

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

Stauzeit statt Staulänge

Durée de bouchon au lieu de longueur de bouchon

Queuing Time Instead of Queue Length

Rapp Trans AG
SNZ Ingenieure und Planer AG

Eugen Meier-Eisenmann, dipl. Ing. ETH/SIA/SVI, Dr. sc. techn.
Roger Laube, dipl. Ing. ETH/SIA/SVI
Ivan Belopitov, dipl. Ing. UACG/SVI

VSS - Expertenkommission:

Fredi Bühlmann (Präsident)
André Robert-Grandpierre
Beat Schlup
Gianni Brugnoli
Heinz Etter
Marc Laube
Mario Gagliardi
Urs Bleile

Forschungsauftrag VSS 2001/301 im Auftrag des Schweizerischen Verbandes
der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Oktober 2004

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
Résumé	3
Summary	5
1 Ausgangslage und Ziel der Forschung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Kern der Forschung	7
1.3 Nutzen der Forschung	8
1.4 Hinweise zum Vorgehen	8
2 Definitionen und Begriffe.....	11
2.1 Zustände des Verkehrsflusses.....	11
2.2 Definitionen für die vorliegende Arbeit	14
3 Methoden zur Berechnung der Reisezeitverluste	15
3.1 Modellansätze.....	15
3.2 Mikroskopische Modelle.....	16
3.3 Makroskopische Modelle	17
3.4 Berechnung der Verlustzeit.....	17
3.5 Automatische Stauanalyse	19
4 Informationsübermittlung und Systeme.....	21
4.1 Datenerfassung und -übertragung	21
4.2 Datenaufbereitung	23
4.3 Datenverteilung.....	24
5 Feldversuche zur Verkehrsinformation „Stauzeit“ und „Staulänge“	27
5.1 Ziele.....	27
5.2 Nutzen	27
5.3 Vorgehen, Verkehrszustände.....	27
5.4 Feldversuche	28
5.5 Feldversuch 1: A53 Hegnau – Brüttsellerkreuz	30
5.5.1 Übersicht und Situation	30
5.5.2 Versuchsanordnung Referenzzustand ZST 1	33
5.5.3 Versuchsanordnung Information Staulänge – ZST 2	34
5.5.4 Versuchsanordnung Information Stauzeit – ZST 3	36
5.6 Feldversuch 2: A1 Effretikon - Winterthur Töss	38
5.6.1 Übersicht und Situation	38
5.6.2 Versuchsanordnung Referenzzustand ZST 1	40
5.6.3 Versuchsanordnung Information Staulänge – ZST 2	41
5.6.4 Versuchsanordnung Information Stauzeit – ZST 3	42

6	Resultate und Analyse	43
6.1	Hypothesen	43
6.2	Verifizierung der Hypothesen mittels den Ergebnissen aus den beiden Versuchen.....	45
6.2.1	Hypothese 1: Verkehrsinformation hat signifikante Wirkung	46
6.2.2	Hypothese 2: Zusammenhang zwischen dem bekannt gegebenen Staumass und der Anzahl beeinflusster Fahrzeuge	49
6.2.3	Hypothese 3: Angabe Staulänge ist „abschreckender“ als Stauzeit	55
6.2.4	Hypothese 4: Standort der Information	56
7	Beispiel zur Berechnung des Reisezeitverlustes.....	61
8	Einsatz der VMS/WTA (Variable Message Signs / Wechseltextanzeige), Nutzen und Qualität	63
9	Erkenntnisse aus den Feldversuchen und Empfehlungen	68
Anhänge	A1
Anhang 1	Signifikanztest des Bestimmtheitsmasses – F-Test (0.95)	A1
Anhang 2	Literaturverzeichnis	A2

Zusammenfassung

Der Forschungsauftrag Stauzeit statt Staulänge behandelt den Zusammenhang zwischen Art und Inhalt von Verkehrsinformationen und dem Verhalten von Verkehrsteilnehmern. Das Ziel der Forschungsarbeit war die Auswirkungen und den Nutzen dieser Informationen zu untersuchen sowie Methoden und Systemanforderungen zu definieren um die Reisezeitverluste zuverlässig festzulegen.

Die Ursachen und die Zusammenhänge bei der Entstehung von Stau sind seit längerem bekannt. Der Fahrzeugstau beginnt, wenn die Verkehrsmenge vor der Engstelle grösser als deren Leistungsfähigkeit ist. Weitere Faktoren sind die Zusammensetzung der Verkehrsmenge, die örtlichen Gegebenheiten, die Sichtverhältnisse u.a. Für die Berechnung von Stauzeiten und Reisezeitverlusten eignen sich vor allem makroskopische Modelle zur Abbildung des Verkehrsflusses, da die Eingangsgrössen zur Berechnung (Verkehrsstärke, mittlere Geschwindigkeit) an den verschiedenen Detektoren erfasst werden können. In der vorliegenden Arbeit wird ein einfacher und ausreichend genauer Algorithmus für planerische Zwecke vorgeschlagen, mit welchem sich die Verlustzeit berechnen lässt.

Von Interesse sind aber insbesondere die Erkenntnisse von Verkehrsinformationen über Verlustzeiten. Die Verhaltensänderungen der Verkehrsteilnehmer wurden in Feldversuchen untersucht und daraus Empfehlungen für den Einsatz solcher Informationen abgeleitet.

Die Verkehrsinformation der Stauzeit, also der Reisezeit inkl. der Warte- oder Verlustzeit auf einem Streckenabschnitt, ermöglicht es im Gegensatz zur Angabe der Staulänge, die Fahrzeit besser zu kalkulieren. Aus den Feldversuchen liessen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Strassenseitige Verkehrsinformation on-trip über Stausituationen führte im Vergleich zu einer Situation ohne diese Zusatzinformation zu vermehrtem Ausweichen auf das untergeordnete Strassennetz. Deswegen sind zur Ermittlung der Auswirkungen vorgängige ortsbezogene Feldversuche mit mobilen Wechseltextanzeigen notwendig.
Bei geringen Werten der „Staulänge“ oder „Stauzeit“ hat die Verkehrsinformation keine oder eine sehr kleine Wirkung.
- Die Verhaltensänderung hängt dabei massgeblich vom durch die Information vermittelten Stauausmass ab. Die Ankündigung hoher Stauzustände hat im untersuchten Streckenabschnitt zeitweise zu Ausweichfahrten von bis zu 25% des Gesamtverkehrs geführt.
Die Auswirkungen der Verkehrsinformation sind aber nicht übertragbar, sondern von der jeweiligen Situation und allfälligen alternativen Verbindungen abhängig.
- Bei identischen Stauzuständen führt die schlechter einschätzbare Information der Staulänge zu mehr Ausweichverkehr als die Information der Stauzeit.
Eindeutig geeigneter ist deshalb die Information der Stauzeit. Der Ausweichverkehr ist deutlich geringer. Die Information der Reisezeit on-trip führt aber ebenfalls zu Ausweichverkehr.

- Grundsätzlich sollte der Verkehr so lang wie möglich flüssig auf dem Hochleistungsstrassennetz geführt werden (mit Rampenbewirtschaftung, Verkehrsbeeinflussungssystemen etc.). Die Anwendung zusätzlicher Verkehrsinformationen on-trip kann zu unerwünschtem Ausweichverkehr führen. Bei der Standortwahl für die Informationsübermittlung ist dies zu berücksichtigen. Eine Eignung ist an Standorten denkbar, wo bereits heute Ausweich-/Schleichverkehr auftritt.
- Die Verkehrsinformation - respektive das zuverlässige Erkennen und Signalisieren von Stau - leistet im Weiteren einen wesentlichen Beitrag an die Verkehrssicherheit auf Hochleistungsstrassen

Obschon die Parameter zur Berechnung des Staus, der Staudauer wie des individuellen Reisezeitverlusts bekannt sind, ist es aufgrund der Zuverlässigkeit der Eingangsdaten oftmals sehr schwierig eine exakte Berechnung der Verkehrsstaus durchzuführen. Den strassenseitigen Erfassungssystemen kommt bei den exakten Berechnungen über die Stauentwicklung und bei Prognosen über die Dauer des Staus in Zukunft eine grosse Bedeutung zu.

Résumé

Le mandat de recherche „durée de bouchon“ au lieu de „longueur de bouchon“ traite la relation entre la forme et le contenu des informations routières et le comportement des usagers de la route. Le but de ce travail de recherche a été d'examiner les effets et l'utilité de ces informations, ainsi que de définir des méthodes et des systèmes fiables pour la détermination des pertes de temps de parcours.

Les causes et les origines de la formation de bouchons sont connues depuis longtemps. Le bouchon commence au moment où le volume de trafic avant un rétrécissement est plus grand que la capacité de celui-ci. D'autres facteurs peuvent être entre autre la composition du trafic, les conditions locales et la visibilité. Pour le calcul des durées de bouchons et des pertes de temps de parcours, des modèles macroscopiques se prêtent avant tout pour représenter les flux de trafic, car les données de base peuvent être saisies aux différents détecteurs (volume de trafic, vitesse moyenne).

Dans le présent rapport, un algorithme simple mais suffisamment précis est proposé dans un but de planification à l'aide duquel il est possible de calculer les pertes de temps.

Un grand intérêt représente la prise en compte des pertes de temps issues d'informations routières. Le changement de comportement des usagers de la route a été analysé par des tests in situ, ainsi des recommandations pour l'application de telles informations ont pu être élaborées.

L'information routière sur les temps de bouchon, c'est-à-dire le temps de parcours, y compris le temps d'attente et de perte sur un tronçon permet, contrairement à l'indication de la longueur de bouchon, de mieux calculer le temps de parcours. Les résultats suivants ont été constatés suite à ces essais :

- Les informations routières on-trip sur les bouchons ont amené, par rapport à une situation sans informations complémentaires, à un report plus important sur le réseau secondaire. De ce fait, il est nécessaire de faire des tests locaux à l'aide de panneaux à messages variables mobiles.
Lors de valeurs moindres de la longueur ou de la durée du bouchon, l'information routière n'a que peu ou pas d'effet.
- Le changement de comportement dépend alors essentiellement de l'information fournie quant au bouchon. L'annonce de gros bouchons sur le tronçon examiné a eu comme résultat des changements d'itinéraire jusqu'à environ 25% du trafic total.
Les effets de l'information routière ne sont toutefois pas reportables, mais dépendent de chaque situation et des itinéraires alternatifs.
- Pour des situations de bouchon identiques, l'information d'une mauvaise estimation de la longueur de bouchon incite à plus de changements d'itinéraire que l'information de la durée de bouchon.
Il ressort clairement que l'information sur la durée de bouchon est plus adaptée. Le changement d'itinéraire est nettement plus petit. L'information du temps de parcours on-trip incite également au changement d'itinéraire.

-
- Par principe, le trafic doit être maintenu de manière fluide sur les autoroutes aussi longtemps que possible (à l'aide de la gestion des accès de systèmes de gestion de trafic, etc.). L'utilisation d'informations routières complémentaires on-trip peut engendrer un changement d'itinéraire non désiré. Lors de la transmission de l'information il faut en tenir compte. Une utilisation est pensable aux endroits où existent déjà actuellement un trafic d'évitement et un trafic de délestage.
 - L'information routière – respectivement la reconnaissance fiable et le signalement de bouchons – contribuent de manière importante à la sécurité du trafic sur les autoroutes.

Malgré que les paramètres pour l'évaluation de bouchons, de la durée de bouchon et la perte de temps individuelle soient connus, il est cependant très difficile d'effectuer des calculs de bouchon très précis, car les données de base ne sont pas toujours fiables. A l'avenir, les systèmes de saisie des données routières prennent de plus en plus d'importance pour l'évaluation exacte quant à la formation de bouchons et les pronostics de durée de bouchons.

