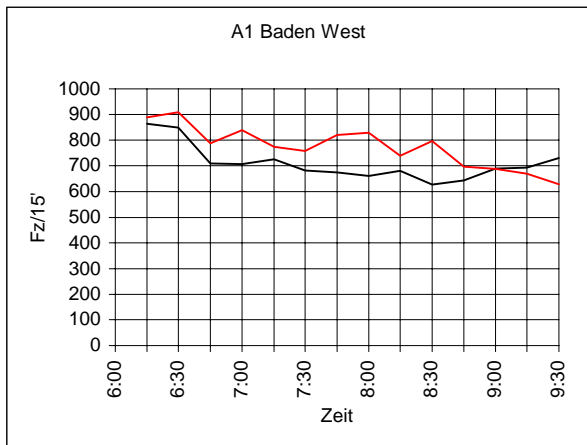
Frequenzen		Verkehrsablauf				
A1 Baden West	A1 Zufahrt Baden West	A1 Baden West		A1 Zufahrt Baden West		
<b>ohne Bewirtschaftung, vom Mo. 22.5.2000 - Do. 25.5.2000</b>						
	Fz/h	Fz/h	Staulänge [km]	Stau [Fz]	Zeitverlust [min]	Zeitverlust [min]
Mittel von 6 - 9.30h	2891	1014	7	594	11	2
					Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]	Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]
					7.0	0.4
						7.4
<b>mit Bewirtschaftung, vom Mo. 26.6.2000 - Do. 29.6.2000</b>						
	Fz/h	Fz/h	Staulänge [km]	Stau [Fz]	Zeitverlust [min]	Zeitverlust [min]
Mittel von 6 - 9.30h	3009	835	4	234	4	10
					Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]	Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]
					2.6	1.8
						4.4
<b>Differenz (mit Bewirtschaftung - ohne Bewirtschaftung)</b>						
	Fz/h	Fz/h	Staulänge [km]	Stau [Fz]	Zeitverlust [min]	Zeitverlust [min]
Mittel von 6 - 9.30h	118	-179	-3	-360	-7	8
					Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]	Zeitverlust-Kosten [Mill. Fr./a]
					-4.3	1.4
						-3.0

Pannen und Unfälle auf der A1 verzerren etwas den vorangegangenen Vergleich der durchschnittlichen Verkehrsdaten. Sowohl ohne wie mit Bewirtschaftung ereigneten sich Störungen, nur bei den beiden Donnerstagen lassen sich störungsfreie Werkstage vergleichen. Deshalb bringt die Abbildung 4 schliesslich eine detaillierte *Bilanz der viertelstündigen Frequenzen* an einem Donnerstag ohne bzw. mit Bewirtschaftung des A1 Anschlusses Baden- West, und die Abbildung 5 die entsprechende *Bilanz des viertelstündigen Kenngrössen des Verkehrsablaufs* (Staulänge, Stau und Zeitverlust).

Die Daten und der grafischer Vergleich sprechen für sich. Deutlich werden bei der Bewirtschaftung die höheren Frequenzen auf der A1, die niedrigeren auf der Zufahrt Baden West und die etwa gleich hohen Frequenzen im Bareggtunnel (Abbildung 4). Auffallend positiv sind die Folgen der Bewirtschaftung für den Verkehrsablauf auf der A1 (Abbildung 5). Staulänge, Stau und Zeitverluste sind nicht nur wesentlich kleiner, mit der Bewirtschaftung endet die Stauzeit um etwa 8 Uhr morgens, ohne Bewirtschaftung erst nach 9.30 Uhr.

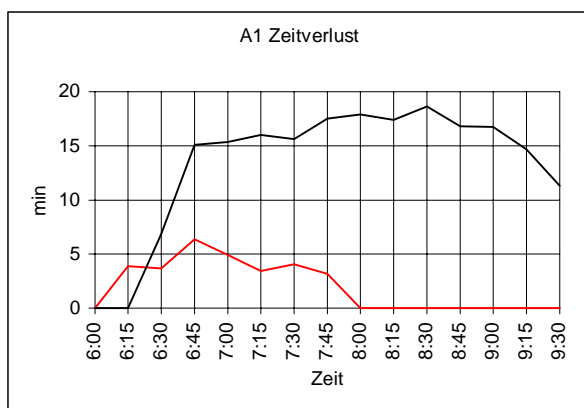
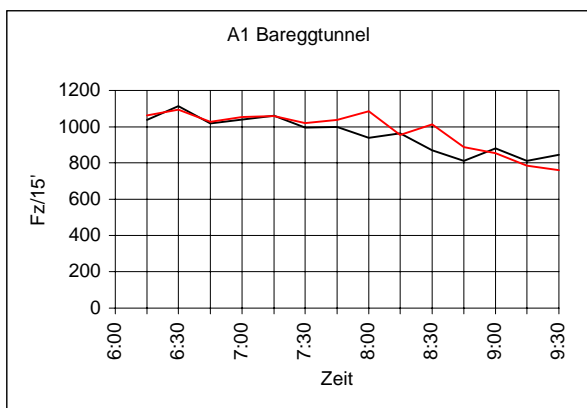
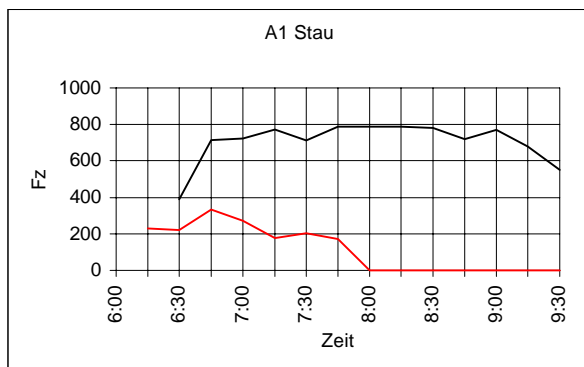
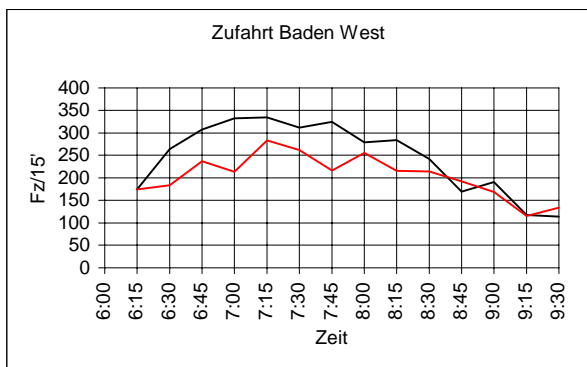
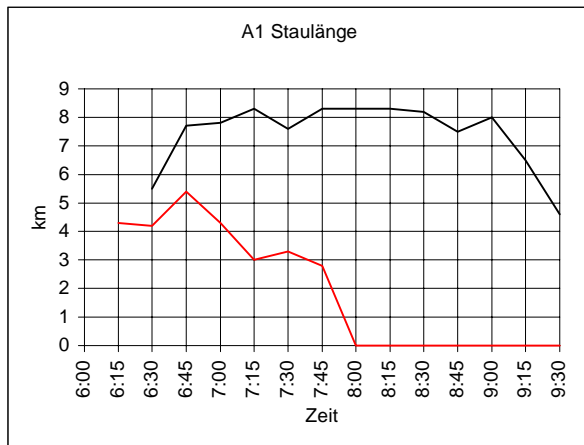
**A1, Frequenzen**

Vergleich ohne Bewirtschaftung / mit Bewirtschaftung

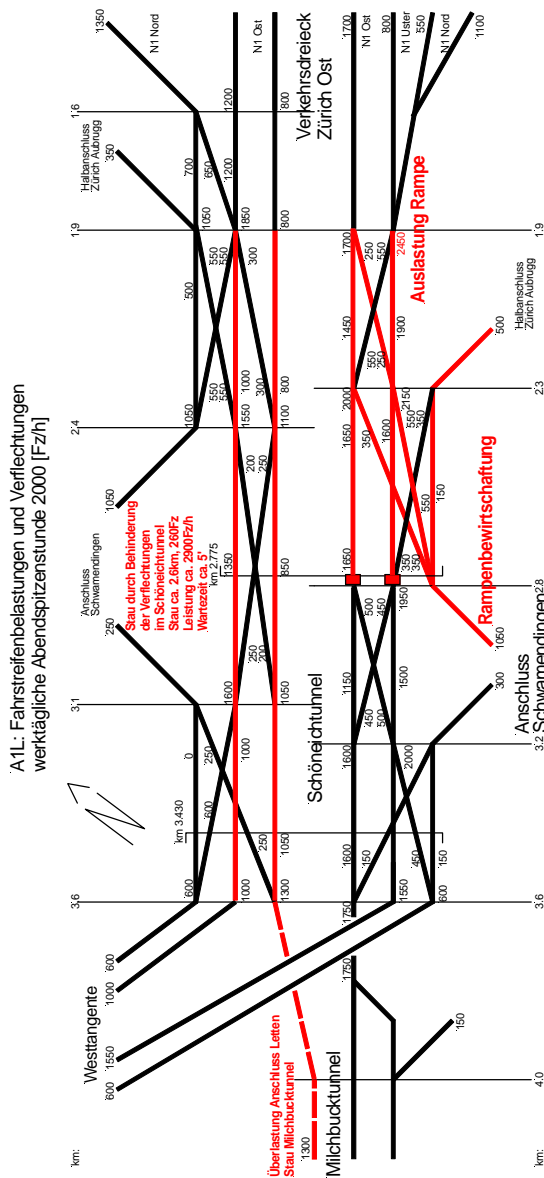


**A1, Ablauf**

Vergleich ohne Bewirtschaftung / mit Bewirtschaftung





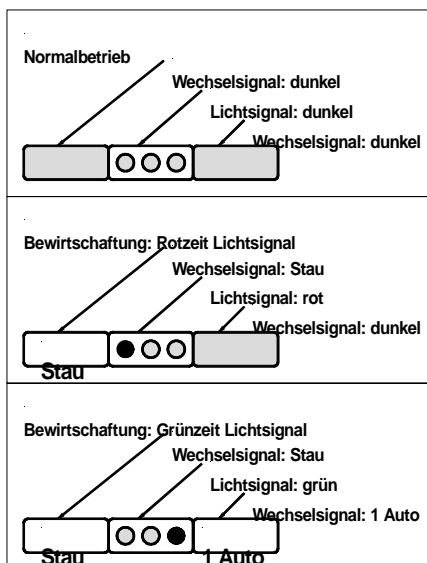


zu und verteilen sich auf das Dreieck Zürich Nord und auf den Halbinschluss Aubrugg. Am Ende der Verflechtung ist der gemeinsame Fahrstreifen für die Richtungen Uster, Nordumfahrung und Flughafen vor dem Verkehrsdreieck Ost mit etwa 2400 FZ/h ausgelastet. Dieser ausgelastete Abfluss aus einer stark belasteten Verflechtung führte regelmässig, aber nur kurzzeitig in werktäglichen Abendspitzenstunden zu Stau. In dieser Schwachstelle erzwingt sich bei stockendem Verkehr nicht die Zufahrt Schwamendingen den Vortritt, sondern Stau kann sich sowohl stromaufwärts auf die A1L wie auf ihre Zufahrt Schwamendingen ausbreiten (Abbildung 7).

Als Massnahme gegen diese Verkehrszusammenbrüche drängte sich eine Rampenbewirtschaftung der Zufahrt Schwamendingen geradezu auf, denn

- vor der Schwachstelle staut sich der Verkehr häufig und eine Rampenbewirtschaftung ist somit wirtschaftlich,
- die Zufahrt Schwamendingen trägt etwa ein Viertel zur Verkehrsbelastung in der Schwachstelle bei und damit liess sich der Verkehrsablauf doch deutlich beeinflussen,
- zudem liegt die Zufahrt Schwamendingen unmittelbar vor der Schwachstelle auf der Autobahn, so sehen hier die Verkehrsteilnehmer den Stau und den Grund für die Rampenbewirtschaftung
- und schliesslich gibt es für den Verkehr der Zufahrt Schwamendingen auch Alternativrouten auf städtischen Strassen, die - zwar auf Umwegen - ebenfalls zu den Autobahnzielen führen.

### 3.2.3 Rampenbewirtschaftung des Engpasses



Detektoren erfassen den Verkehr der A1L an der Einmündung der Zufahrt Schwamendingen und messen pro Fahrstreifen in Intervallen von 30 Sekunden die Verkehrsmenge, den Belegungsgrad und die Geschwindigkeit der Fahrzeuge (Abbildung 7). Der Algorithmus, der die Detektordaten auswertet und den Verkehrszustand analysiert, entspricht prinzipiell jenem in der Abbildung 2.

Im Milchbucktunnel und im Schönleichtunnel steuert schon seit der Inbetriebnahme ein Verkehrsbeeinflussungssystem mit Fahrstreifenlichtsignalen, wechselnden Vorschrifts- und Gefahrensignalen, Wechselwegweisern und Rampensperren den Verkehr bei Störungen, Unfällen und Unterhaltsarbeiten. Auch die Zufahrt Schwamendingen kann gesperrt werden. Deshalb waren in der Zufahrt bereits ein horizontaler Lichtsignalgeber, zwei Wechselsignale und ein Gelblinker angebracht. Für die Rampenbewirtschaftung wurden noch zwei zusätzliche Wechselsignale angeordnet mit den Begriffen „Stau“ und „1 Auto“ (Abbildung 8).

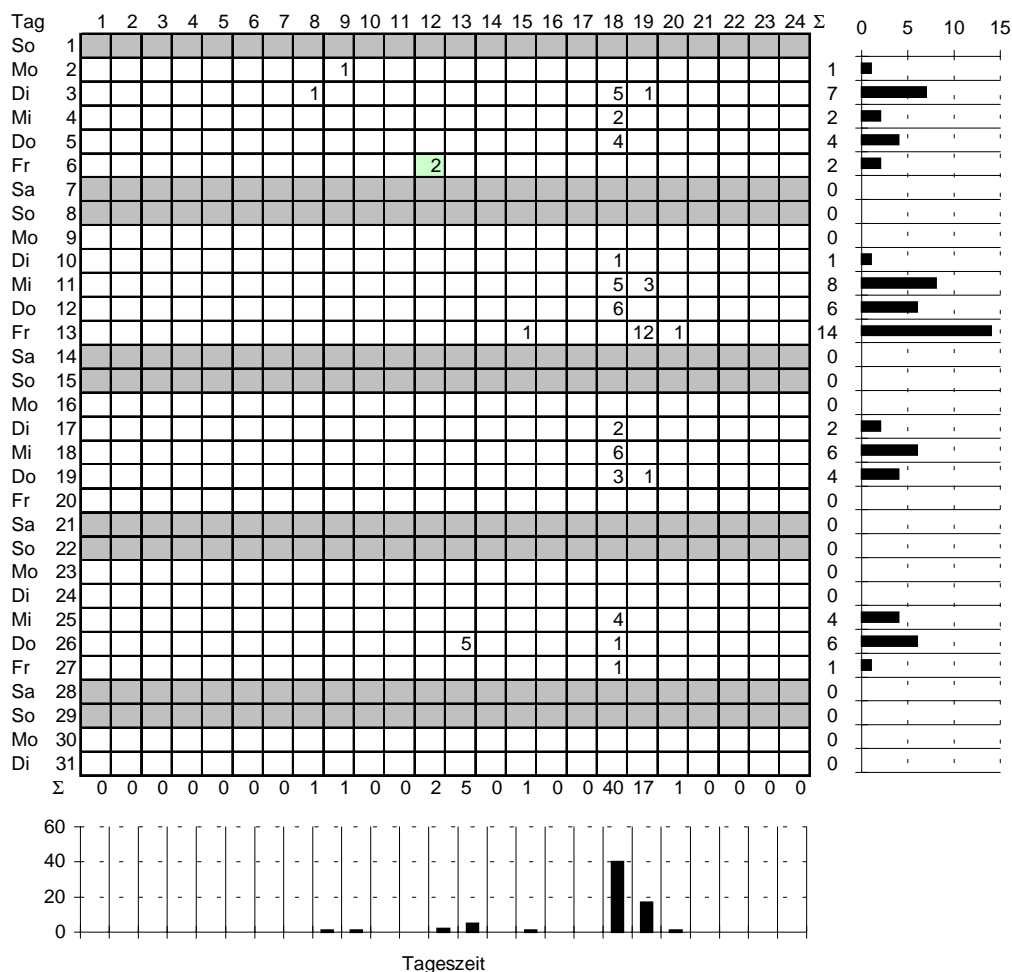
Zwischen der Verkehrsanalyse und der Signalanzeige gilt der folgende Zusammenhang:

- bei einem ungestörten Verkehrsfluss auf der Autobahn sind alle Signale ausgeschaltet
- bei beginnendem Stau vor der Schwachstelle wird die Zufahrt Schwamendingen maximal auf ca. 240 FZ/h gedrosselt. Der Lichtsignalgeber zeigt dann in einem Zyklus von 15 Sekunden - ohne Gelb - abwechselnd 2 Sekunden Grün und 13 Sekunden Rot an. Während dem ganzen Zyklus zeigt eines der zusätzlichen Wechselsignale der Rampenbewirtschaftung den Begriff „Stau“, das zweite zeigt während der Grünzeit den Begriff „1 Auto“.
- bei abbauendem Stau wird die Leistungsfähigkeit der Zufahrt durch Reduktion von Zyklus und Rotzeit in drei Schritten erhöht - auf 400 FZ/h, 600 FZ/h und 900 FZ/h - schliesslich wird der Lichtsignalgeber zusammen mit den zwei zusätzlichen Wechselsignalen der Rampenbewirtschaftung ausgeschaltet.
- bei einer Rampensperre übersteuert die Verkehrsleitzentrale der Kantonspolizei Zürich manuell die Rampenbewirtschaftung. Der Lichtsignalgeber zeigt dann Rot an und die Wechselsignale der Rampensperre sind beleuchtet. Dagegen sind die zwei zusätzlichen Wechselsignale der Rampenbewirtschaftung mit den Begriffen „Stau“ und „1 Auto“ ausgeschaltet.

### 3.2.4 Ergebnisse einer Vorher- / Nachher- Untersuchung

Zwei Jahre nach Inbetriebnahme der Rampenbewirtschaftung Schwamendingen, etwa Mitte 1997, wurden die Betriebserfahrungen von zwei Jahren vorher und von zwei Jahren nachher ausgewertet.

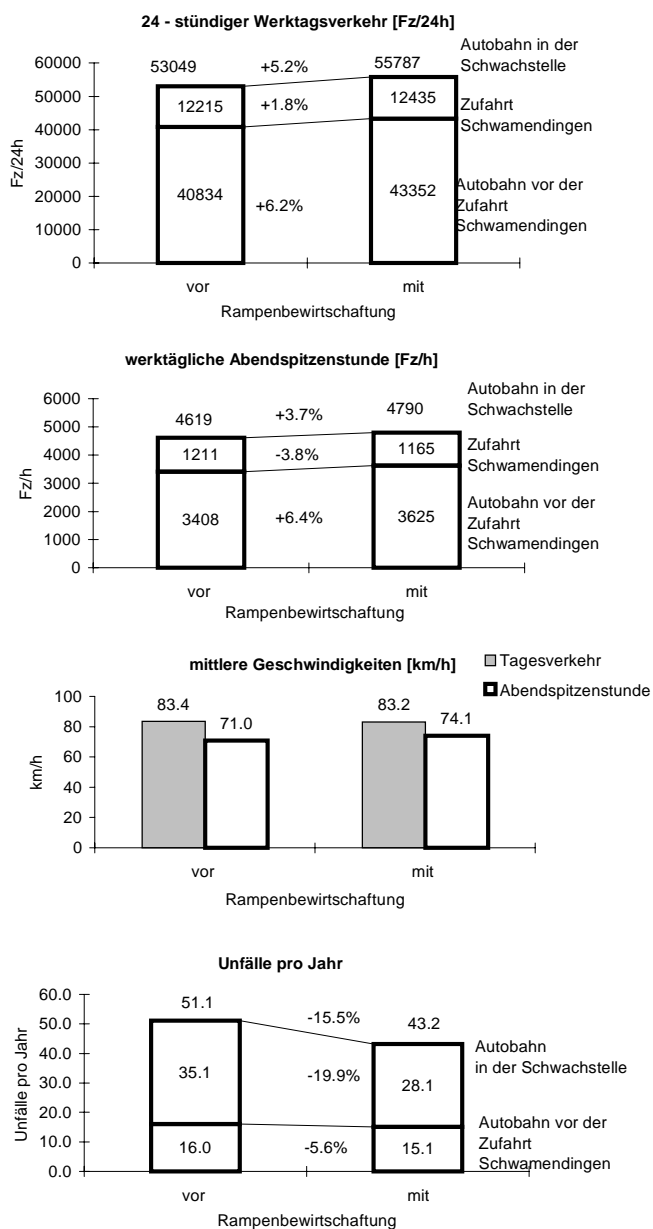
Danach wurde in einem repräsentativen Monat die Zufahrt Schwamendingen 68 Mal bewirtschaftet, die Rampenbewirtschaftungen beschränkte sich auf die Werkzeuge und dann vor allem auf die Abendspitze (Abbildung 9). Die Bewirtschaftung schaltete sich meist kurz aber mehrmals hintereinander ein. Nicht immer war die Rampenbewirtschaftung Schwamendingen erfolgreich - bei gravierenden Störungen und Unfällen im Engpass konnte sie weder einen Abfall der Verkehrsmengen noch der Geschwindigkeiten verhindern.



Mit der Rampenbewirtschaftung war der durchschnittliche Werktagsverkehr sowohl auf der A1L vor der Zufahrt Schwamendingen - wie auf der Zufahrt Schwamendingen selbst - und auch in der Schwachstelle der Autobahn grösser, als er es vorher war (Abbildung 10). Auch der Verkehr der werktäglichen Abendspitzenstunde wuchs mit der Rampenbewirtschaftung auf der A1L vor der Zufahrt Schwamendingen um etwa 6.4 % und in der Schwachstelle der Autobahn um etwa 3.7 %. Auf der Zufahrt Schwamendingen selbst sank er mit der Rampenbewirtschaftung nur um etwa 50 FZ/h, damit waren die negative Auswirkungen auf den begleitenden Stadtstrassen zur Autobahn vernachlässigbar.

Auf der A1L vor der Zufahrt Schwamendingen waren die mittlere Geschwindigkeiten pro 24 Stunden nach der Rampenbewirtschaftung mit 83.2 km/h etwa gleich hoch, wie sie es vor der Rampenbewirtschaftung mit 83.4 km/h waren. In den Nachtstunden von 1 bis 3 Uhr sanken zwar die mittleren Geschwindigkeit um etwa 2 km/h. Dies deutete aber eher auf eine bessere Akzeptanz der Tempolimite seit der Erhöhung der Ordnungsbussen vom 1.9.1996 hin und hing weniger mit der Rampenbewirtschaftung zusammen. In der Abendspitzenstunde von 17 bis 18 Uhr dagegen stieg auf der A1L vor der Zufahrt Schwamendingen die mittlere Geschwindigkeit von 71.0 km/h vor der Rampenbewirtschaftung auf 74.1 km/h nach der Rampenbewirtschaftung.

Auf dem untersuchten Teilstück der A1L stadtauswärts sank die Zahl der Unfälle von 51.1 pro



Jahr vor der Rampenbewirtschaftung auf 43.2 Unfälle pro Jahr nachher. Dies bedeutete eine Reduktion um etwa 15.5 %. Auf dem Teilstück ab etwa 50 m vor dem Schöneichtunnel bis zu der Zufahrt Schwamendingen ereigneten sich vor der Rampenbewirtschaftung 16.0 Unfälle pro Jahr, und nachher 15.1 Unfälle pro Jahr. Die Reduktion lag hier bei etwa 5.6 %. Auf der Schwachstelle von der Zufahrt Schwamendingen bis zum Verkehrsdreieck Zürich Ost sank die Zahl der Unfälle pro Jahr von 35.1 vor der Rampenbewirtschaftung auf 28.1 Unfälle pro Jahr nachher. Hier erreichte die Reduktion etwa 19.9 %.