Summary

The research project on "queuing time instead of queue length" handled the relationship between the type and content of traffic information and the behaviour of road users. The aim of the research work was to investigate the effects and the uses of this information, and to define methods and system requirements which would allow to be made reliable assessments of journey time losses.

The causes and relationships involved in the forming of queues have been known for a long time. The traffic queue begins when the volume of traffic before the bottleneck is greater than the bottleneck's discharge capacity. Other factors include the composition of the traffic streams, local conditions, visibility etc. The most suitable models for the calculation of queuing times and journey time losses are macroscopic models which illustrate the traffic flow, since the initial data (traffic volume, average speed) can be recorded by various detectors.

The present work suggests a simple algorithm which is sufficiently adequate for planning purposes, and which can be used to calculate the lost time.

The findings concerning traffic information on lost time are of particular interest for the research work. Field trials were used to investigate the changes in behaviour of road users, and the results assessed to derive recommendations for the use of such information.

Traffic information on queuing time - that is, the journey time including the waiting or lost time for a particular section of road - enables a better estimation of travel time in contrast to dealing with details of queue length. The following conclusions can be derived from the field trials:

- Roadside, "on-trip" traffic information about queuing situations led to increased re-routing onto the lower level road network, compared with situations where this additional information was not available. For this reason, preliminary local field trials using variable message display panels are necessary in order to investigate the effects of the above.
The traffic information has no or only very little effect where the values for "queue length" or "queuing time" are low.
- The change in behaviour here is strongly dependent on the size of the queue as provided by the traffic information. The information on existing increased queuing conditions for the investigated road sections led at times to diverted trips of up to 25% of the total traffic.
The effects of the traffic information cannot however be applied to other situations, but are dependent on the particular situation in each case and on the availability of alternative routes.
- For identical queuing conditions, the information on queue length, which is more difficult to be evaluate, leads to more diverted traffic than the information on queuing time.
The information on queuing time is therefore clearly more suitable. The amount of diverted traffic is much lower. Information on "on-trip" journey time however also leads to diverted traffic.

- In principle, traffic should be kept flowing on the motorway network as long as possible (with ramp metering control systems, traffic control systems etc.). The provision of additional, "on-trip" traffic information can lead to undesirable diverted traffic. This should be considered when selecting the site where the information is to be conveyed. Those sites could be considered suitable where diverted / slow-moving traffic has already occurred.
- Traffic information – or more precisely the reliable recognition and indication of queues – also makes a significant contribution to traffic safety on motorways.

Although the parameters for the calculation of the queue, queuing duration and the individual journey time loss are known, it is often very difficult to make an exact calculation of the traffic queue, because of the questionable reliability of the input data. Roadside data capture systems will become much more important in future for precise calculations on the development of queues and in forecasts of the duration of the queue.

1 Ausgangslage und Ziel der Forschung

1.1 Ausgangslage

Als Folge des anwachsenden Verkehrs nehmen die Behinderungen auf den übergeordneten Strassen allein schon wegen der zeitweise Überlastung von einzelnen Streckenabschnitten zu. In noch grösserem Ausmass stören Baustellen und Unfälle den reibungslosen Verkehrsablauf und verursachen Rückstaus. Die Verkehrsteilnehmer werden in solchen Fällen seit einigen Jahren durch Radiomeldungen und seit kurzem auch durch Wechseltextsignale allenfalls über die Art der Verkehrsstörung und über die km-Länge des Rückstaus informiert. Da die Fahrzeuglenker zumeist nicht wissen, welche zeitliche Auswirkung der gemeldete Störfall hat, werden sie möglicherweise veranlasst, (unerwünschte) Ausweichrouten zu benutzen. **Zur Förderung einer situationsgerechteren Verhaltensweise der Fahrzeuglenker könnte deshalb anstelle der Staulänge die Stauzeit gemeldet werden, genau genommen die unter Berücksichtigung der Verkehrsstörung zu erwartende Reisezeit.** Dadurch soll auch die Gesamtreisezeit besser kalkuliert werden können. Wartezeiten werden momentan lediglich bei Verladestationen und bei Grenzübergängen sowie seit neustem am Gotthard gemeldet.

1.2 Kern der Forschung

Der Forschungsauftrag „Stauzeit statt Staulänge“ behandelt im Kern einen zentralen Aspekt der Verkehrsinformation, welcher ermöglicht, die Fahrzeit besser zu kalkulieren.

Nicht erforscht ist bislang der **Zusammenhang zwischen der Art und des Inhalts von Verkehrsinformationen und dem Verhalten von Verkehrsteilnehmern**. So kann nicht beurteilt werden, inwiefern eine Staumeldung mit der Angabe individueller Reisezeitverluste auch eine Verhaltensveränderung beim Verkehrsteilnehmer bewirkt, also welches der Nutzen einer solchen Information ist.

Grundsätzlich sind dabei 4 Verhaltensänderungen denkbar:

- zeitliche Verlagerung der Fahrt,
- örtliche Verlagerung der Fahrt,
- Wechsel des Verkehrsmittels,
- Verzicht auf die Fahrt.

Die Wahl dürfte dabei massgeblich von den Kriterien Art, Ort, Zeit und Inhalt der Informationsübermittlung zusammenhängen (insbesondere pre-trip und/oder on-trip).

Ziel der Forschungsarbeit ist:

- Die Auswirkungen und der Nutzen dieser Informationen zu untersuchen.
- Methoden, Vorgehen und Systemanforderungen zu definieren, welche erlauben, aufgrund der Ursache die Reisezeitverluste zuverlässig festzulegen.
- Die Möglichkeiten zur Informationsübertragung (d.h. in erster Linie der Stauzeit und Alternativrouten) an die Verkehrsteilnehmer (strassenseitig, fahrzeugseitig, vor und während der Reise) festzulegen.

1.3 Nutzen der Forschung

Aus der Forschungsarbeit werden folgende Erkenntnisse erwartet::

- Die Herleitung eines einfachen und ausreichend genauen Algorithmus für planerische Zwecke, mit welchem sich die Verlustzeit berechnen lässt.
- Aussagen zum Einsatz einer Verkehrsinformation über Verlustzeiten, d.h. wo ist eine solche Information sinnvoll und wo bringt sie keine Wirkung mit sich und welches sind die Gründe hierfür (Art oder Ort der Information, hoher Anteil an internationalem oder interkantonalem Verkehr u.a.).
- Aussagen zur Wirkung einer Verkehrsinformation über Verlustzeiten, d.h. wie verändern die Verkehrsteilnehmer ihr Verhalten und weshalb tun sie das.
- Vertiefere Erkenntnisse zum Einsatz von Verkehrsinformation generell und zur Verlustzeit im Speziellen.
- Aussagen zur Wirkung der Verkehrsinformation „Verlustzeit“ unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen und dadurch Erkenntnisse bei der Evaluation von möglichen Standorten für diese Massnahme.
- Grundlagen zur Beurteilung des Kosten-/Nutzenverhältnisses dieser spezifischen Verkehrsinformation und der hierzu erforderlichen Ausrüstung,
- Konkrete, ortsspezifische Erfahrungen mit der Versuchseinrichtung als Provisorium.

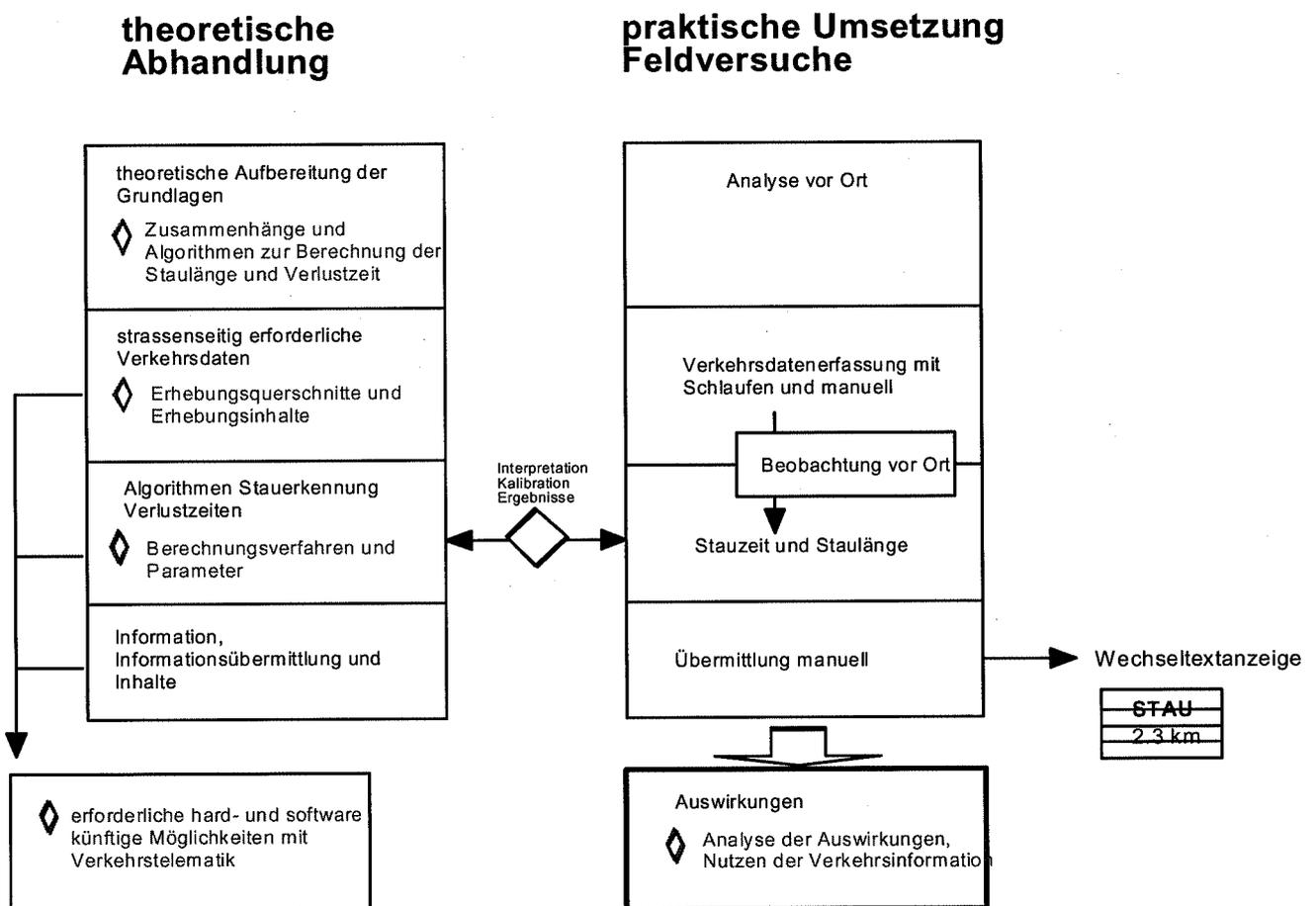
1.4 Hinweise zum Vorgehen

Die Forschungsarbeit wird auf zwei Ebenen abgehandelt (vgl. Abbildung 1). Die eine Ebene ist die Bearbeitung und Aufbereitung theoretischer Grundlagen und Erkenntnisse, die zweite Ebene die praktische Umsetzung und die Feldversuche. Die Bearbeitung erfolgte auf beiden Ebenen gleichzeitig, sodass die theoretischen Erkenntnisse und die praktischen Ergebnisse jeweils überprüft, analysiert und kalibriert werden konnten.

Im theoretischen Teil sollen die im Forschungsauftrag aufgeworfenen Fragen nach dem zweckmässigsten Algorithmus, die Anforderungen und Randbedingungen an die Datenerfassung und die Systemanforderungen behandelt werden. Hierbei fliessen auch die Erkenntnisse aus der praktischen Umsetzung in Feldversuchen ein.

In der praktischen Umsetzung in Feldversuchen wird der eigentliche Kern der Forschungsaufgabe untersucht: die Auswirkungen durch die verbesserte und zuverlässige Verkehrsinformation bezüglich kalkulierbarer Verlustzeiten. In der Folge interessiert auch der Nutzen dieser Information. (Rechtfertigt dieser die vergleichsweise teuren Investitionen in ein Verkehrsinformationssystem?).

Abbildung 1 Schematische Darstellung des Vorgehens



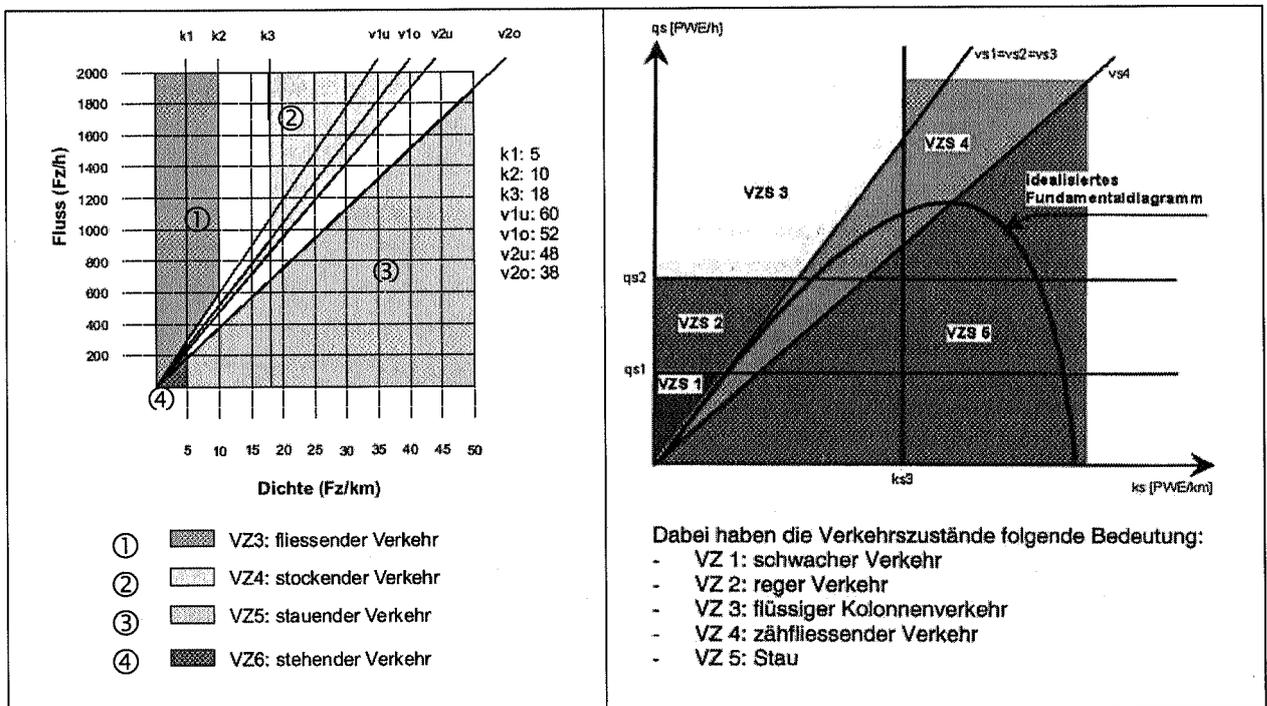
2 Definitionen und Begriffe

2.1 Zustände des Verkehrsflusses

Als Kriterien für den jeweiligen Verkehrszustand / die Verkehrsqualität werden die Reisegeschwindigkeit (das wichtigste Kriterium aus der Sicht der Verkehrsteilnehmer) und die „Flüssigkeit“ (Stetigkeit) des Verkehrsflusses beigezogen.

Die verschiedene Autoren quantifizieren auf verschiedene Weise die Verkehrszustände aufgrund vordefinierten Qualitätskriterien, der Örtlichkeit und der Bedingungen (Anzahl Fahrstreifen, Geschwindigkeitsbeschränkungen usw.). Die Übergänge zwischen den einzelnen Verkehrszuständen sind fließend. Nachstehende idealisierte Fundamentaldiagramme zeigen den Zusammenhang zwischen Verkehrsdichte k , Verkehrsstärke q und mittlere Geschwindigkeit V für die einzelnen Belastungszustände auf.

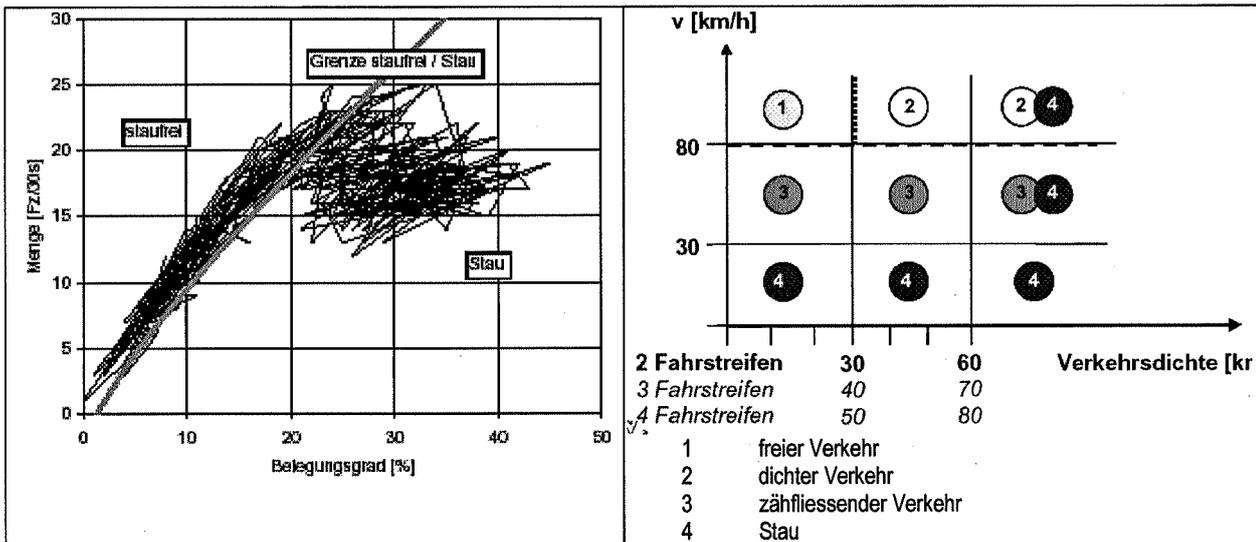
Abbildungen 2 Idealisierte Fundamentaldiagramme – Beispiele aus der Praxis



Quelle: EETS GmbH, Stauwarnanlage Belchen Südrampe, Schindellegi SZ

Quelle: R. Keller & Partner, A2 A8 Kirchenwaldtunnel, Verkehrstechnische Einrichtungen, Basel 2002

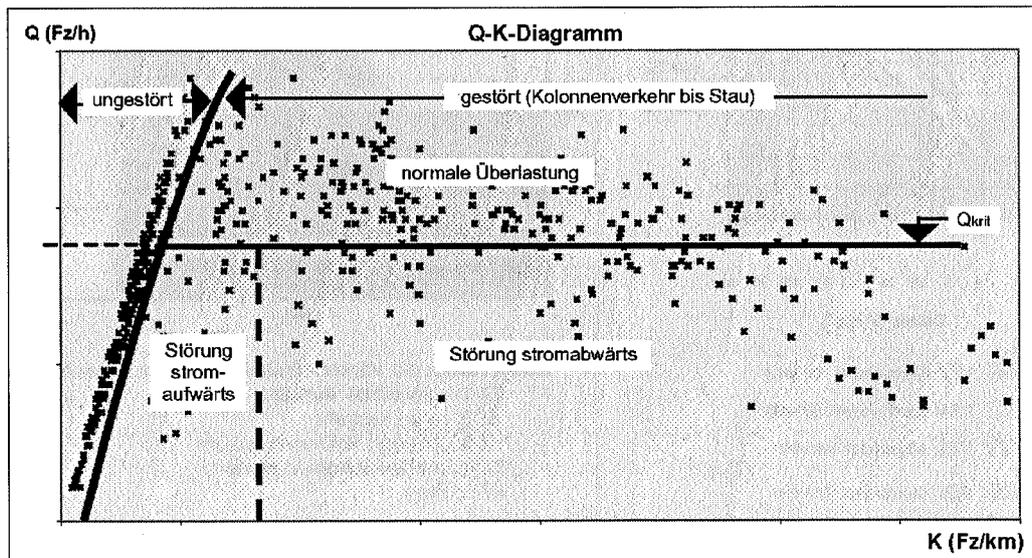
Abbildungen 3 Idealisierte Fundamentaldiagramme – Beispiele aus der Praxis



Quelle: Spacek P., Pitzinger P., Vorprojekt Verkehrsbeeinflussungssystem Zürich Nord, Zürich 2002

Quelle: Fellendorf M., Von der Empirie zum integrierten Verkehrsmanagement, Zürich 2001

Abbildungen 4 Idealisiertes Fundamentaldiagramm – Beispiel aus der Praxis



In der vorliegenden Arbeit werden folgende Zustandsformen und Schwellenwerte im Verkehrsablauf definiert. Auf eine feinere Unterteilung in Teilzustände in Funktion der Verkehrsstärke wird verzichtet.

Freier Verkehr (z.T. auch teilgebundener Verkehr):

Freier Verkehr zeichnet sich durch eine hohe Durchschnittsgeschwindigkeit (> 80 km/h) aus. Der Verkehrsablauf ist stabil, die Geschwindigkeiten zwischen den Fahrzeugen sind unterschiedlich. Dieser Zustand kann im idealisierten Fundamentaldiagramm als lineare Funktion dargestellt werden.

Stockender (dichter, synchronisierter) Verkehr:

In Folge des hohen Verkehrsaufkommens fällt die mittlere Geschwindigkeit unter 80 km/h. Die Geschwindigkeiten sind auf den einzelnen Fahrstreifen in etwa gleich. Die Verkehrsdichte als Quotient aus der Verkehrsstärke und der mittleren Geschwindigkeit ist stets höher, als im Zustand „freier Verkehr“. Der Zustand ist instabil und im Fundamentaldiagramm ist die Streuung der einzelnen Messwerte sehr gross. Die Verkehrsstärke ist noch relativ hoch.