Die Rampenbewirtschaftung reduzierte die Unfallraten noch deutlicher als die Unfallzahlen, denn mit den tieferen Unfallzahlen stiegen gleichzeitig die Fahrleistungen. Auf dem Teilstück der A1L vor der Zufahrt Schwamendingen sank die Unfallrate um etwa 11.1 %, auf der Schwachstelle der Autobahn von der Zufahrt Schwamendingen bis zum Verkehrsdreieck Zürich Ost um etwa 24.1 %, auf der ganzen untersuchten A1L stadtauswärts um etwa 19.7 %.

Die Rampenbewirtschaftung der Zufahrt Schwamendingen senkte jährlich die Zeitverlust- Kosten des Verkehrs um ~0.4 Mill. Fr. und die Unfallkosten um ~0.1 Mill. Fr. Diesem volkswirtschaftlichen Nutzen von ~0.5 Mill. Fr. standen jährlichen Kosten von bei 0.06 Mill. Fr. für Investition und Betrieb gegenüber. Daraus folgte ein Nutzen- Kosten- Verhältnis von ca. 8.

### 3.3 Fazit

Die Erfahrungen mit zwei Rampenbewirtschaftungen sind positiv:

- Auf der *Autobahn* selbst lässt sich der Verkehrszustand vor dem Engpass korrekt erfassen und sauber zwischen staufrei und Stau unterscheiden. Das Drosseln der Zufahrt bei Stau stellt die korrekten Vortrittsverhältnisse wieder her, fördert die Durchleitfunktion der Autobahn und reduziert dort Zeitverluste und Unfälle.
- Aus der Sicht der *Zufahrt* wird ihre Verbindungs- und Sammelfunktion gedrosselt. Weil bei den beiden Beispielen zwischen Engpass und Zufahrt keine Verzweigungen oder andere Anschlüsse liegen, wird aber nur jener Verkehr bewirtschaftet, der den Engpass wirklich durchfährt und nicht vorher abzweigt. Die kurzen Grünzeiten eines speziellen Rampensignals oder einer Lichtsignalanlage werden von den Verkehrsteilnehmern akzeptiert. Stau und Wartezeiten beschränken sich auf Fahrstreifen, die zur Autobahn führen, der übrige Verkehr bleibt unbehindert.
- Insgesamt resultiert ein günstiges Nutzen- / Kosten- Verhältnis, denn die Vorteile für die Autobahn überwiegen bei weitem die Nachteile für die Einfahrt, und die Kosten der Rampenbewirtschaftung sind relativ niedrig.

#### Literaturhinweise

An diesen Projekten waren neben dem Berichtersteller beteiligt:

beim Westportal des Baregg隧NELS

die Abteilungen Tiefbau und Verkehrsplanung am Baudepartement des Kantons Aargau,  
Ingenieurbüros Jenni + Gottardi AG in Zürich und Erb und Partner in Winterthur  
Peter Spacek vom IVT ETH Zürich,

bei der Zufahrt Schwamendingen

die Verkehrstechnische Abteilung der Kantonspolizei Zürich.

- [1] St. Schneider, H. Gutscher, F. Ruede: „Engpass Baregg – gemeinsam gegen den Stau, Die Stauweg / Woche – Neue Wege im Verkehrsmanagement“, Strasse und Verkehr, 7/00
- [2] Ingenieurbüro Jenni + Gottardi AG und P. Pitzinger, Beratender Verkehrsingenieur: „A1 Anschluss Baden West, Bedarfsgerechte Steuerung Fahrtrichtung Zürich, Baudepartement des Kantons Aargau, September 2000
- [3] P. Pitzinger, P. Spacek: „Verkehrsbeeinflussungssystem Zürich Nord, Konzept und Vorprojekt“; Zusammenfassung, Baudirektion Kanton Zürich, Tiefbauamt, Planung und Steuerung; Kantonspolizei Zürich, Verkehrstechnische Abteilung, November 2000
- [4] P. Pitzinger: „Gute Erfahrungen mit der ersten Rampenbewirtschaftung in der Schweiz“, Tiefbauamt des Kantons Zürich, Kantonspolizei Zürich, Verkehrstechnische Abteilung, November 1997

#### Zusätzliche Unterlagen

„Nationalstrasse SN1.4, Stadt Zürich, Rampenbewirtschaftung stadtauswärts, 1. Etappe: Zufahrt Schwamendingen, Verkehrstechnisches Projekt“, Tiefbauamt des Kantons Zürich und Kantonspolizei Zürich, Verkehrsstudie vom August 1994

„Nationalstrasse SN1.4, Stadt Zürich, Rampenbewirtschaftung stadtauswärts, 1. Etappe: Zufahrt Schwamendingen, Auswertung von Erfahrungen“, Tiefbauamt des Kantons Zürich der Kantonspolizei Zürich, Verkehrsstudie vom August 1997

„Nationalstrasse SN1.4, Stadt Zürich, Unfallsanierung“, Tiefbauamt des Kantons Zürich, Verkehrsstudie vom Mai 1998

„Nationalstrasse SN1.4, Stadt Zürich, Lärmsanierung und Unfallsanierung, aktualisierte Verkehrsstudie zur Unfallsanierung auf der SN1.4“, Tiefbauamt des Kantons Zürich, September 1998

„A1 Baregg tunnel, bedarfsgerechte Steuerung des Anschlusses Baden West“, Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Verkehr, November 1999, Januar 2000 und Juli 2000.



## 4. Ausländische Erfahrungen mit Rampenbewirtschaftungen

### 4.1 USA

Eine Zusammenfassung findet sich in:

„A toolbox for alleviating traffic congestion and enhancing mobility“, Institute of Transportation Engineers, 1997

#### Ramp Metering

**Description:** Ramp metering is a cost-effective technique for improving traffic flow on freeways. Using a modified traffic signal placed at the end of a ramp, ramp metering allows traffic to enter the highway traffic either at pre-timed intervals or at times determined by traffic volume on the ramp or on the main highway. Although delays are often incurred by ramp traffic, mainline capacities are protected and the overall operational efficiency, usually measured in terms of travel time or speed, is improved. HOV bypass lanes on metered ramps have been used to provide time savings for carpools, van pools, and buses. Minneapolis/St. Paul has 380 ramp meters on the region's freeways, 350 of which are centrally controlled by a traffic management center. In a new twist to the concept of ramp metering, the Minnesota DOT is metering 70 freeway-to-freeway ramps that have been severely congested over the past 10 years (Minnesota DOT 1995). Figure 2-4 shows the basic concept of how ramp meters work.

**Benefits/Costs:** Ramp metering is primarily a tool for increasing traffic throughput on a freeway. However, ramp metering also can be used to discourage drivers from using the freeway for very short trips and to provide incentives for bus riders and carpools by bypassing ramp congestion (often a one to four minute time savings). A survey made for the Federal Highway Administration of seven ramp metering systems in the United States and Canada revealed that average highway speeds

increased by 29 percent after ramp metering was installed. When delays on ramps are included, average speeds still increased 20 percent and travel times decreased 16.5 percent. An analysis of the FLOW system in Seattle (ramp metering and HOV lanes) revealed that in addition to similar improvements in speed and travel time, highway volumes increased by about 60 percent as a result of ramp metering. An additional benefit from ramp metering is a decrease in the accident rate. Reductions from 5 to 50 percent have been achieved through improved merging operations (Piotrowicz and Robinson 1995). The following is a summary of ramp metering impacts from five locations in the United States: (Connecticut DOT 1990)

*Ramp metering is a cost-effective technique for improving traffic flow on freeways.*

	Change In:				
	"Before Speed"	"After Speed"	Travel Time	Accidents	Volumes
Portland, OR	16 mph	41 mph	-61%	-43%	NA
Minneapolis	34 mph	46 mph	NA	-27%	+32%
Seattle	NA	NA	-48%	-39%	+62%
Denver	43 mph	50 mph	-37%	-5%	+19%
Long Island, NY	29 mph	35 mph	-20%	NA	0

Various levels of entrance ramp control have been implemented across the country. Some are used simply to improve the conditions at specific problem merge areas. Two ramp metered locations in Detroit resulted in increases on the freeway mainline of traffic volume and speed (27 mph to 60 mph) at one location and increases of traffic volume and speed (35 mph to 58 mph) at another. A few states have focused attention on longer sections of routes in urban areas and are now attempting system-wide applications, notably in California and Texas. Average speed



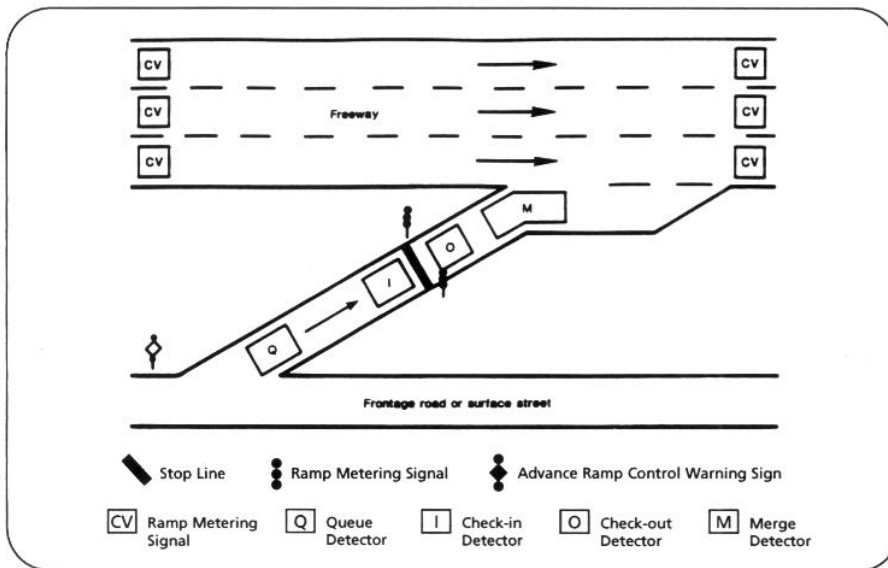
increases of 30 percent commonly result, while reducing mainline congestion by between 20 percent and 60 percent. In addition, Minnesota recently compared conditions on one freeway prior to system activation to conditions during 14 years of system operation. They showed a 16 percent increase in average peak hour freeway speeds (37 to 43 mph) and a 25 percent increase in average peak period volumes.

Traffic-responsive metering often produces results that are generally 5 to 10 percent greater than those of pre-timed metering. A traffic-responsive ramp control experiment in Los Angeles obtained a 100 percent increase in average speed (25 to 52 mph), a 20 percent decrease in ramp wait times, and a 3 percent increase in freeway volumes. Although this is probably a "best" case example, it points to the greater flexibility of traffic-responsive control and the impacts possible.

A special type of metering system

was installed in 1974 at the Oakland-Bay Bridge approaching San Francisco. The system consists of stop-and-go traffic signals located over each of the 15 lanes about 1000 feet downstream from the toll booths. The metering system allows all multi-occupant vehicles to proceed nonstop under a green light, while other vehicles are allowed to proceed at preselected time intervals. The result is a more flexible system accommodating the variations in buses and carpools while at the same time allowing the bridge to carry vehicles at its peak efficiency. Prior to constructing the metering project only 7 percent of the morning commute periods were incident-free. After metering, 20 percent were incident-free. Travel time savings averaged from 2.5 to 3.5 minutes per vehicle. Tow services, incident detection equipment, motorist call boxes, changeable message signs, and closed circuit television are additional elements implemented in the Bay Bridge computerized traffic management system.

Figure 2.4: Example Ramp Meter Installation



The common increase in freeway speed and flow rate that results from ramp metering must be considered from the perspective of latent demand. Over time, significant increases in freeway capacity will lead to large growth in traffic volume, possibly encouraging travelers to switch to auto use from transit services. Therefore, ramp metering should be implemented in conjunction with corridor transportation demand management strategies that will encourage high-occupancy vehicle use.