Stau (stauender und stehender Verkehr):

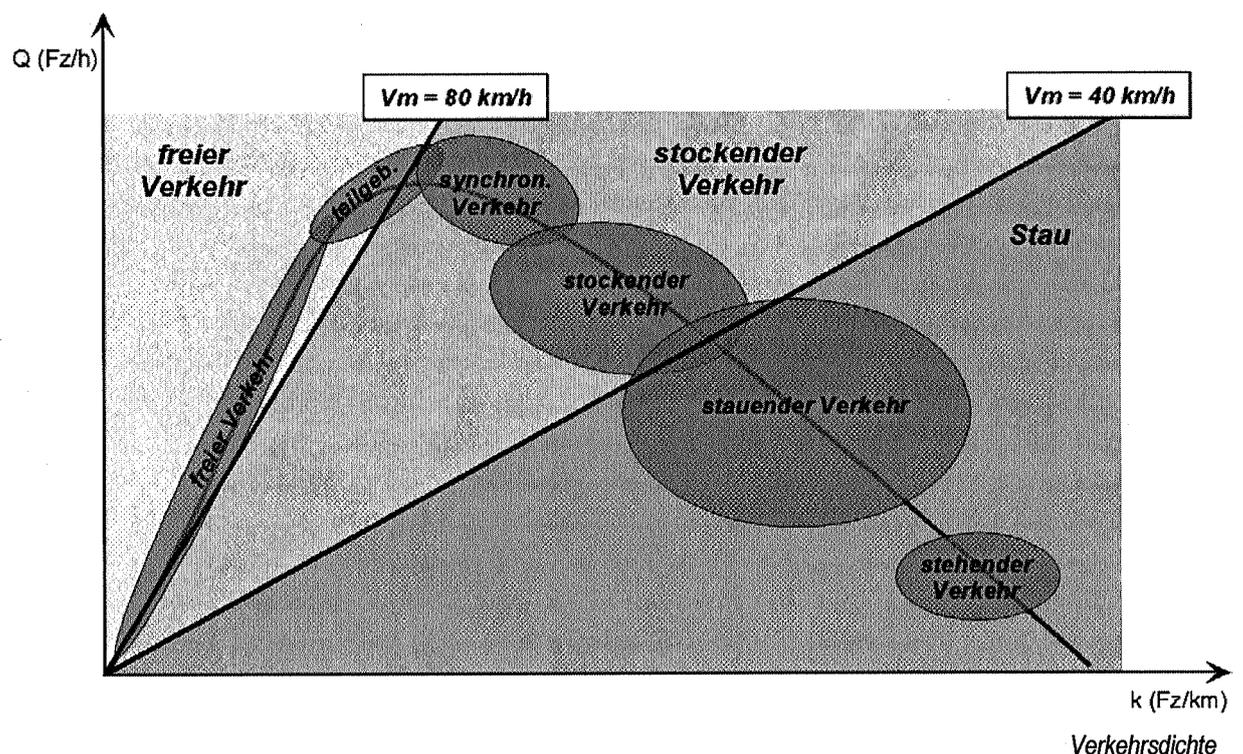
Die Merkmale des Zustands sind tiefere (unter 40 km/h) bis keine mittlere Geschwindigkeiten, die Wahrscheinlichkeit für Zusammenbrüche im Verkehrsablauf ist sehr hoch und die maximale Dichte ist erreicht. Die Verkehrsdichte als Indikator ist nicht mehr sinnvoll, da die Streuung der Werte sehr stark ist.

Die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen sind fließend.

Die angenommene Schwellenwerte sollten als Bereiche und als theoretische Annahmen betrachtet werden. Sie sind von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig, wie der Anzahl Fahrstreifen, die Geschwindigkeitsregelung, Längsneigung, Lastwagenanteil und der örtlich bedingten Situation (Ballungsräume, Verzweigungsbereiche, Ein- und Ausfahrten).

Die nachstehende Abbildung stellt die Hauptzustände dar.

Abbildung 5 Idealisertes Fundamentaldiagramm mit verschiedenen Verkehrszustände
Verkehrsstärke

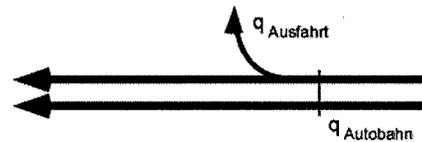


2.2 Definitionen für die vorliegende Arbeit

Ausfahrender Verkehr (A)

Unter „ausfahrendem Verkehr“ wird hier der Quotient (in %) aus der Belastung einer Ausfahrt und der Gesamtquerschnittsbelastung auf der Hochleistungsstrasse verstanden.

$$A = q_{\text{Ausfahrt}} / q_{\text{Autobahn}} [\%]$$



Ausweichender Verkehr (A+)

Der „ausweichende Verkehr“ ist die Differenz (in Prozent) zwischen „ausfahrendem Verkehr“ eines Zustandes (ZST 2 oder ZST 3) und dem Referenzzustand (ZST 1).

$$A^+ = A_{(\text{ZST 2 oder 3})} - A_{(\text{ZST 1})} [\%]$$

Referenzzustand (ZST 1)

Verkehrszustand bei den Feldversuchen mit „normaler“ Verkehrsinformation (Radio), ohne strassenseitige Information über Staulänge oder Stauzeit.

Reisegeschwindigkeit

Die Reisegeschwindigkeit ist der Quotient aus der Länge des zurückgelegten Streckenabschnitts und der dafür benötigten Zeit, inkl. aller unfreiwilligen Haltezeiten.

Reisezeit

Die Reisezeit ist die totale Fahrzeit auf einem zurückgelegten Streckenabschnitt, einschliesslich aller Haltezeiten.

Reisezeitverlust (tv)

Der Reisezeitverlust (Zeitverlust) ist die Differenz zwischen der Reisezeit im Zustand „Stau“ (d.h. der Stauzeit) und der Reisezeit im Zustand „freier Verkehr“.

Staulänge (Ls)

Die Staulänge ist die Länge des Verkehrsflusses im Zustand „Stau“ ab der Störung (bei den beiden Feldversuchen ab km 0.00). Erreicht der Verkehrsfluss die Geschwindigkeit $V = \text{ca. } 40 \text{ km/h}$ (gemäss Abbildung 5), wurde dieser Punkt als Stauende bezeichnet. Diese Orte wurden subjektiv anhand von Schätzungen und Bremsvorgängen erfasst.

Stauzeit (ts)

In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff „Stauzeit“ verwendet. Die Stauzeit ist die totale Fahrzeit auf einem zurückgelegten Streckenabschnitt oder die erwartete Reisezeit eines stromabwärts Streckenabschnitts im Zustand „Stau“. D.h. die Stauzeit setzt sich zusammen aus der Reisezeit im Zustand „freier Verkehr“ und der Reisezeitverlust (tv).

Zustände (ZST 2 und ZST 3)

Verkehrszustand bei den Feldversuchen mit strassenseitiger Information über Staulänge oder Stauzeit.

3 Methoden zur Berechnung der Reisezeitverluste

Die Ursachen und die Zusammenhänge bei der Entstehung von Stau sind seit längerem bekannt. Der Fahrzeugstau beginnt, wenn die Verkehrsmenge vor der Engstelle grösser als deren Leistungsfähigkeit ist. Diese hängt im weiteren von der Zusammensetzung der Verkehrsmenge, den örtlichen Gegebenheiten, den Sichtverhältnissen und den Wetterbedingungen ab.

Die Stauausbreitung und Stauauflösung kann unter vereinfachenden Annahmen vergleichsweise einfach aus der zeitlichen Veränderung der Verkehrsdichte und der Kapazität vor und nach der Engstelle ermittelt werden. Damit kann auch ohne Verwendung von Verkehrssimulationsmodellen relativ einfach eine Beurteilung des Verkehrsablaufs gemacht werden.

In einer Untersuchung¹ konnte aufgezeigt werden, dass in den letzten 10 Jahren die Staulängen in etwa konstant blieben, hingegen die zeitliche Dauer der Staus kontinuierlich angestiegen sind.

3.1 Modellansätze

Grundsätzlich sind gegenwärtig zwei Modellansätze zur Beschreibung des Verkehrsflusses und damit des Staus im Gebrauch:

- Makroskopische Modelle basieren auf dem kollektiven Verhalten der Fahrzeuglenker, der Verkehr wird mit den Kenngrössen Verkehrsdichte, mittlere Geschwindigkeit und Verkehrsstärke beschrieben.
- Mikroskopische Modelle basieren auf dem Verhalten der einzelnen Fahrzeuglenker und der Wechselwirkung der Fahrzeuge untereinander.

Ausserdem sind Zwischenformen dieser Modellansätze vorhanden (einzelne Fahrzeuge werden aufgrund makroskopischer Kenngrössen je Streckenabschnitt bewegt).

Für die Berechnung von Stauzeiten und Reisezeitverlusten eignen sich die makroskopischen Modelle zur Abbildung des Verkehrsflusses, da die Eingangsgrössen zur Berechnung (Verkehrsstärke, mittlere Geschwindigkeit) an den verschiedenen Detektoren erfasst werden können.

Mikroskopische Modelle sind Simulationen des Verkehrsflusses und eignen sich besser zur Visualisierung desselben.

¹ Quelle: Bovy P.H.L.; Salomon, I.: The Spread of Congestion in Europe, CEMT/RE/TR(98)1, Paris 1998

3.2 Mikroskopische Modelle

Mikroskopische Verkehrsmodelle¹ betrachten das Verhalten der einzelnen Fahrzeuglenker und die Wechselwirkung der Fahrzeuge untereinander. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass das Verhalten eines Fahrzeuglenkers vom vorausfahrenden Fahrzeug abhängt. Für die Beschleunigung, den Weg und die Zeit gelten die bekannten Bewegungsgesetze der Physik.

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{dx(t)}{dt} && \text{wobei:} \\
 a(t) &= \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2} && a = \text{Beschleunigung} \\
 x(t) &= x_0 + \int_{t_0}^t v(t) dt && V = \text{Geschwindigkeit} \\
 v(t) &= v_0 + \int_{t_0}^t a(t) dt && x = \text{Position eines Fahrzeuges} \\
 x(t) &= x_0 + v_0(t - t_0) + \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t a(t) dt dt && t = \text{Zeitpunkt}
 \end{aligned}$$

In Fahrzeugfolgmodellen wird das Beschleunigungsverhalten direkt nachfolgender Fahrzeuge modelliert. Dabei reagiert das nachfolgende Fahrzeug mit einer Verzögerung auf Geschwindigkeitsänderungen des vorausfahrenden Fahrzeuges; die Stärke seiner Reaktion wird durch eine Konstante bestimmt und ist zudem abhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeuges und dem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Bereits 1961 erstellten Gazis, Herman und Rothery ein nichtlineares Fahrzeugfolgmodell, bei dem die Beschleunigung wie folgt festgelegt wurde:

$$\frac{d^2 x_{n+1}(t + \Delta t)}{dt^2} = \frac{k \left[\frac{dx_{n+1}(t + \Delta t)}{dt} \right]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} \left[\frac{dx_n(t)}{dt} - \frac{dx_{n+1}(t)}{dt} \right]$$

Dabei ist die Verzögerung, mit der das Folgefahzeug (n+1) auf das vorausfahrende (n) reagiert, Δt; die Stärke seiner Reaktion wird durch die Konstante k bestimmt und ist durch den Parameter m von der Geschwindigkeit des Fahrzeuges und durch den Parameter l vom Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug abhängig.

Zelluläre Automaten sind spezielle mikroskopische Modelle. Fahrzeuge werden hier als boolesche Variablen auf der Fahrbahn dargestellt, diese ist in Zellen gleicher Grösse aufgeteilt. Ein Fahrzeug kann sich nur in einer Zelle aufhalten, jede Zelle kann nur ein oder kein Fahrzeug enthalten. So wird die Bewegung der Fahrzeuge diskretisiert.

¹ Quelle: Brunnermeier Heinrich; Ausbau eines Stauverfolgungssystems zu einem fehlertoleranten System, Diplomarbeit – Nr. 1736, 1998

Sofern genügend Zellen vor dem Fahrzeug frei sind, beschleunigt dieses, wenn weniger als die benötigten Zellen für die aktuelle Geschwindigkeit frei sind, bremst das Fahrzeug. Wenn genau die benötigte Anzahl Zellen vor dem Fahrzeug frei sind, wird die Geschwindigkeit beibehalten. Zusätzlich sorgen „Trödelparameter“ für willkürliche Geschwindigkeitsänderungen während der Fahrt und für Verzögerungen beim Anfahren.

3.3 Makroskopische Modelle

Von grösserer praktischer Bedeutung für Stauererkennung und Berechnung sind makroskopische Modelle. Dabei gehen die automatisch erfassbaren Werte mittlere Geschwindigkeit v und Verkehrsstärke q in die Berechnungen ein. Die Verkehrsdichte k kann in festgelegten kurzen Zeitintervallen aus v und q errechnet oder indirekt über den Belegungsgrad bestimmt werden.

In diesen Modellen wird der Verkehrsstrom als eindimensionaler kompressibler Fluss betrachtet. Das Verhalten des Verkehrsflusses wird durch die drei Grössen mittlere Dichte $k(x,t)$, mittlere Geschwindigkeit $v(x,t)$ und mittlerer Fluss $q(x,t)$ beschrieben.