**Implementation:** A substantial amount of time is needed to plan and implement a ramp metering system. The engineering aspects of ramp metering are fairly well-known. However, ramp meters can often create significant controversy regarding the perceived inconvenience to motorists, and importantly the equity issue of providing improved freeway traffic flow for those using the freeway (e.g., suburban commuters) to the inconvenience of those trying to access it (e.g., center city residents). The implementation of a ramp metering system must therefore include a process where a variety of government and public groups are actively involved in the conceptual planning and implementation.

The following implementation strategy was recommended for incorporating ramp meters into the Hartford, CT freeway system (Connecticut DOT 1990).

- Involve all affected agencies and institutions in the process from the very beginning.

- Institute a proactive public relations program.
- Discuss with local governments how the metering will be operated, e.g., diversion strategies and how to minimize impacts on local streets.
- Perform ramp control experiments to demonstrate the effectiveness of metering.
- Install ramp meters in conjunction with freeway rehabilitation and resurfacing.
- Provide updates on meter operations at frequent intervals.

Although ramp metering can provide some important improvements to the flow of freeway traffic, it is not always an appropriate solution for a number of reasons. Ramps selected for this technique must be at locations where arterials feeding the ramps will not become severely congested as a consequence of such action. Improvements to freeway flows could be made at the expense of transferring a more severe congestion problem to local streets. Possible mitigation measures for such an occurrence include:

- Increasing ramp storage, e.g., widening/increasing number of lanes.
- Creating an areawide system control of metering such that backups are distributed among many different ramps.
- Installing a queue detector at the top of the ramp that will increase the metering rate to clear out the vehicles in the queue.

*The implementation of a ramp metering system must include a process where a variety of government and public groups are actively involved in the conceptual planning and implementation.*

#### References

- Piotrowicz G., Robinson J.: "Ramp Metering Status in North America", 1995 Update, Report DOT/T/95-17, Federal Highway Administration, Washington D. C.
- Minnesota Department of Transportation, 1995 Overview of MnDOT Ramp Metering Program, Report No. 07043-0795, Metro Division, St. Paul, MN
- Connecticut Department of Transportation, 1990, Connecticut Freeway Traffic Management System, Final Report, Hartford, CT
- Traffic Flow Theory: A State of the Art Report, Gartner N., C. Messner, A. Rathi, Monograph on Traffic Flow Theory, Federal Highway Administration, 1997
- Traffic Engineering Handbook, James L. Pline, Institute of Transportation Engineers, 1999

## 4.2 Deutschland

Eine Zusammenfassung findet sich in:

„Hinweise für neue Verfahren zur Verkehrsbeeinflussung auf Ausserortsstrassen“, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Ausgabe 2000.

### Zuflussregelung

#### Ziel und Steuerungsstrategie

Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Autobahn im Bereich hochbelasteter Zufahrten durch Zerstückelung der zufahrenden Fahrzeugpuls ohne Verlagerung von Verkehrsanteilen in das nachgeordnete Netz.

#### Input / Eingangsgrößen

Sowohl auf der Hauptfahrbahn (stromabwärts der Anschlussstelle) als auch in der Zufahrtrampe werden die Verkehrskenngrößen gemessen. Es sind dies:

- Auf der Hauptfahrbahn die Verkehrsmenge  $q$ , der Belegungsgrad  $b$  und die Geschwindigkeit  $v$  (für das Steuerungsmodell wird dabei bei der ALINEA- Strategie (Papageorgiou, 1998) nur der Belegungsgrad herangezogen)
- In der Zufahrtrampe der betroffenen Anschlussstelle wird mittels Einfach- Induktionsschleifen nur die Verkehrsmenge  $q$  verwendet.

Aus dem Belegungsgrad auf der Hauptfahrbahn wird auf den Verkehrszustand, z.B. auf „Stau“ oder „stockende Verkehr“ geschlossen.

#### Verfahren

Die Regulierung der zufahrenden Fahrzeuge von der Zufahrtrampe auf der Hauptfahrbahn erfolgt über eine Lichtsignalanlage in der Rampe mit variabler Rotzeit.

Die Regelung erfolgt mit Hilfe einer Rot- gelb- grün- bzw. einer Rot- gelb- dunkel- Lichtsignalanlage. Im Fall der A40 erfolgt eine Vorabinformation mittels umgerüsteter Vorwegweiser Z 40 StVO. Im Fall der A94 sind demgegenüber mittig in der Rampe Hinweisschilder postiert, die mit Blinklichtern ausgestattet sind (blinken bei aktiver Zuflussregelung). In beiden Anwendungsfällen wird darüber hinaus mittels einer Stauschleife ca. 30 bis 50m hinter dem Übergang über das nachgeordnete Netz die Rückstaulänge überprüft.

Die zulässigen Zuflüsse werden je Anschlussstelle separat ermittelt. Eine koordinierte Steuerung erfolgt zunächst noch nicht.

Die ALINEA- Strategie (Papageorgiou, 1998) basiert wie bereits weiter oben erwähnt auf der Betrachtung eines stromabwärts gelegenen Messquerschnitts. Es werden über Voruntersuchungen eine optimale Belegung sowie ein Korrekturfaktor ermittelt und über diesen Korrekturfaktor die optimale Belegung mit der gemessenen Belegung am Messquerschnitt abgeglichen. Je nach Differenz wird dann der Rampenzufluss erhöht oder verringert, um die Verkehrssituation wieder ins Gleichgewicht zu bringen. Die Strategie ist an das Fundamentaldiagramm angelehnt.

Der Steueralgorithmus lautet:  $r_{n+1} = r_n + K_n(b_{opt} - b_{gem,n})$  mit

$r_n$  Zufluss der Rampe in FZ/h in der aktuellen Zeiteinheit gemessen und von einer der Schleifen der Zufahrtrampe (alternativ bei Nachrüstung eines Messquerschnitts zwischen Aus- und Zufahrt mit  $r_n = q_{stromab} - q_{stromauf}$ )

$K_n$  Faktor zur Korrektur des Rampenzuflusses in FZ/h%

$b_{op}$  optimale Belegung für den Messquerschnitt stromabwärts in %

$b_{gem,n}$  gemessenen Belegung für den Messquerschnitt stromabwärts in der aktuellen Zeiteinheit in %

Um ein Flattern des Programms zu vermeiden, wird eine Hysterese implementiert. Die Umlaufzeit  $T$  und das Programm der Lichtsignalanlage ergeben sich aus der Formel:  $T = 3600/r_{n+1}$ .

#### *Schwellenwertbereiche und Programmfenster*

Für die optimale Belegung liegen die Werte je nach Verkehrssituation und Streckengeometrie zwischen 18 und 23%. Die Werte für den Korrekturfaktor schwanken zwischen 65 und 80 FZ/h.

In den bisher realisierten Fällen wird die Nummer des geschalteten Programms meist mit der theoretisch ermittelten möglichen Zuflussmenge gleichgesetzt (z.B. T10 für 10 FZ/min). Die Schwellenwerte für die einzelnen Programme ergeben sich aus der nach der obigen Formel ermittelten Umlaufzeit. Die notwendigen Hysteresen müssen abhängig von der Situation vor Ort parametrisiert werden.

Die Anzahl der Programme ist abhängig von der vorab festgelegten minimalen und maximalen Umlaufzeit. So werden auf der A4 je nach Verkehrssituation auf der Hauptfahrbahn derzeit zwischen 3 und 12 FZ/min zugelassen. Wenn Belegungen unterhalb der Regelungsgrenze ermittelt werden, wird die Anlage auf dunkel geschaltet, bis wieder ein Regelungsbedarf entsteht. Der gesamte Steuerungsablauf erfolgt vollautomatisch.

Alle Schwellenwerte sind parametrierbar. Im Zug der Modelloptimierung auf der A40 soll ab August 1999 die Belegung der Stauschleife stärker in die Programmierung einbezogen werden. Die erfolgt derart, dass bei Bedarf bei langfristiger Überstauung ein Eingriff in die Lichtsignalsteuerung erfolgen kann.

#### Technische Voraussetzungen

Benötigt wird die Ermittlung der Belegung  $b$  der auf der Hauptfahrbahn (je nach Modellansatz fahrstreifen- und/oder fahrtrichtungsbezogen sowie die Ermittlung von der Verkehrsmenge  $q$  auf der Zufahrtrampe (nach überarbeitetem Modellansatz zusätzlich die Belegung der Stauschleife).

#### Output / Ausgabedaten

##### *Anzeigeschaltimpulse*

Ermittelt und ausgegeben werden:

- die Rotzeiten der Lichtsignalanlage und damit die definierten Umlaufzeiten
- die Einstellung der Vorwegweiser bzw. der Hinweistafeln im Bereich der Rampe.

#### Erfahrungen im praktischen Einsatz

##### *Einsatzhinweise / Kosten*

- Kosten liegen je nach Verfahren bei ca. 150'000.- bis 250'00.- DM / Anschlussstelle.
- Die Einsatzmöglichkeiten und Parametereinstellungen sind abhängig von der Verkehrssituation und der Streckengeometrie vor Ort.
- Das Messdatenerhebungs- und das Berechnungsintervall soll höchstens bei einer Minute liegen, besser kürzer.
- Die Steuerung kann lokal vor Ort oder über eine übergeordnete Leitzentrale erfolgen.
- Der Einsatz ist unabhängig von weiteren beeinflussenden Massnahmen möglich. Die Einbeziehung der Stauschleife in die Steuerung ist auf der A40 künftig möglich.
- Zur Ermittlung der Verkehrssituation auf der Hauptfahrbahn sollte die Messstelle nicht zu weit entfernt von der Anschlussstelle liegen. Es dürfen keine Zu- und Abfahrten zwischen Messstelle und zu regelnder Anschlussstelle vorhanden sein.

##### *Ziele*

- Weniger Schockwellen auf der Autobahn.
- Bessere Kapazitätsausnutzung.
- Verkürzung der Stauzeiten und Reisezeiten.
- Die Anzahl derjenigen, die zufahren ohne den Beschleunigungsstreifen zu nutzen bzw. die den nachfolgenden Strandstreifen mit nutzen, nimmt wesentlich ab, da jeder Verkehrsteilnehmer sich ungestört eine eigene Zeitlücke auf der Hauptfahrbahn wählen kann.
- Höheres Geschwindigkeitsniveau
- Reduzierung der Schleichwegfahrten im nachgeordneten Netz.

##### *Wirkungsergebnisse*

- Die Zuflussregelung führt über die Pulkzerstückelung zu einem Rückgang der Schockwellen auf der Hauptfahrbahn im Bereich unmittelbar stromaufwärts der geregelten Anschlussstelle, der mit einem gleichzeitigen Anstieg des allgemeinen Geschwindigkeitsniveaus verbunden ist.
- Der Verkehrsfluss auf der Hauptfahrbahn wird besser; die Anzahl und Dauer der Störungen nimmt ab.

#### Quellen / Dokumentation

- Papageorgiou, M.: Ramp Metering – „A valuable tool for efficient traffic management“, Proceedings 13<sup>th</sup> Annual POLIS- Conference, Berlin, November 1998
- „Ermittlung und Darstellung der Grundlagen für die Planung eines Zuflussdosierungssystems für die A40, 1991, Steierwald Schönharting und Partner
- Merkblatt für die Ausstattung von Verkehrsrechner- Zentralen und Unterzentralen (MARZ 99), Bundesanstalt für Strassenwesen bast, 1999

#### Ansprechstellen

- Autobahndirektion Südbayern, München
- SSP Consult Beratende Ingenieure, Bergisch Gladbach
- Zentralverwaltung Landschaftsverband Westfalen – Lippe, Münster

## 4.2 Andere Länder

Die Rampenbewirtschaftungen in anderen Ländern werden hier nicht näher belegt, sondern nur aufgezählt:

Niederlande Rotterdam / Coentunnel  
A11 bei Delft

Frankreich Paris, Boulevard Peripherique

England M1, London  
M6, Birmingham  
M27 und M3, sechs Rampenbewirtschaftungen

Italien A4 und A27, tangenziale di Mestre

## 5. Empfehlungen zur Rampenbewirtschaftung

### 5.1 Definitionen

- Bei der Rampenbewirtschaftung wird der Verkehr von Einfahrten zu Hochleistungsstrassen (HLS) temporär bewirtschaftet.
- Der Zweck der Rampenbewirtschaftung ist die Verbesserung des Verkehrsablaufs in einem temporären Leistungsengpass auf der HLS.
- Die Bewirtschaftung erfolgt mit Lichtsignalen vor den eigentlichen Einfahrten.
- Die Einfahrten selbst wie die Hauptfahrbahn der HLS werden bei der Rampenbewirtschaftung nicht gesteuert, es gilt der Vortritt der Hauptfahrbahn.

### 5.2 Grundsätze

- Die Rampenbewirtschaftung erfolgt in Einfahrten knapp stromaufwärts von einem Leistungsengpass auf der HLS.  
Begründung:  
Den Verkehr an - vom Engpass der HLS - weit entfernten Einfahrten zu bewirtschaften, um im Engpass selbst den Verkehrsablauf zu verbessern, ist nahezu wirkungslos. Denn dieser Verkehr hat vorwiegend andere Anschlüsse und Verzweigungen als den Engpass zum Ziel, zudem käme seine Drosselung für eine Verbesserung des Verkehrsablaufs im Engpass zu spät.
- Vor einem temporären Engpass der HLS wird mit einer Rampenbewirtschaftung die Durchgangsfunktion auf der HLS privilegiert.  
Begründung:  
Die Privilegierung des durchgehenden Verkehrs geschieht bei der Rampenbewirtschaftung zu Lasten der Verbindungs- und Sammelfunktionen der HLS. Denn die primäre Aufgabe der HLS ist es, Verkehr zu durchleiten und damit gebietsfremden Verkehr von Agglomerationen auf der HLS zu kanalisieren. Die HLS kann nur dann zusätzliche Verbindungs- und Sammelfunktionen in der Agglomeration erfüllen, wenn der Verkehr auf der HLS nicht zusammenbricht.
- Die Rampenbewirtschaftung strebt eine positive Gesamtbilanz des Verkehrsablaufs sowohl auf der HLS wie auf dem untergeordneten Strassennetz an.

### 5.3 Anlass

Anlass für eine Rampenbewirtschaftung ist ein Engpass auf einer HLS mit regelmässigen Überlastungen bzw. mit häufigen zufälligen Störungen und Unfällen.

Die Ursachen für einen Engpass auf einer HLS können sein:

- hohen Verkehrsbelastungen in einer Einfahrt (Fahrzeugfrequenzen, Schwerverkehrsanteile) und ungünstige Verkehrsbeziehungen
- zufälligen Störungen (Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenbreite)
- Unfälle (Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenbreite)
- Baustellen (Geometrie, Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenbreite)
- ungünstigen Strassen- und Witterungsverhältnissen (Regen, Schnee, Glatteis, Nebel)
- eine ungünstiger Geometrie der Hauptfahrbahn (Fahrstreifenanzahl, Fahrstreifenbreite, seitliche Hindernisse, Längsneigung)
- stark belastete Verflechtungen (hoher Anteil des Verflechtungsverkehrs, Konfiguration, Länge, Fahrstreifenanzahl)

### 5.4 Ziele

Die Ziele der Rampenbewirtschaftung sind generell gesehen weniger Unfälle und Störungen, Zeitverluste, Luftschadstoff- Belastungen und damit volkswirtschaftliche Verluste im Bereich von Engpässen der HLS. Diese Ziele gelten nicht nur für die HLS selbst, sondern auch für das anschliessende untergeordnete Strassennetz.

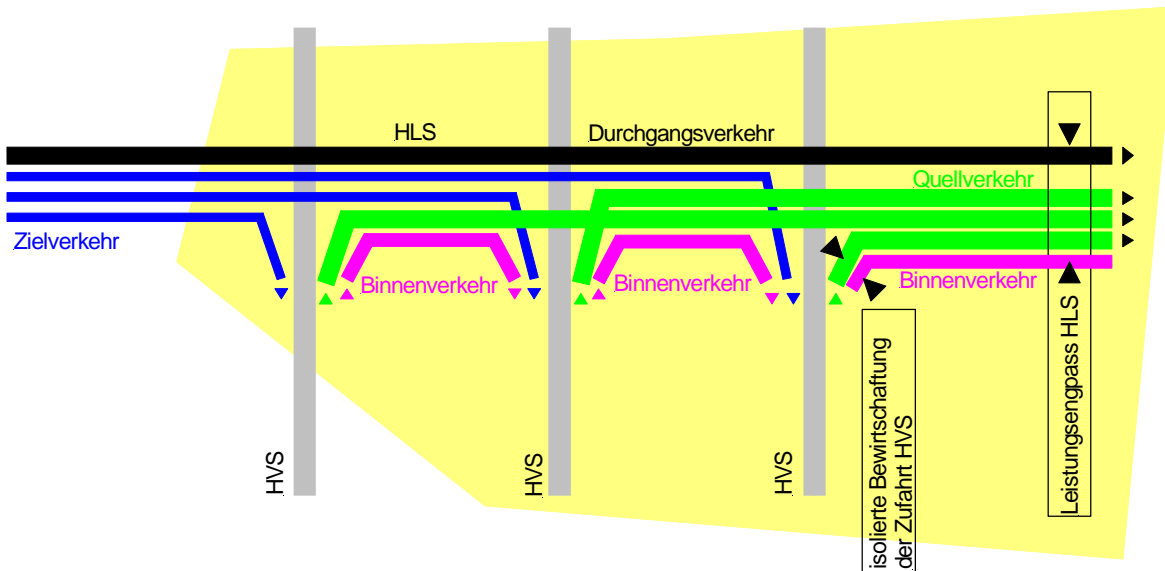
Konkret kann es in temporären Engpässen von HLS darum gehen:

- auf der HLS im Bereich der Zufahrt weniger Schockwellen zu erzeugen, indem die zufahrenden Fahrzeugkolonnen in einzelne Fahrzeuge zerteilt werden und der Verkehr der Zufahrt nur tropfenweise zufließt
- den Zufluss zu einem Engpass der HLS knapp unter jener Kapazitätsgrenze zu halten, deren Überschreitung zu Stau führt
- die korrekten Vortrittsverhältnisse im Bereich der Zufahrt herzustellen, denn bei Kolonnenfahrt und Stau auf der HLS geben in der Praxis häufig die vortrittsberechtigten Fahrer den vortrittsbelasteten Einfahrenden den Vortritt
- den Stau vor einem Engpass der HLS auf eine bestimmte Länge zu begrenzen. Dies kann zweckmässig sein, wenn ein Engpass stromabwärts von einer Verzweigung der HLS liegt, und der Stau nicht den Verkehr in der Verzweigung behindern soll.
- Fahrzeuge mit zahlreichen Passagieren auf eigenen Fahrstreifen in Zufahrten zur HLS zu privilegieren.



### 5.5 Methodik

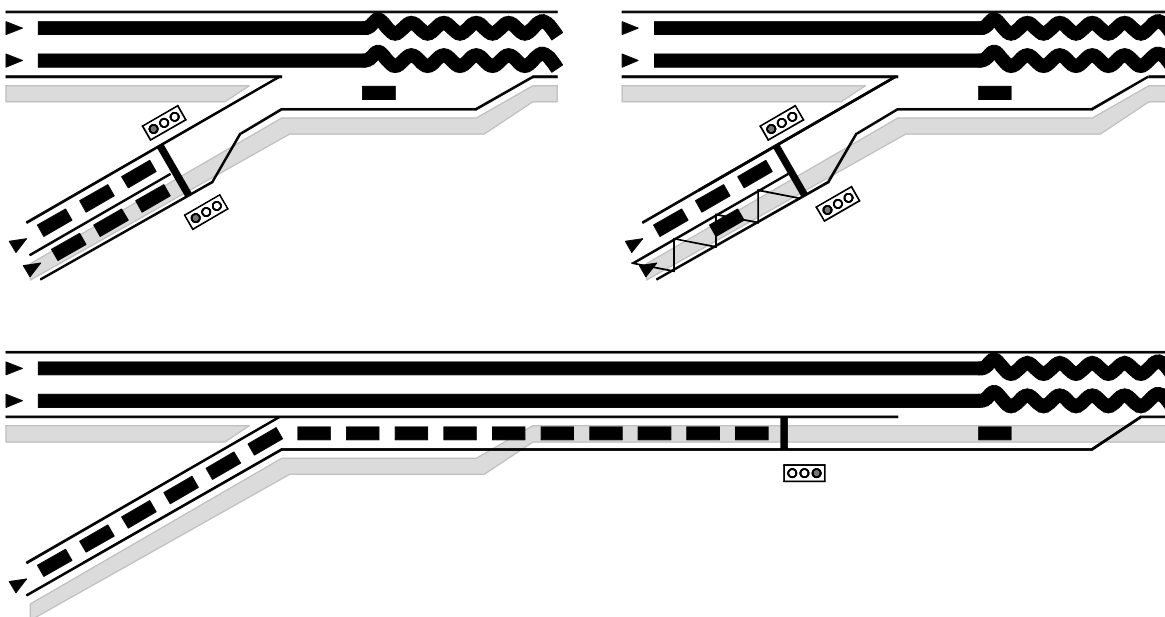
Rampenbewirtschaftungen können isoliert oder integriert erfolgen. Eine isolierte Rampenbewirtschaftung der ersten Einfahrt stromaufwärts von einem Leistungsengpass auf der HLS bevorzugt temporär den durchgehenden Verkehr auf der HLS zusammen mit dem Verkehr der weiter stromaufwärts liegenden Einfahrten. Dies geschieht auf Kosten des Verkehrs in der ersten Einfahrt vor dem Engpass (Abbildung 11).



Ein gravierender Engpass auf der HLS kann eine starke Drosselung der Einfahrt vor dem Engpass nötig machen. Diese Einfahrt wird dann durch die Rampenbewirtschaftung überlastet. Stau kann sich in die anschliessenden Fahrstreifen der HVS erstrecken.