Da die gleichen Kontinuitätsüberlegungen wie in der Hydromechanik gelten müssen in einem bestimmten Zeitabschnitt auf einer Strecke gleich viele Fahrzeuge ein- wie ausfahren. Die Kontinuitätsgleichung lautet demnach¹:

$$\frac{\partial q(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial k(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial [k(x,t) \cdot v(x,t)]}{\partial x} + \frac{\partial k(x,t)}{\partial t} = 0$$

3.4 Berechnung der Verlustzeit

Im Falle eines Staus liegen in benachbarten Querschnitten stark unterschiedliche Verkehrszustände vor. Ein schneller Strom mit der Dichte k_{Zufluss} und der Geschwindigkeit v_{Zufluss} trifft auf einen langsamen Strom mit der Dichte k_{Abfluss} und der viel kleineren Geschwindigkeit v_{Abfluss} , es entsteht eine Stosswelle. Diese Stosswelle breitet sich aus Kontinuitätsüberlegungen mit der Geschwindigkeit u aus (Sekante im Fundamentaldiagramm).

$$u = (q_{\text{Abfluss}} - q_{\text{Zufluss}}) / (k_{\text{Abfluss}} - k_{\text{Zufluss}})$$

Die Länge L_s des Staus beträgt zum Zeitpunkt t :

$$L_s = u \cdot t$$

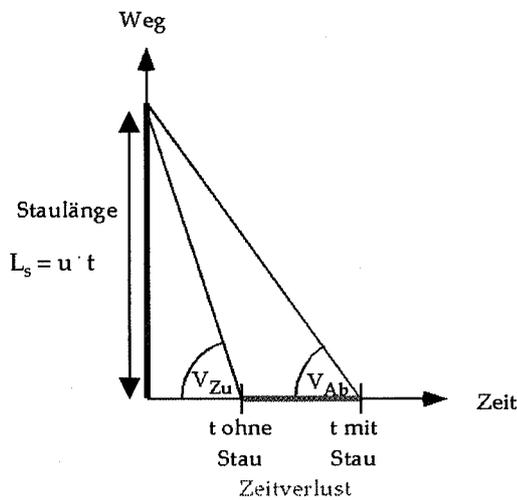
¹ Quelle: Spacek P.; Verkehrstechnik Grundzüge, Teil Individualverkehr; IVT ETHZ, 2001 Zürich

Die Zeit t_S ist der Zeitverlust für den einzelnen Fahrer durch die stark verringerte Geschwindigkeit im Stau (bestimmt durch den Abfluss im Engpass). Sie beträgt::

$$t_S = L_S / v_{\text{Abfluss}}$$

Der Zeitverlust beträgt aber nicht die ganze Zeit, die das Fahrzeug im Stau verbringt, da auch bei freier Fahrt für die entsprechende Strecke (Staulänge L_S) ein bestimmter Zeitbedarf bestünde.

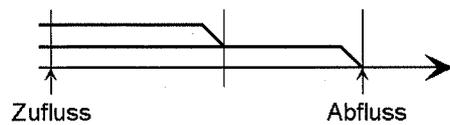
Abbildung 6 Zeit-Weg-Diagramm



Aus dem Zeit-Weg-Diagramm ergibt sich ein Zeitverlust t_V von:

$$t_V = L_S (1 / v_{\text{Abfluss}} - 1 / v_{\text{Zufluss}})$$

Bei Strassenabschnitten mit unterschiedlichen Anzahl von Fahrstreifen ist der Zeitverlust wie folgt:



$$t_V = \sum L_i (1 / V_i - 1 / v_{\text{Zufluss}})$$

wobei:

$$V_i = (v_{\text{Abfluss}} / n_{\text{Abfluss}}) \cdot n_i \rightarrow \text{mittlere Abschnittsgeschwindigkeit}$$

i = Abschnittsnummer

n = Anzahl Fahrstreifen im Abschnitt i

l_i = Länge des Abschnitts i

n_{Abfluss} = Anzahl Fahrstreifen im Abfluss

v_{Abfluss} = mittlere Abflussgeschwindigkeit

3.5 Automatische Stauanalyse

Ein breiter Einsatz von Informationen von Stauzeiten resp. Verlustzeiten ist nur sinnvoll und möglich mit automatischer Erkennung und Verfolgung von Staus. Weit fortgeschritten scheint in diesem Zusammenhang das System ASDA (Automatische Staudynamikanalyse) von Daimler Chrysler¹.

Dieses System basiert auf einem makroskopischen Modell nach Kerner/Kornhäuser² und geht davon aus, dass gewisse charakteristische Parameter, nämlich:

- der Verkehrsfluss aus dem Stau und
- die Geschwindigkeit der flussabwärtigen Stauflanke

nur von allgemeinen Randbedingungen (Fahrverhalten, Wetter, Infrastruktur etc.) aber nicht von den Anfangsbedingungen des Staus (Verteilung der Verkehrsdichte, Verkehrsstärke) abhängen.

Über Detektoren (Induktionsschlaufen) werden Stauzustände erfasst (stark reduzierte Geschwindigkeit und Verkehrsstärke, Unterschreiten von je nach Querschnitt definierten Grenzwerten). Aus den Verkehrsdaten (mittlere Verkehrsstärke, mittlere Geschwindigkeit, Lastwagenanteil) wird dann die Lage von Staus auch zwischen den Detektoren errechnet.

Dieses System beinhaltet noch einige Fehlerquellen, welche aber in absehbarer Zeit behoben sein dürften. Es sind dies im wesentlichen:

- Fehler an den Messstellen (Schrägfahrten, Spurwechsel etc.)
- Detektorstörungen
- Übertragungsstörungen
- Ersatzwertbildungen
- Stausituation, welche die Systemkriterien nicht erfüllt (Fluktuationen im Stau)
- Eintritt des Staus unmittelbar nach einem Messquerschnitt

¹ Quelle: Kerner B. S., Rehborn H., Aleksic M., Hang A., Lange R.: Verfolgung und Vorhersage von Verkehrsstörungen auf Autobahnen mit „ASDA“ und „FOTO“ im online-Betrieb in der Verkehrsrechnerzentrale Rüsselheim, Strassenverkehrstechnik 2000, Heft 10

² Quelle: Brunmeier Heinrich; Ausbau eines Stauverfolgungssystems zu einem fehlertoleranten System, Diplomarbeit – Nr. 1736, 1998

4 Informationsübermittlung und Systeme

Obschon die Parameter zur Berechnung des Staus, der Staudauer wie des individuellen Reisezeitverlusts bekannt sind, ist es ausserordentlich schwierig eine exakte Berechnung der Verkehrsstaus durchzuführen. Dies, weil die Parameterwerte auf der Basis recht ungenauer subjektiver Meldungen der Polizei oder von Verkehrsteilnehmern über die Stausorte und Staulängen erfolgen. Den strassenseitigen Erfassungssystemen kommt deshalb eine grosse Bedeutung zu, da nur mit verlässlichen Daten auch exakte Berechnungen über die Stauentwicklung, respektive Prognosen über deren Dauer möglich sind.

Die Systeme zur Verkehrsinformation bestehen grundsätzlich aus den Komponenten Datenerfassung, Datenübertragung, Datenaufbereitung und Datenverteilung. In Abhängigkeit der eingesetzten Technik unterscheiden sich auch die weiteren Komponenten.

Zur Erhebung der Verkehrsdaten sowie zur Beschreibung des Verkehrszustands wird auf die Systeme Verkehrserfassung mit Schlaufendetektion, videobasierte Erfassungssysteme und Floating Car - Data näher eingegangen.

4.1 Datenerfassung und -übertragung

Wesentliche Unterschiede zwischen den Systemen der Datenerfassung bestehen darin, dass bei den herkömmlichen konventionellen Verkehrserfassungssystemen auf strassenseitigen Komponenten aufgebaut wird, während beim Floating Car Verfahren das Fahrzeug selbst als Datenlieferant und zum Teil als Datenverarbeiter mitwirkt, und je nach Technik strassenseitig keine weitere Infrastruktur benötigt werden.

Schlaufendetektion

Zähl-detektoren liefern genaue Informationen über den Verkehrsfluss. Detektoren können jedoch nicht schnell veränderten Bedürfnissen angepasst werden. Mit geeigneten Algorithmen lassen sich jedoch Stauerscheinungen auf der Höhe oder in abfliessender Richtung des Detektors erkennen. Werden Zähl-detektoren auch zur Staudetektion beigezogen, ist es bereits aufgrund der Belegungszeit möglich, Auskunft über Stautendenz oder Stau zu geben.

Mit Schlaufendetektoren lassen sich Staus am Schlaufenstandort erkennen. Eine zuverlässige Angabe über die Staulänge ist weitgehend von der Anordnungsdichte der Schlaufendetektoren über den Abschnitt abhängig. Mittels geeigneter Algorithmen lassen sich Staulänge und Stauzeit auf der Basis der zu- und abfliessenden Verkehrsmenge im betroffenen Streckenabschnitt ermitteln.

Die Technik der Schlaufendetektion ist erprobt. Einrichtung und Inbetriebnahme können aber nur mit Eingriffen in den fliessenden Verkehr vorgenommen werden.

Die Datenübertragung erfolgt via Datenbus zum Verkehrsrechner (Steuerungsebene).

Videobasierte Erfassungssysteme

Videobasierte Erfassungssysteme weisen gegenüber den bewährten konventionellen Verkehrserfassungssystemen wesentliche Vorteile auf. Aus Kostengründen, aber auch weil die videobasierte Datenerfassung einige videospezifische Probleme mit sich bringt, konnte sich diese Technik noch nicht entscheidend durchsetzen.

Die videospezifischen Probleme liegen im Bereich der Kameraaufstellung, des erforderlichen Neigungswinkels, unterschiedlicher Wetter- und Lichtverhältnisse und der dadurch entstehenden hohen Anforderungen an die Objektdetektion (Fehlinterpretation durch seitlichen Schlagschatten, fehlerhafte Fahrzeugklassifikation bei Stausituationen).

Das videobasierte Erfassungssystem ist in der Lage, sowohl querschnitts- als auch routenbezogene Verkehrskenngrößen zu ermitteln. Damit sind sie dem Systemeinsatz von Induktionsschlaufen überlegen und dienen nebst der Erhebung von Verkehrsdaten auch der Analyse des Verkehrsflusses in Echtzeit und somit der direkten Verkehrsbeeinflussung, zum Beispiel mittels Wechseltextanzeige.

Bei den querschnittsbezogenen Daten werden Zeit, punktuelle Geschwindigkeit und die Fahrzeugklasse erfasst. Bei den routenbezogenen Kenngrößen wird anhand von charakteristischen Merkmalen versucht, die Fahrzeuge an verschiedenen Querschnitten wieder zu erkennen. Dadurch können die aktuellen Reisezeiten zwischen den Messquerschnitten abgeleitet werden. Das System ist also insbesondere geeignet, wenn über die Verkehrsinformation vorwiegend Angaben über Fahrzeiten, respektive über Fahrzeitverluste ausgegeben werden. Das im Projekt VESUV¹ (Verkehrserfassungssystem unter Videoeinsatz) getestete System erreichte bei den querschnittsbezogenen Daten eine Genauigkeit vergleichbar mit den konventionellen Techniken über Schlaufendetektoren, bei der Ermittlung von routenbezogenen Kenngrößen eine Genauigkeit von rund 80%.

Die Übertragung des Videosignals erfolgt via Datenbus zur Auswerteeinheit oder Bildauswertung lokal, die ausgewerteten Daten werden zum Verkehrsrechner übermittelt.