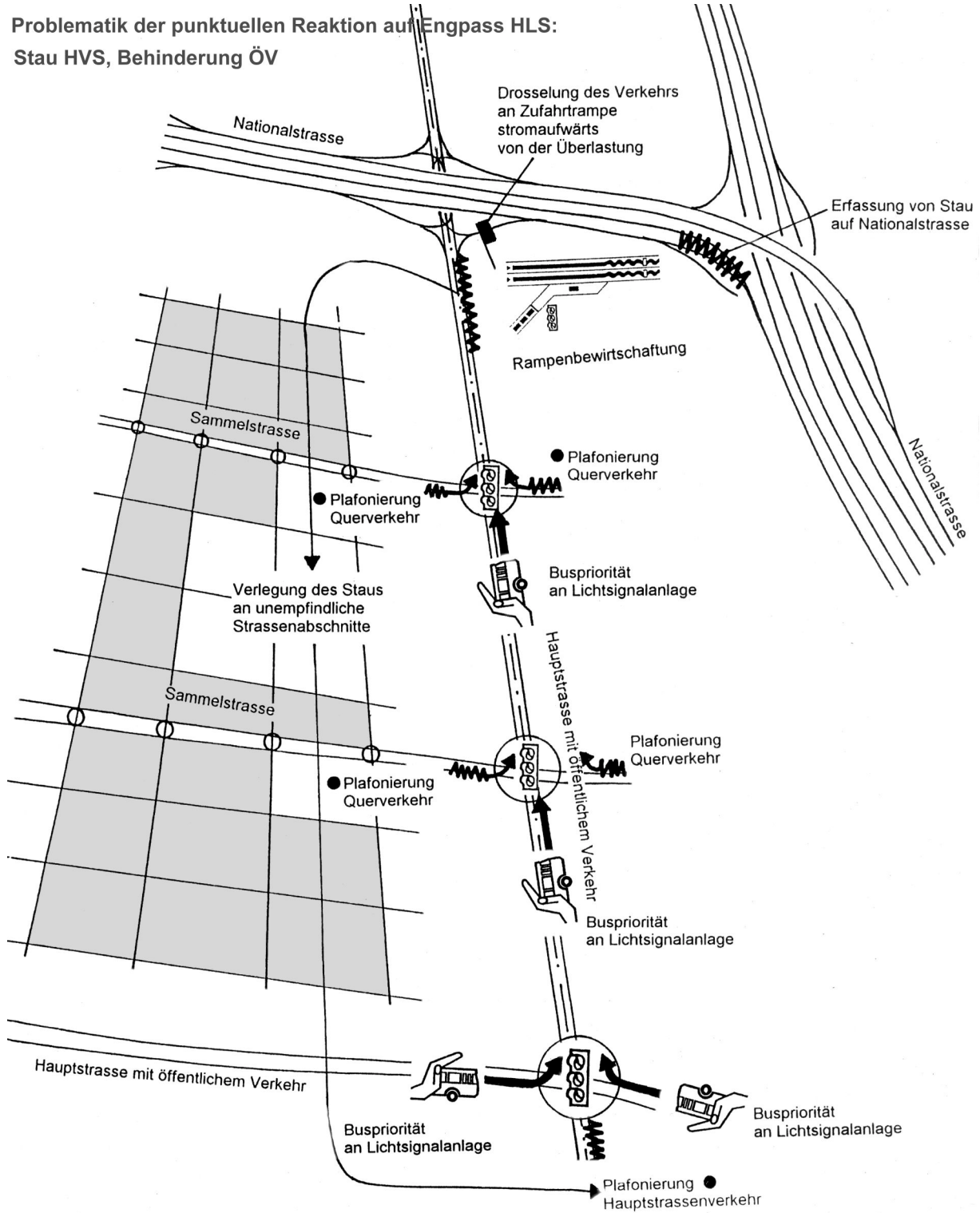
Sind vor und in der Rampe separate Stauräume für den auf die HLS zufahrenden Verkehr neben den Fahrstreifen für den untergeordneten Verkehr vorhanden, dann beschränken sich Stau und Zeitverluste nur auf den bewirtschafteten Verkehr der Zufahrt. Gibt es zudem leistungsfähige Alternativrouten für den bewirtschafteten Verkehr, dann entstehen weniger Stau als Zeitverluste durch die Umwege über Alternativrouten.

Separate Stauräume für den bewirtschafteten Verkehr lassen sich auf den Rampen und auf der anschliessenden HLS z.B. durch die Nutzung bestehender Standstreifen einfach schaffen, auch für Fahrzeuge mit zahlreichen Passagieren auf eigenen Fahrstreifen (Abbildung 12).



Fehlen aber separate Stauräume für den auf die HLS zufahrenden Verkehr, dann kann sich Stau von der bewirtschafteten Einfahrt weit in die angeschlossene HVS und in ihre Knoten erstrecken. Davon wären nicht nur der eigentliche Agglomerationsverkehr zusammen mit den querenden Sammelstrasse betroffen, sondern eventuell auch der öffentliche Verkehr. Um den öffentliche Verkehr bevorzugen zu können, müsste der Stau weiter von der bewirtschafteten Einfahrt weg an unempfindliche Strassenabschnitte verlagert werden (Abbildung 13).

**Problematik der punktuellen Reaktion auf Engpass HLS:  
Stau HVS, Behinderung ÖV**



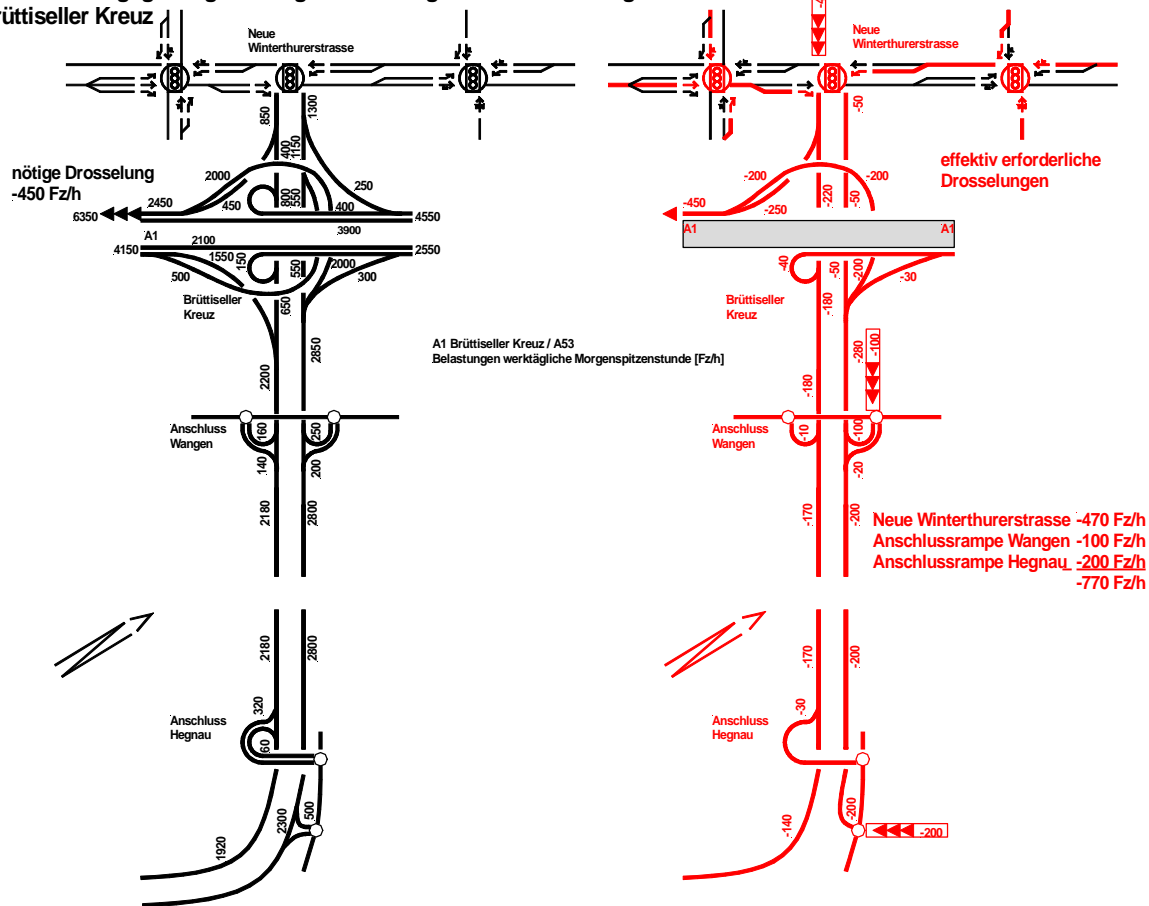




Die Abbildung 15 zeigt dazu das Beispiel eines Engpasses, dessen Belastung über drei Einfahrten zu bewirtschaften ist. An den drei Zufahrten ist um das 1.7- Fache der erforderlichen Belastungsreduktion im Engpass zu drosseln.

Massnahmen gegen regelmässige Auslastungen und Überlastungen

Brüttiseller Kreuz



### 5.6 Konzept

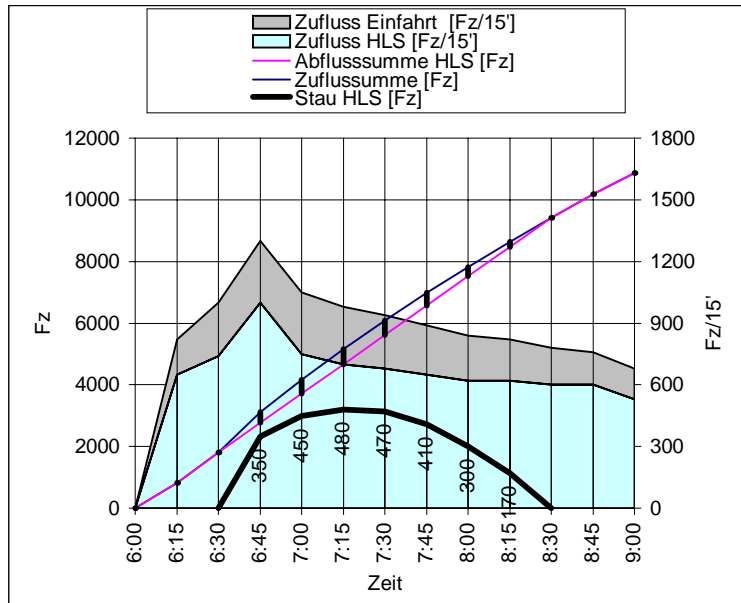
Die Konzeptionierung einer Rampenbewirtschaftung wird an einem Beispiel gezeigt.

#### Ohne Rampenbewirtschaftung

In Morgenspitzen bildet sich Stau durch Überlastung auf einer HLS im Bereich einer Zufahrt. Die Tabelle zeigt dazu zwischen 6 und 9 Uhr in viertelstündigen Intervallen den Zufluss der HLS und der Einfahrt zum Engpass und bildet die Zuflusssumme. Der Abfluss aus dem Engpass liegt im staufreien Zustand bei ~4000 FZ/h bzw. bei ~1000 FZ/15', bei Stau etwa bei ~3800 FZ/h bzw. bei ~950 FZ/15'. Aus der Differenz zwischen der Zufluss- und der Abflusssumme resultiert Stau zwischen 6.30 und 8.30 Uhr. Weil Fahrer auf der HLS bei Stau der Zufahrt Vortritt gewähren, bleibt die Zufahrt staufrei und Stau resultiert nur auf der HLS. Der Zeitverlust im Stau beträgt hier ~660 FZ h in der Morgenspitze.

ohne Rampenbewirtschaftung

Zeit	Zufluss HLS [Fz/15']	Zufluss Einfahrt [Fz/15']	Zuflusssumme [Fz]	Abfluss HLS [Fz/15']	Abflusssumme HLS [Fz]	Stau HLS [Fz]
6:00			0		0	
6:15	650	170	820	820	820	
6:30	740	260	1820	1000	1820	0
6:45	1000	300	3120	950	2770	350
7:00	750	300	4170	950	3720	450
7:15	700	280	5150	950	4670	480
7:30	680	260	6090	950	5620	470
7:45	650	240	6980	950	6570	410
8:00	620	220	7820	950	7520	300
8:15	620	200	8640	950	8470	170
8:30	600	180	9420	950	9420	0
8:45	600	160	10180	760	10180	
9:00	530	150	10860	680	10860	
	8140	2720		10860		2630

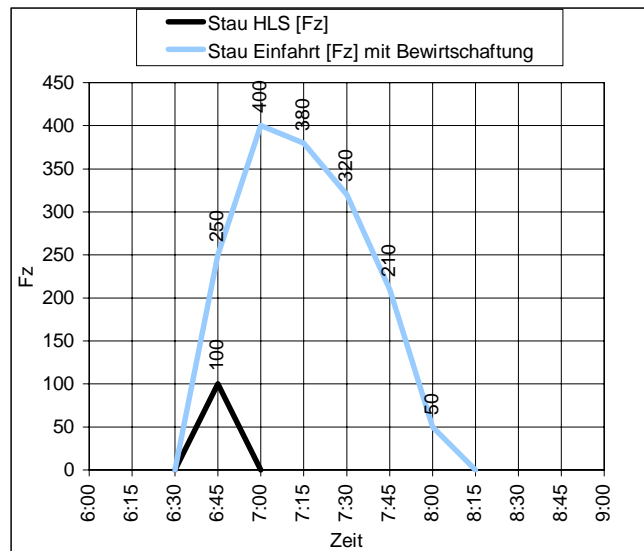


#### Mit einer isolierten Rampenbewirtschaftung

Um 6.30 Uhr wird auf der HLS Stau erkannt und der Zufluss in der Zufahrt wird auf ~50 FZ/15' gedrosselt. Stau resultiert auf der HLS nur noch von 6.30 bis 7 Uhr mit maximal 100 FZ, dagegen auf der Zufahrt von 6.30 bis 8.15 Uhr mit maximal 400 FZ. Der Zeitverlust im Stau beträgt auf der HLS ~25 FZ h in der Zufahrt ~405 FZ h in der Morgenspitzen, insgesamt ~430 FZ h in der Morgenspitze. Die isolierte Rampenbewirtschaftung stellt die korrekten Vortrittsverhältnisse in der Zufahrt wieder her und reduziert die Zeitverluste um ~230 FZ h.

mit isolierter Rampenbewirtschaftung

Zeit	Zufluss HLS [Fz/15']	Zufluss Einfahrt ohne Drosselung [Fz/15']	Zufluss Einfahrt mit Drosselung [Fz/15']	Zuflusssumme mit Drosselung der Einfahrt [Fz]	Abfluss HLS [Fz/15']	Abflusssumme HLS [Fz]	Stau HLS [Fz]	Stau Einfahrt [Fz] mit Bewirtschaftung
6:00				0		0		
6:15	650	170	170	820	820	820		
6:30	740	260	260	1820	1000	1820	0	0
6:45	1000	300	50	2870	950	2770	100	250
7:00	750	300	150	3770	1000	3770	0	400
7:15	700	280	300	4770	1000	4770		380
7:30	680	260	320	5770	1000	5770		320
7:45	650	240	350	6770	1000	6770		210
8:00	620	220	380	7770	1000	7770		50
8:15	620	200	250	8640	870	8640		0
8:30	600	180	180	9420	780	9420		
8:45	600	160	160	10180	760	10180		
9:00	530	150	150	10860	680	10860		
	8140	2720	2720		10860		100	1610

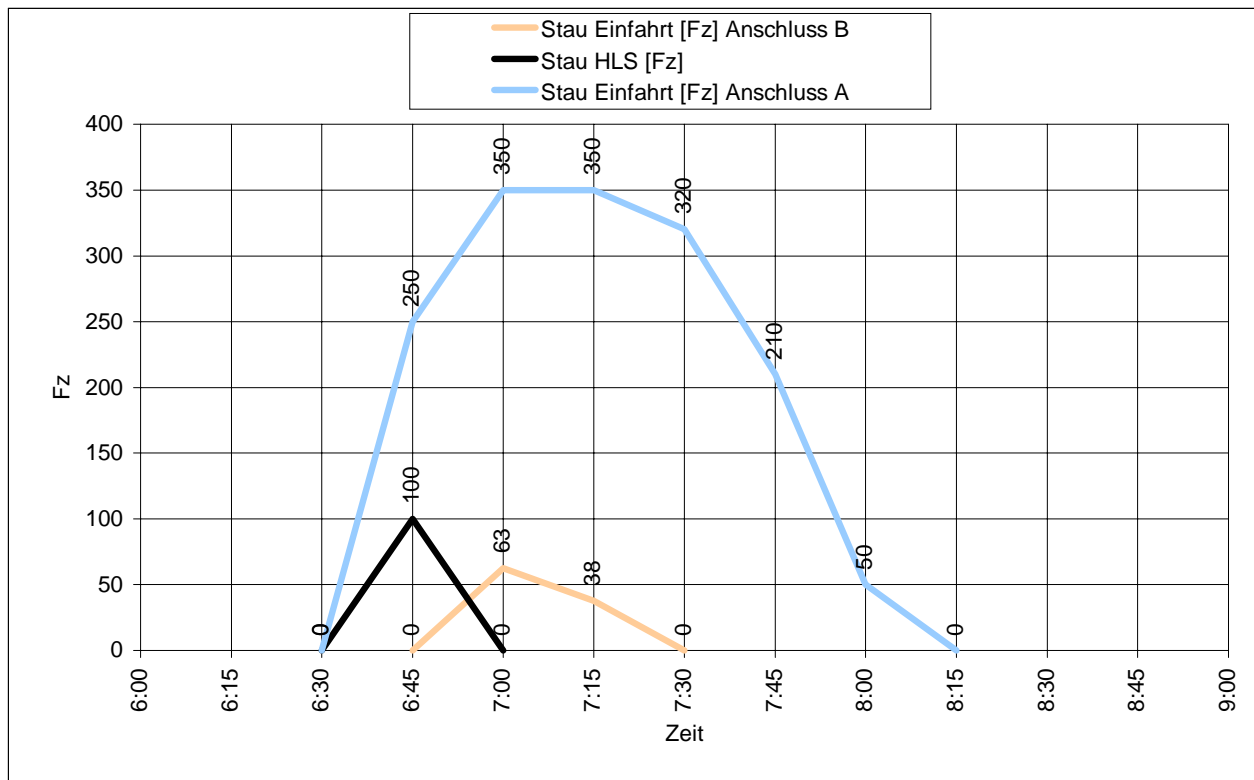


**Mit einer integrierten Rampenbewirtschaftung**

Wiederum wird auf der HLS um 6.30 Uhr Stau erkannt und der Zufluss in der Zufahrt auf ~50 FZ/15' gedrosselt. Stau resultiert auf der HLS nur noch von 6.30 bis 7 Uhr mit maximal ~100 FZ. Um dagegen den Stau auf der Zufahrt vor dem Engpass von 6.30 bis 8.15 Uhr auf maximal 350 FZ zu begrenzen, wird die nächste Zufahrt stromaufwärts um 6.45 Uhr in die Bewirtschaftung integriert. Dort entsteht dann Stau von 6.45 bis 7.30 Uhr von maximal ~63 FZ. Die Zeitverluste im Stau betragen insgesamt ~435 FZ h in der Morgenspitze. Sie sind etwas grösser als bei der isolierten Rampenbewirtschaftung, weil in der weiter stromaufwärts liegenden Zufahrt auch Verkehr bewirtschaftet wird, dessen Ziel nicht der Engpass der HLS ist, sondern die Ausfahrt davor.

mit integrierter Rampenbewirtschaftung

Zeit	Anschluss B, stromaufwärts vom Engpass							Anschluss A, Engpass										
	Zufluss HLS in Richtung Engpass [Fz/15']	Zufluss HLS in Richtungs Ausfahrt Anschluss A [Fz/15']	Zufluss Einfahrt in Richtung Engpass [Fz/15'] ohne Drosselung	Zufluss Einfahrt in Richtungs Ausfahrt Anschluss A [Fz/15'] ohne Drosselung	Zufluss Einfahrt in Richtung Engpass [Fz/15'] mit Drosselung	Zufluss Einfahrt in Richtungs Ausfahrt Anschluss A [Fz/15'] mit Drosselung	Stau Einfahrt [Fz] Anschluss B	Abfluss Ausfahrt [Fz/15'] ohne Drosselung der Zufahrt im Anschluss B	Abfluss Ausfahrt [Fz/15'] mit Drosselung der Zufahrt im Anschluss B	Zufluss HLS [Fz/15'] ohne Drosselung	Zufluss HLS [Fz/15'] mit Drosselung	Zufluss Einfahrt ohne Drosselung [Fz/15']	Zufluss Einfahrt mit Drosselung [Fz/15']	Zuflusssumme mit Drosselung der Einfahrten [Fz]	Abfluss HLS [Fz/15']	Abflusssumme HLS [Fz]	Stau HLS [Fz]	Stau Einfahrt [Fz] Anschluss A
6:00														0		0		
6:15	570	114	80	20	80	20		134	134	650	650	170	170	820	820	820		
6:30	600	120	140	35	140	35		155	155	740	740	260	260	1820	1000	1820	0	0
6:45	840	168	160	40	160	40	0	208	208	1000	1000	300	50	2870	950	2770	100	250
7:00	590	118	160	40	110	28	63	158	146	750	700	300	200	3770	1000	3770	0	350
7:15	550	110	150	38	170	43	38	148	153	700	720	280	280	4770	1000	4770		350
7:30	550	110	130	33	160	40	0	143	150	680	710	260	290	5770	1000	5770		320
7:45	530	106	120	30	120	30		136	136	650	650	240	350	6770	1000	6770		210
8:00	510	102	110	28	110	28		130	130	620	620	220	380	7770	1000	7770		50
8:15	520	104	100	25	100	25		129	129	620	620	200	250	8640	870	8640		0
8:30	510	102	90	23	90	23		125	125	600	600	180	180	9420	780	9420		
8:45	520	104	80	20	80	20		124	124	600	600	160	160	10180	760	10180		
9:00	460	92	70	18	70	18		110	110	530	530	150	150	10860	680	10860		
	6750	1350	1390	348	1390		100	1698	1698	8140		2720	2720		10860		100	1530



## 5.7 Projekt

### 5.7.1 Verkehrserfassung

Der Verkehrszustand auf der Hauptfahrbahn der HLS wird im Normalfall unmittelbar stromaufwärts vom Engpass querschnittsbezogen erfasst. Um Stau auf eine bestimmte Länge zu begrenzen genügt eine Verkehrserfassung am definierten Stauende vor dem Engpass der HLS.

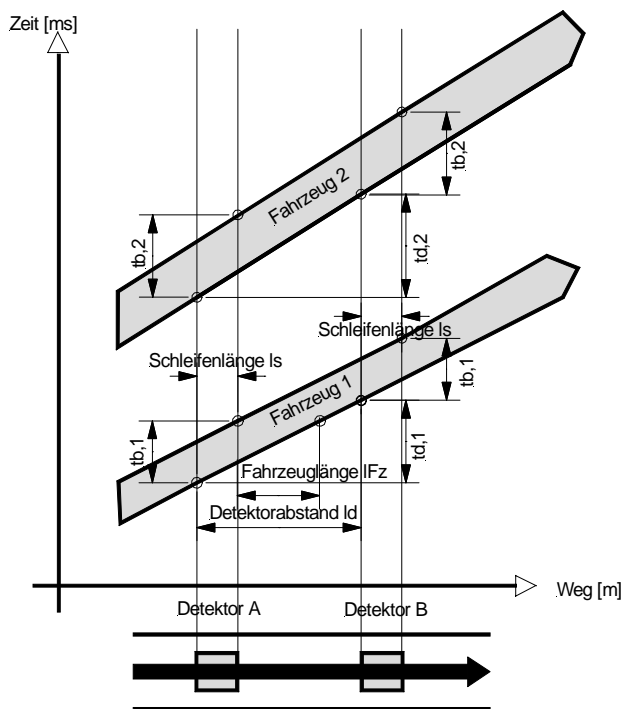
Es empfehlen sich Doppelschleifen pro Fahrstreifen und Messintervalle von 30 Sekunden. Gemessen werden pro Intervall Belegungszeit, Anzahl Fahrzeuge und Fahrzeiten zwischen den Doppelschleifen. Ausgewertet werden Verkehrsmenge, Belegungsgrad, Geschwindigkeit und mittlere Fahrzeuglänge. Die Auswertungen werden überprüft.

Messewerte pro Intervall t:

Belegungszeit  $\sum tb_{A,B}$  [s] an den Detektoren A und B,

Anzahl Fahrzeuge  $n_{A,B}$  an den Detektoren A und B,

Fahrzeiten  $\sum td$  [s] zwischen den Detektoren A und B.



Auswertungen pro Intervall t:

Verkehrsmenge [FZ/30s]  $Q_{A,B}(t) = n_{A,B}$

Belegungsgrad [%]  $B_{A,B}(t) = 100 \cdot \frac{\sum tb_{A,B}}{t}$

Geschwindigkeit [km/h]  $V(t) = \frac{3.6 \cdot ld}{\sum td}$  mit dem Detektorabstand ld [m]

mittlere Fahrzeuglänge [m]  $lFZ_{mittel} = ld \cdot \frac{\sum tb_A}{\sum td} - ls$  mit der Schleifenlänge ls [m].

Überprüfungen pro Intervall t:

Menge [FZ/30s]  $Q_A(t) \cong Q_B(t)$

Belegungsgrad [%]  $B_A(t) \cong B_B(t)$

Geschwindigkeit [km/h]  $V(t) = \frac{3.6 \cdot ld}{\sum td} \cong \frac{Q_A(t) \cdot 120 \cdot (ls + lFZ_{mittel})}{10 \cdot B_A(t)}$

Im untergeordneten Strassennetz empfiehlt sich die Überwachung der separaten Stauräume für den auf die HLS zufahrenden Verkehr mit Staudetektoren.