Floating Car - Data

Als Floating Car - Verfahren wird die Benützung von Fahrzeugen im Verkehrsfluss als Messsonden für die Ermittlung aktueller Verkehrsinformationen verstanden. Die Fahrzeuge beinhalten spezielle Verkehrstelematik-Endgeräte, aufgrund welcher sie fahrtbezogene Messdaten wie Geschwindigkeit, Fahrtrichtung und Position erfassen und diese an eine Zentrale weiterleiten. Bei der Verkehrserfassung mittels Floating Car - Data fungieren eine bestimmte Anzahl an Fahrzeugen als im Verkehr mitfließende Messstationen und Datenmelder.

Fahrzeugerkennung und Fahrzeugverfolgung erfolgen über stationäre Erfassungssysteme oder über die GPS-Technik. Beide Techniken weisen bislang Mängel in der Datenerfassung oder Datenübertragung auf. Stationäre Erfassungssysteme basieren auf der Infrarot-Technologie oder auf Mikrowellen-Kurzstanzfunk (DSRC). Die Fahrzeugverfolgung und daraus die Ableitung der aktuellen Reisezeit und Analyse des Verkehrszustands ist einerseits abhängig von der Dichte der Baken wie auch von der Anzahl der mit der Infrarot-Technik ausgerüsteten Fahrzeuge. Zuverlässige Verkehrsdaten werden ab einer Stichprobe von ca. 3% ausgerüsteter Fahrzeuge erreicht.

¹ Busch C., Dörner R., Freytag C., Zügler H.: VESUV-A Computer Vision System for Integrated Traffic Analysis, CISST 198, Las Vegas 1998

Die Infrarottechnik zeichnet sich aufgrund der hohen Kosten, der Störungsanfälligkeit wie auch aufgrund des grossen Unterhaltsaufwands (verschmutzte Baken) als wenig geeignet aus.

Für den Einsatz von FCD wird vermehrt auf die GPS-Technik gesetzt. Die Datenerfassung erfolgt über speziell ausgerüstete Fahrzeuge, die ihre Position mittels GPS bestimmen. Je nach Technik erfolgt eine weitere Datenaufbereitung im Fahrzeug, so werden aus der Ortung die Geschwindigkeit, die Richtung und die Lage im Strassennetz bestimmt und abgespeichert, oder aber direkt an die Zentrale übertragen. Der Vorteil der GPS-Technik liegt darin, dass strassenseitig keine zusätzlichen Erfassungssysteme erforderlich sind und die Fahrzeuge lückenlos geortet werden können. Analog der Infrarot-Technik sind etwa 1 bis 3% der Fahrzeuge mit der GPS-Technik auszurüsten um verlässliche Angaben über den aktuellen Verkehrszustand zu erhalten.

Der Nachteil der GPS-Technik liegt in der teuren Datenübertragung mittels SMS-Technologie. Da die Datenübertragung zudem auf 160 Zeichen beschränkt ist, sind die Daten von Vorteil bereits im Fahrzeug aufzubereiten. Abhilfe schaffen könnte ein eigener GSM-Datenkanal.

Die Übermittlung der Daten erfolgt über Infrarot zu den Baken und von dort via Datenbus (über bestehende Kommunikationswege der Lichtsignalanlage (LSA) oder Detektionsschlaufen) zur Zentrale.

Mit der GPS-Technik werden die Daten über das GSM-Netz mit der SMS-Technik übertragen (limitierte Dateigrösse).

4.2 Datenaufbereitung

Schlaufendetektion

Die Daten werden an den Verkehrsrechner auf der Steuerungsebene weitergeleitet und die gemessenen Signale auf ihre Plausibilität untersucht (Überwachungsmodul). Das Detektor-Auswertemodul ermittelt Anzahl, Geschwindigkeit (abhängig vom Schlaufentyp) und jeweilige Dauer der Belegung. Der Verkehrsrechner ermittelt dadurch die Fahrzeugmenge je Zeiteinheit, Geschwindigkeiten (Geschwindigkeitsklassen) und die Fahrzeugkategorien. Die Daten werden an einen Verkehrsleitrechner weitergeleitet, der die Informationen über den aktuellen Betriebszustand bereit stellt.

Videobasierte Erfassungssysteme

Die Datenaufbereitung (Bildauswertung) erfolgt über eine Auswerteeinheit vor Ort, welche dann die Verkehrsdaten via Datenbus an einen zentralen Rechner leitet, oder das Videosignal wird an eine zentrale Auswerteeinheit übertragen und von dort an den Rechner weitergeleitet. Um eine Echtzeitanwendung zu ermöglichen, muss die Verarbeitungsgeschwindigkeit möglichst hoch und die Bildauflösung so gering wie möglich sein. Anzustreben ist deshalb ein System, bei dem die Videokamera und die Bildauswertung in einer Moduleinheit zusammengefasst sind.

Aus den aufbereiteten Daten werden im zentralen Rechner sowohl querschnitts- (Verkehrsbelastungen, aktuelle Geschwindigkeit, Verkehrszusammensetzung) als auch routenspezifischen Kenngrössen (aktuelle Fahrzeit) ermittelt.

Floating Car - Data

Die via SMS oder über Datenbus eingespeisten Daten werden aufbereitet und die Link-Reisezeiten statistisch ausgewertet und verglichen. Dadurch ist es möglich die aktuelle Reisegeschwindigkeit und in der Folge allfällige Reisezeitverluste online festzustellen sowie Routenempfehlungen für das Netz auszugeben. FCD ist ebenfalls für die Stauererkennung geeignet. FCD-Fahrzeuge sind in der Lage, Stauanfang und Stauende zu detektieren, sodass daraus sowohl Staulänge als auch Stauzeit ermittelt werden können. Ohne die Kombination mit strassenseitigen Einrichtungen können jedoch keine querschnittsbezogenen Daten ermittelt werden.

4.3 Datenverteilung

Die Verteilung der aufbereiteten Daten zur aktuellen Verkehrsinformation beschränkt sich in der Forschungsarbeit auf die Ausgabe an eine Wechseltextanzeige oder an die Verkehrsmeldezentrale.

Im Gegensatz zu den Technologien mit Schlaufendetektion oder Video, welche standortgebunden sind, erfasst Floating Car - Data Stauerscheinungen überall auf dem Netz, sofern es durch FCD-Fahrzeuge befahren wird.

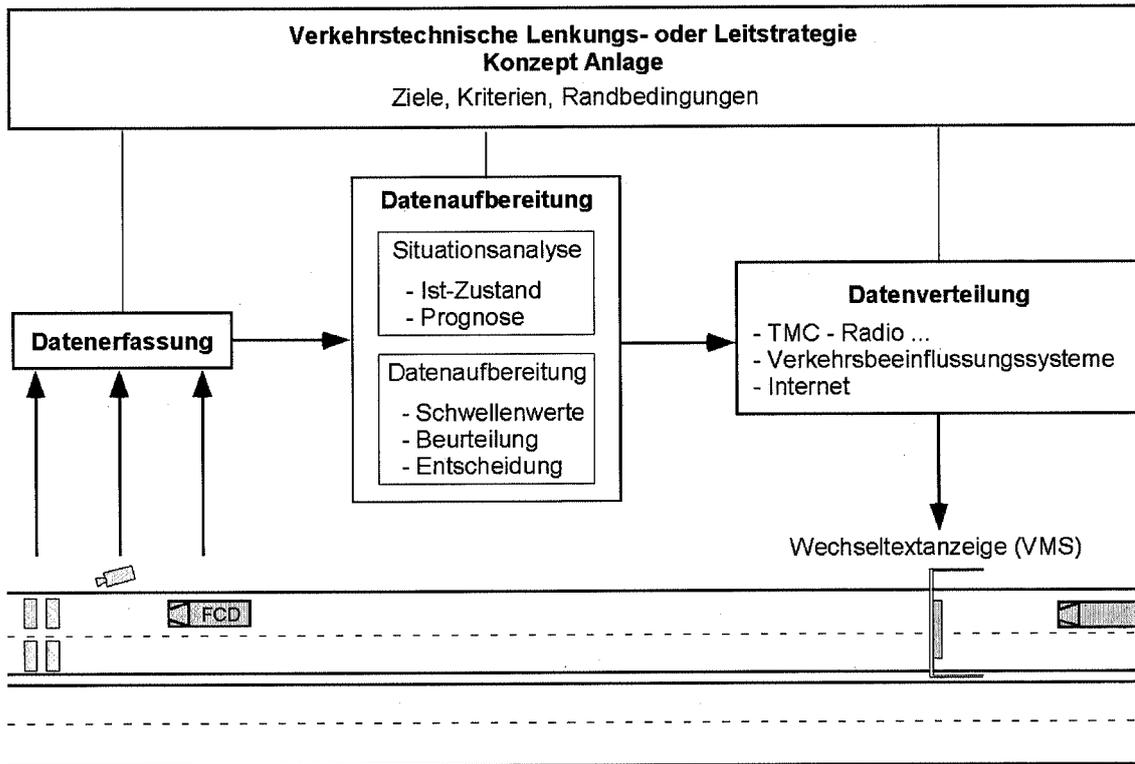
Diese an sich grundlegenden Unterschiede äussern sich auch bei der Informationsverteilung. Floating Car - Data basiert darauf, den Fahrzeugen positionsspezifische Verkehrsinformationen und Routenvorschläge direkt ins Fahrzeug zu übertragen.

Die auf vorbestimmten Streckenabschnitten strassenseitig eingerichteten Systeme über Schlaufendetektion oder videobasierter Verkehrserfassung, welche vorwiegend querschnittsspezifische Verkehrsdaten erfassen, dienen eher dazu Verkehrsinformationen standortgebunden, also über Wechseltextanzeigen, auszugeben. Grundsätzlich eignen sich aber sowohl die fahrzeugseitigen als auch die strassenseitigen Verkehrserfassungssysteme für die Verkehrsinformation – eine ausreichende Stichprobe an FCD-Fahrzeugen vorausgesetzt.

Vom Verkehrsleitrechner wird die Verkehrsinformation über die konventionellen Systeme via Datenbus oder über das GSM-Netz mit SMS-Technologie an die Wechseltextanzeigen übermittelt.

Abbildung 7 zeigt vereinfacht die Elemente eines Steuerungssystems für Verkehrsbeeinflussungsanlagen.

Abbildung 7 Systemarchitektur eines Verkehrsbeeinflussungssystems



5 Feldversuche zur Verkehrsinformation „Stauzeit“ und „Staulänge“

5.1 Ziele

Der Forschungsauftrag „Stauzeit statt Staulänge“ behandelt als zentralen Aspekt die Verkehrsinformation und deren Inhalte. Die Verkehrsinformation der Stauzeit - d.h. der Reisezeit bei „freier Fahrt“ inkl. der Verlustzeit - auf einem Streckenabschnitt, ermöglicht es im Gegensatz zur Angabe der Staulänge, die Fahrzeit besser zu kalkulieren. Wie sich eine solche Verkehrsinformation auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer auswirkt, ist Inhalt der Feldversuche. Die Feldversuche beinhalten folgende Teilarbeitsschritte:

- die Informationsübertragung von Staulängen und Stauzeiten an die Verkehrsteilnehmer durch eine Wechseltextanzeige,
- das Erfassen der Auswirkungen und der Verhaltensänderung der Verkehrsteilnehmer,
- die Auswertung und Analyse der gesammelten Daten.

5.2 Nutzen

Mit der Durchführung der Feldversuche sollen nachstehende Fragen beantwortet werden können.

- Wie ist die Wirkung der Verkehrsinformation?
- Wie ist die Reaktion der Verkehrsteilnehmer (Verbleiben oder Verlassen der Autobahn)?
- Wo ist die Information im Streckenabschnitt zu übermitteln?
- Welches sind mögliche Standorte für eine derartige Verkehrsinformation, um eine möglichst gezielte Wirkung zu erreichen?
- Welches sind die Grundlagen zur Beurteilung des Kosten-/ Nutzenverhältnisses (rechtfertigt sich eine vergleichsweise teure Investition in diese Art von Verkehrsinformationssystem)?

5.3 Vorgehen, Verkehrszustände

Mit den Feldversuchen (vgl. Abschnitt 5.4) wurde beabsichtigt, auf möglichst einfache und kostengünstige Weise rasch zu guten Resultaten und Erkenntnissen zu kommen. Hierbei wird auf den Einsatz komplexer – zum Teil auch noch nicht vorhandener - Systeme verzichtet. Die Erfassung der Verkehrszustände, der Rückstaulängen und Wartezeiten erfolgte mit Erhebungspersonal vor Ort.

Von den Tiefbauämtern wurden die bestehenden Zählstellen in die Untersuchung mit einbezogen. Dies ist insbesondere erforderlich um die Gesamtverkehrsmenge auf der Autobahn und die Auswirkungen bei den Ausfahrten (Reaktionen der Verkehrsteilnehmer) auf die Verkehrsinformation in Zusammenhang zu bringen.

Die Verkehrsinformation erfolgte via manuell bedienbarer Wechseltextanzeige VMS (variable message signs), die eigens für die Forschungsbearbeitung zur Verfügung gestellt wird.

5.4 Feldversuche

Im Forschungsbegehren war geplant, die Wirkungen der Information Stauzeit resp. Staulänge am Baregg, am Brüttsellerkreuz und quantitativ am Gotthard zu analysieren. Bei der Detailplanung zeigte sich, dass der Baregg für einen Feldversuch nicht geeignet ist (starke Schwankungen in der täglichen Spitzenstundenbelastung, wechselnde Verkehrsführungen im Zusammenhang mit dem Bau der dritten Röhre). Auch der von der Abteilung Verkehr im Baudepartement des Kantons Aargau als Ersatz vorgeschlagene Feldversuch im Zusammenhang mit der Eröffnung der Siggenthaler Brücke bei Baden konnte nicht realisiert werden (wegen der Buspriorisierung und den knappen Busspuren dürfen keine grösseren Rückstaus entstehen).

Da am Gotthard nur grossräumige Umfahrungsrouten existieren konnte auch hier kein Feldversuch durchgeführt werden.

Für die Feldversuche wurden deshalb zwei Streckenabschnitte auf dem Hochleistungsstrassennetz im Grossraum Zürich ausgewählt. Die Verkehrsinformation erfolgt in beiden Feldversuchen über eine strassenseitige on-line Information sowie über die allgemeine Verkehrsinformation per Radio. Die Zustände mit Verkehrsinformation (Stauzeit oder Staulänge) wurden jeweils mit den Referenzzuständen ohne strassenseitige Verkehrsinformation verglichen.

Für jede Versuchsanordnung werden drei Verkehrszustände untersucht:

Zustand Nr	Name	Beschrieb
ZST 1	Referenzzustand „ohne Info“	Analyse des Verkehrs mit „normaler Verkehrsinformation - Radio“, respektive „keiner Verkehrsinformation“ Feldversuch1: ZST 1: Di, 24. September 2002 Feldversuch2: ZST 1-1: Fr, 28. Februar 2003 ZST 1-2: Do, 6. März 2003
ZST 2	„Info Länge“	Gezielte Information über die aktuelle Staulänge resp. Länge stockender Verkehr via Wechseltextanzeige VMS am Strassenrand. Feldversuch1: ZST 2-1: Di, 24. September 2002 ZST 2-2: Do, 26. September 2002 Feldversuch2: ZST 2-1: Do, 13. März 2003
ZST 3	„Info Zeit“	Gezielte Information über die aktuelle Stauzeit via Wechseltextanzeige VMS am Strassenrand. Feldversuch1: ZST 3-1: Di, 1. Oktober 2002 ZST 3-2: Do, 3. Oktober 2002 Feldversuch2: ZST 3-1: Do, 20. März 2003

Die Untersuchungsabschnitte liegen im einen Fall in der vorgelagerten Zufahrt zum Zusammenschluss der beiden Autobahnen A53 mit der Autobahn A1, im zweiten Untersuchungsfall auf der A1 zwischen Anschluss Effretikon und Anschluss Winterthur Töss.

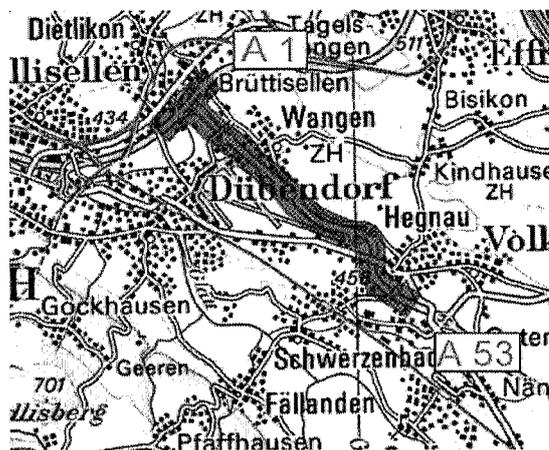
Die Verkehrszusammensetzung sowie die Versuchsanordnung und Informationsübermittlung ist in beiden Untersuchungsfällen vergleichbar. Somit ist es möglich das Verkehrsverhalten (Ausweichverkehr) nicht nur hinsichtlich der Art und des Inhalts der Verkehrsinformation, sondern auch hinsichtlich der Lage im Netz zu vergleichen. Letztere hat einen wesentlichen Einfluss und zeigt, ob die Ergebnisse aus den Feldversuchen vergleichbar und unter welchen Rahmenbedingungen sie auch auf andere Stellen im Hochleistungsstrassennetz übertragbar sind.

5.5 Feldversuch 1: A53 Hegnau – Brüttisellerkreuz

5.5.1 Übersicht und Situation

Der Feldversuch wurde im Bereich der Autobahnen A1/ A53 (Brüttisellerkreuz) durchgeführt. In die Datenerfassung einbezogen wurden die Verkehrsströme auf der Autobahn A53 in Fahrrichtung Zürich, Brüttisellen und Winterthur sowie die einfahrenden und ausfahrenden Fahrzeuge im Bereich der Autobahnan-schlüsse Wangen und Hegnau.

Abbildung 8 Übersicht Versuchsstrecke A1/ A53 (Brüttisellerkreuz)



Der betroffene Abschnitt (in der obigen Abbildung grau markiert) ist zur Morgenspitze zwischen 6.30 – 8.00 Uhr überlastet, sodass regelmässig Staus oder zumindest Verkehrszustände mit stockendem bis stauendem Verkehr auftreten.

Abbildung 9 Verkehrszustand Ausfahrt Wangen (A53, Richtung Brüttisellen), Quelle: www.ttm-swiss.ch/zustand_de.php

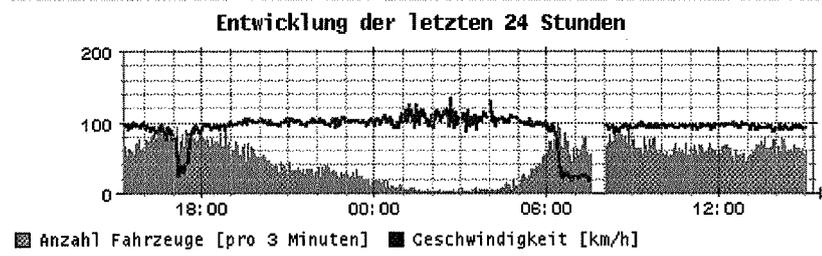


Abbildung 10 Verkehrssituation am Brüttisellerkreuz zur Morgenspitze, Behinderungen auf der Zufahrt A53 zum Brüttisellerkreuz



Blickrichtung Hegnau

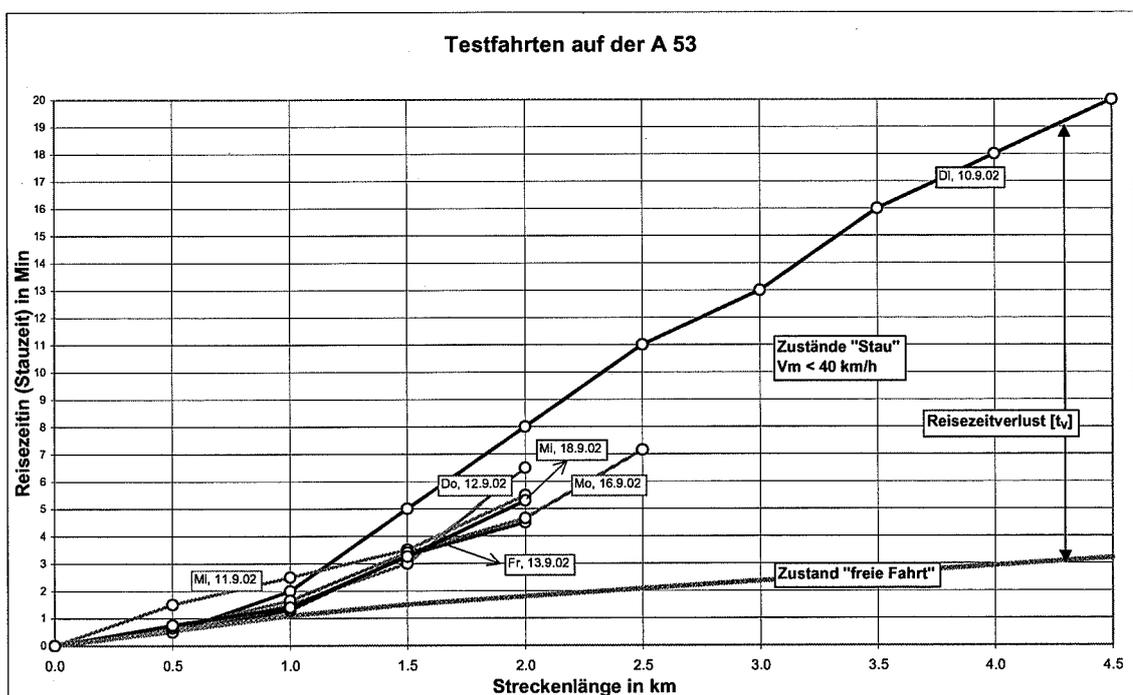


Blickrichtung Brüttisellerkreuz

Die in der Woche vor den Verkehrsuntersuchungen durchgeführten Testfahrten zeigten sowohl die vorhandenen Staulängen auf wie auch die Stauzeiten (aktuelle Reisezeiten) in der Morgenspitze über alle Wochentage. Im „Normalfall“ ist auf der A53 ein Rückstau vor dem Brüttisellerkreuz von 2.0 bis 2.5 km zu verzeichnen. Die resultierende mittlere Geschwindigkeiten liegt zwischen 13 km/h und 25 km/h. Die Reisezeit liegt für diese Rückstaulängen bei 5 bis 7 Minuten. Einzig bei der am Dienstag, 10. September durchgeführten Testfahrt wurde ein wesentlich grösserer Rückstau von 4.5km Länge und eine Stauzeit von 20 Minuten festgestellt.

Die Testfahrten dienten in erster Linie dazu die Versuchsanordnung „Referenzzustand“ zu kalibrieren. Für den Referenzzustand wurden aber nicht nur die Verkehrsbelastungen im Querschnitt der Hochleistungsstrasse, sondern auch die Knotenströme bei den Autobahnanschlüssen erhoben, um dadurch auch die Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten feststellen zu können.