### 5.7.2 Verkehrsanalyse

Auf Grund der Verkehrserfassung auf der Hauptfahrbahn der HLS ist zwischen den Verkehrszuständen staufrei und Stau vor dem Engpass zu unterscheiden. Dabei sind eine hohe Erkennungsrate, eine niedrige Fehlalarmrate und eine kurze Erkennungszeit von Stau nötig.

Es eignet sich z.B. ein Algorithmus, der vom freien bis zum stark gebundenen Verkehrszustand die Beziehung zwischen Verkehrsmenge und Belegungsgrad in einem Fundamentaldiagramm nachbildet (der Belegungsgrad ist proportional zur Dichte). Die Grenze  $Q_g(t)$  zwischen staufrei und Stau folgt dann aus der Verkehrsmenge  $Q(t)$ , dem Belegungsgrad  $B(t)$  und den Parametern  $\alpha$  und  $\beta$  zu  $Q_g(t) = \alpha \cdot B(t)^\beta \cdot R(t)$ . Weil diese Schwelle mit wechselnden Witterungsbedingungen schwankt, lässt sie sich im staufreien Zustand mit  $R(t) = 0.95 \cdot R(t-1) + 0.05 \cdot Q_g(t)/Q(t)$  anpassen.

Neben dieser primären eignen sich als sekundäre Grenzen zwischen den Verkehrszuständen staufrei und Stau der Belegungsgrad  $B(t)$  allein, und die Geschwindigkeit  $V(t)$  allein. Die Geschwindigkeitsmessung hängt von zwei funktionierenden Detektoren pro Fahrstreifen ab und ist deshalb störungsanfällig. Bei falschen Geschwindigkeitsdaten sollen deshalb im Algorithmus die Geschwindigkeitsschwellen entfallen.

Diese drei Grenzen sind an die spezifischen Verhältnisse auf dem Normal- bzw. auf dem Überholstreifen der HLS zu adjustieren.

Im untergeordneten Strassennetz wird die Überfüllung der separaten Stauräume für den auf die HLS zufahrenden Verkehr erfasst.

### 5.7.3 Steuerung

Bei einer Staubildung auf der HLS soll der Verkehr der ersten Einfahrt stromaufwärts von einem Leistungengpass zunächst maximal gedrosselt werden. Dies solange, bis während einer adjustierbaren Zahl von Intervallen der Verkehrszustand staufrei erkannt wird. Anschliessend wird die Drosselung stufenweise verringert, bis zum Abschalten der Rampenbewirtschaftung. Wird während dieser stufenweisen Erhöhung des Zuflusses auf die HLS wiederum Stau auf der HLS erkannt, so wird maximal gedrosselt. Mit Beharrungstests ist zu vermeiden, dass die Steuerung flattert.

Sprechen während der Drosselung der Zufahrt die Staudetektoren im untergeordneten Strassennetz an (in den separaten Stauräumen für den auf die HLS zufahrenden Verkehr), dann kann eine integrierte Rampenbewirtschaftung zusätzliche, stromaufwärts liegenden Einfahrten im Korridor der HLS in die Drosselung einbeziehen.

### 5.7.4 Signalanzeige

Die Signalanzeige der Rampenbewirtschaftung erfolgt im Normalfall über Rampen- Lichtsignalgeber in der Zufahrt. Der Abstand zwischen Lichtsignalgeber und Beginn des Beschleunigungstreifens der HLS soll mehr als 50m betragen, denn in der Einfahrt selbst gilt der Vortritt der Hauptfahrbahn.

Der Lichtsignalgeber zeigt während der Bewirtschaftung eine Grünzeit von 2 Sekunden, eine variierende Rotzeit und keine Gelb oder Gelb- Rotzeit an. Wegen der Akzeptanz durch die Fahrzeuglenker liegt die maximale Rotzeit bei ca. 16 Sekunden und der Zyklus bei ca. 18 Sekunden, dies erlaubt eine maximale Drosselung der Zufahrt auf ca. 200 FZ/h. Eine Rampenbewirtschaftung ist deshalb nur denkbar, wenn die Verkehrsbelastung der Zufahrt deutlich über 200 FZ/h liegt. Beim stufenweisen Erhöhen des Zuflusses auf die HLS wird die Rotzeit bis auf 2 Sekunden reduziert, die minimale Drosselung liegt dann bei ca. 900 FZ/h.

Zusätzlich zum Lichtsignalgeber empfiehlt sich die Anordnung von Wechselsignalen mit den Begriffen „Stau“ bzw. „1 Auto“ und ein Gelblinker. Während dem ganzen Zyklus des Lichtsignalgebers zeigt eines der zusätzlichen Wechselsignale den Begriff „Stau“ an, das zweite zeigt während der Grünzeit den Begriff „1 Auto“.

Wird schliesslich der Verkehrszustand staufrei erkannt, dann wird der Lichtsignalgeber zusammen mit den zwei zusätzlichen Wechselsignalen der Rampenbewirtschaftung ausgeschaltet.

Ist die Rampe zwischen einem Knoten auf dem untergeordneten Strassennetz und dem Beschleunigungsstreifen an der HLS zu kurz, um einen Rampen-Signalgeber anzubringen, dann kann die Rampenbewirtschaftung über eine Lichtsignalanlage im Knoten erfolgen.

Solange kein Stau auf der HLS entsteht, teilt die Lichtsignalanlage in einem passenden Zyklus die Grünzeiten proportional zum Sättigungsgrad auf den untergeordneten Zufahrten auf.

Bei Stau auf der HLS wird der Verkehr auf den zur HLS führenden Zufahrten gedrosselt, indem dort Mindestgrünzeiten von 4 Sekunden angezeigt werden, ohne den Zyklus zu reduzieren. Dies dauert solange, bis wieder der Verkehrszustand staufrei auf der HLS erkannt wird. Anschliessend werden die Grünzeiten der zur HLS führenden Zufahrten stufenweise erhöht.

Die Rampenbewirtschaftung einer Zufahrt zur HLS über eine Lichtsignalanlage in einem benachbarten Knoten auf dem untergeordneten Strassennetz kann die zufahrenden Fahrzeugkolonnen nicht in dem Mass in einzelne Fahrzeuge zerteilen, wie ein Rampen-Lichtsignalgeber in der Zufahrt.

## 5.8 Evaluation

Die Rampenbewirtschaftung wirkt sich vor Allem auf die Verkehrssicherheit (Unfälle, Unfallraten) und auf den Verkehrsablauf (Belastungen, Geschwindigkeiten, Unfälle, Stau und Zeitverluste) auf der Hochleistungsstrasse und im untergeordneten Strassennetz aus.

Um die Wirksamkeit aus der Sicht der Verkehrssicherheit zu beurteilen, sind Unfalldaten auf der HLS und im untergeordneten Strassennetz mindestens während je einem Jahr ohne und mit Rampenbewirtschaftung zu vergleichen.

Um die Wirksamkeit aus der Sicht des Verkehrsablaufs bewerten zu können, sind Verkehrsmessungen ohne und mit Rampenbewirtschaftung notwendig. Zusätzlich zur angeführten Verkehrserfassung der Rampenbewirtschaftung empfehlen sich Messungen der Zuflussbelastungen stromaufwärts vom Stau.

Mit den Messwerten im Zufluss während dem Intervall  $t$ :

$q$  Zufluss [FZ/t]  
 $v_q$  freie Geschwindigkeit [km/t] im Zufluss

und den Messwerten knapp vor dem Engpass während dem Intervall  $t$  (unmittelbar stromaufwärts vom Engpass bzw. am definierten Stauende werden bei Stau die Abflussleistungen gemessen):

$l$  Abfluss [FZ/t]  
 $v_l$  Geschwindigkeit [km/t] im Stau

lassen sich Stau, Staulängen und Zeitverluste am Ende des Intervalls  $t$  abschätzen:

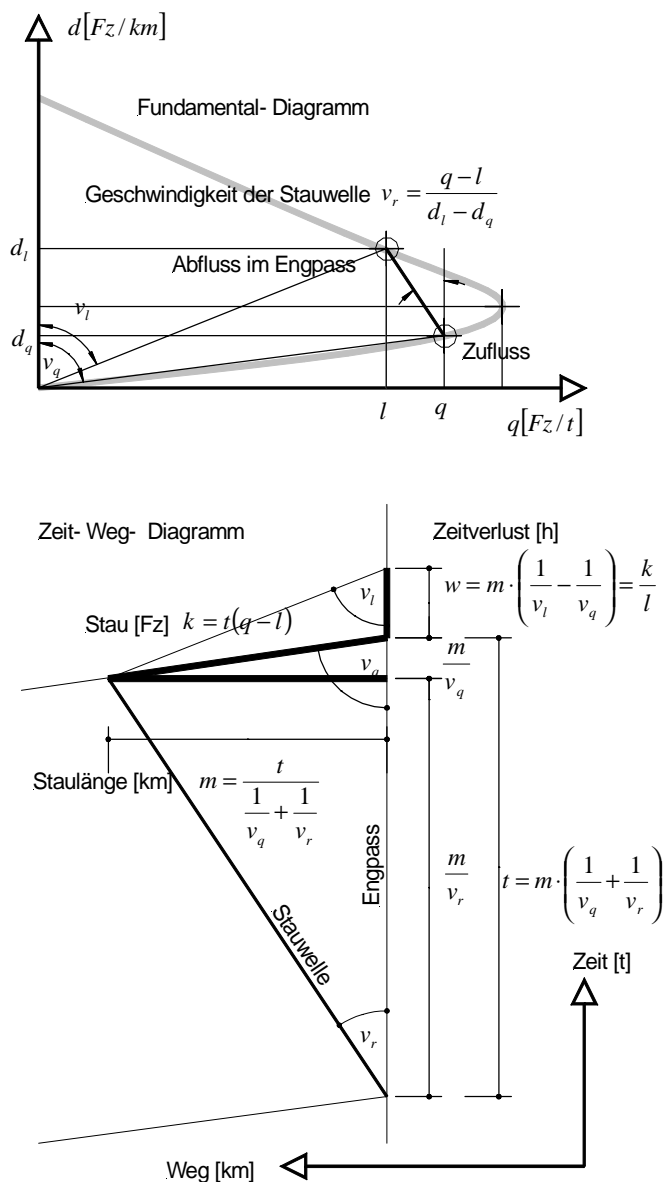
$k = t(q - l)$  Stau  $k$  [FZ]

(die Messungen im Abfluss sind dabei gegenüber jenen im Zufluss um die Reisezeit  $s/v_q$  über den untersuchten Abschnitt  $s$  versetzt).

$w = \frac{k}{l}$  Zeitverlust  $w$  [t]

$m = \frac{w}{\left(\frac{1}{v_l} - \frac{1}{v_q}\right)}$  Staulänge  $m$  [km].

Die Abbildung 16 leitet dazu die Formeln ab:



Der volkswirtschaftliche Nutzen der Rampenbewirtschaftung für den Verkehr ergibt sich aus dem monetären Quantifizieren von Zeitverluste und Unfallfolgen ohne und mit Rampenbewirtschaftung. Kosten der Zeitverluste und der Unfälle sind dabei die wesentlichen Faktoren. Betriebskosten der Fahrzeuge und Schadstoffkosten sind wesentlich niedriger und werden in einer groben Schätzung nicht berücksichtigt.

Unfall- Kostensätze liefert die VSS Norm 640006 „Strassenverkehrsunfälle, Lokalisierung und Rangierung von Unfallschwerpunkten“, 1998.

Unterlagen über Zeitverlust- Kostensätze bringen:

- „Kosten - Wirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen im Verkehr“, Forschungsauftrag 41/91 auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure SVI, INFRAS, Dezember 1998
- „Standardisierte Bewertung von Verkehrsinvestitionen BS“, 1993
- „Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf Strasse EWS“, 1997.