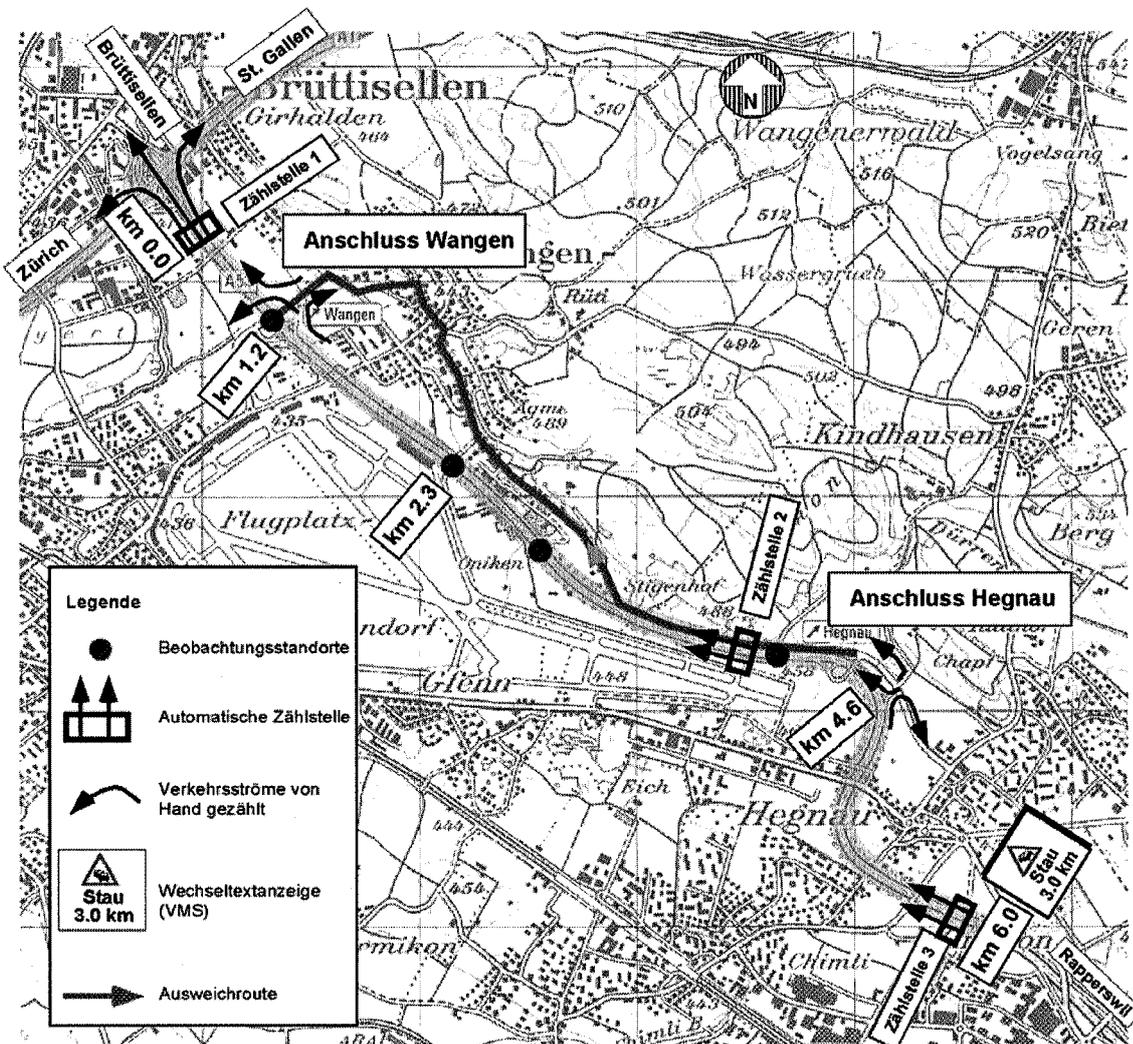
Abbildung 11 Testfahrten mit erhobenen Reisezeiten (Stauzeiten) und Staulängen auf der A53 am Brüttisellerkreuz



Entlang der Versuchsstrecke wurden die Abstände aufgenommen und alle 0.5 km markiert und mit Bakern versehen. Diese Bezugspunkte dienten einerseits für die Abschätzung der aktuellen Staulänge, andererseits aber auch für die Ermittlung der Reisezeiten, welche jeweils zwischen zwei Bezugspunkten aufgenommen und über den gesamten Streckenabschnitt aufaddiert wurden.

Die Versuche wurden jeweils am Dienstag und am Donnerstag in der Morgenspitzenstunde von 6.00 bis 8.00 Uhr durchgeführt. Der in die Untersuchung einbezogener Streckenabschnitt weist eine Länge von ungefähr 5,00 km auf. Nachstehende Abbildung zeigt den Streckenabschnitt, die Standorte der Beobachter, die automatischen Zählstellen sowie den Standort der Wechseltextranzeige (VMS), welche die Verkehrsinformationen an die Verkehrsteilnehmer übermittelt (on trip-Information).

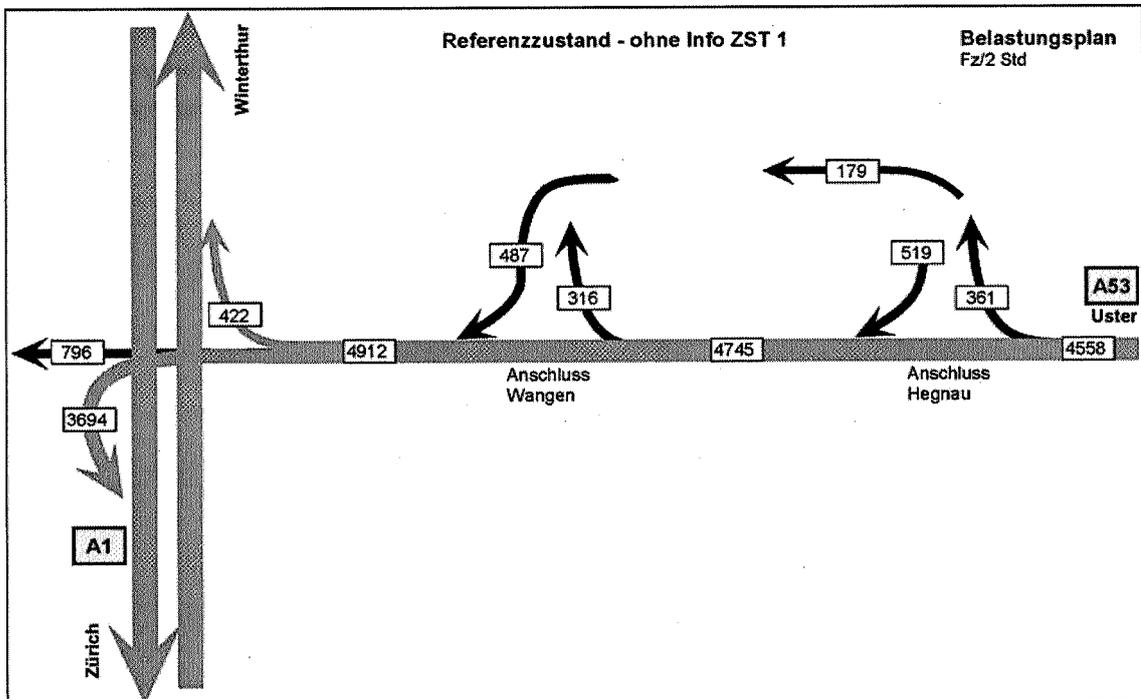
Abbildung 12 Situation Versuchsanordnung Feldversuch 1



5.5.2 Versuchsanordnung Referenzzustand ZST 1

„generelle Verkehrsinformation über Radio, ohne detaillierte Information zum Streckenabschnitt“	
Untersuchungszeitraum:	Dienstag, 17. September 2002, 6:00 bis 8:00 Uhr
Art der Messung:	Verkehrserhebung auf den drei automatischen Zählern auf der A53, Knotenstromzählungen in den Anschlussbereichen „Hegnau“ und „Wangen“

Abbildung 13 Verkehrsbelastungen für den Referenzzustand (ZST 1) auf der A53 sowie bei den Autobahnanschlüssen (Fz/2h)



Die Versuchsanordnung Referenzzustand dient der Überprüfung der Auswirkungen für die Untersuchungszustände Verkehrsinformation „Staulänge“ und „Stauzeit“. Die Verkehrsbelastungen auf der Autobahn (Querschnittsbelastungen über 2 Stunden) liegen im Bereich der Werte aus der Vorwoche und unterscheiden sich auch in den beiden nachfolgenden Wochen während der Feldversuche lediglich um +/- 2%.

5.5.3 Versuchsanordnung Information Staulänge – ZST 2

„detaillierte Verkehrsinformation zum Streckenabschnitt mittels Staulängen“	
Untersuchungszeitraum:	Dienstag, 24. September 2002, 6:00 bis 8:00 Uhr: Z2-1 Donnerstag, 26. September 2002, 6:00 bis 8:00 Uhr: Z2-2
Art der Messung:	Verkehrserhebung auf den drei automatischen Zählern auf der A53, Knotenstromzählungen in den Anschlussbereichen „Hegnau“ und „Wangen“
Erfassung Staulängen:	Die Staulänge wird durch die Beobachter vor der Verzweigung der A53 mit der A1 (Brüttisellerkreuz) alle 5 Minuten aktualisiert. Die Daten werden an den Koordinator weitergeleitet. Dieser sendet die Information über die aktuelle Staulänge per SMS an die Wechseltextanzeige. Die Verkehrsteilnehmer auf der A 53 erhalten dadurch die aktuellen Informationen zur Staulänge alle 5 Minuten.

Abbildung 14 Wechseltextanzeige mit Angabe der Staulänge



Abbildung 15 Verkehrsbelastungen für den Zustand (ZST 2-1) auf der A53 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/2h)

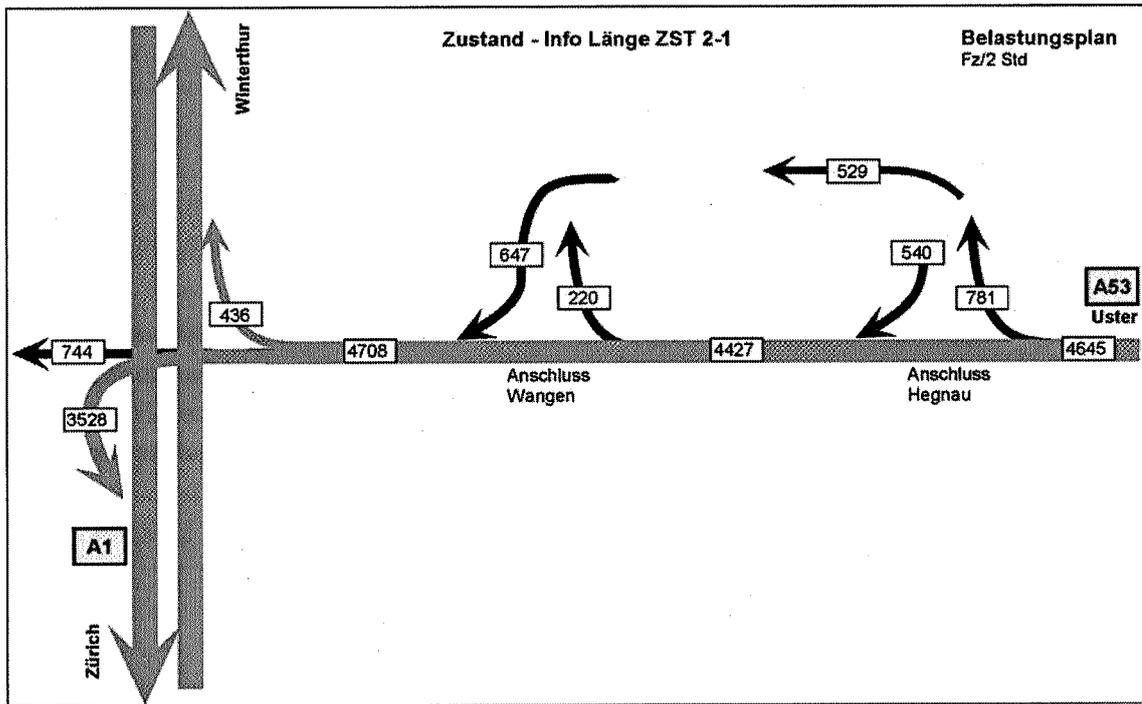
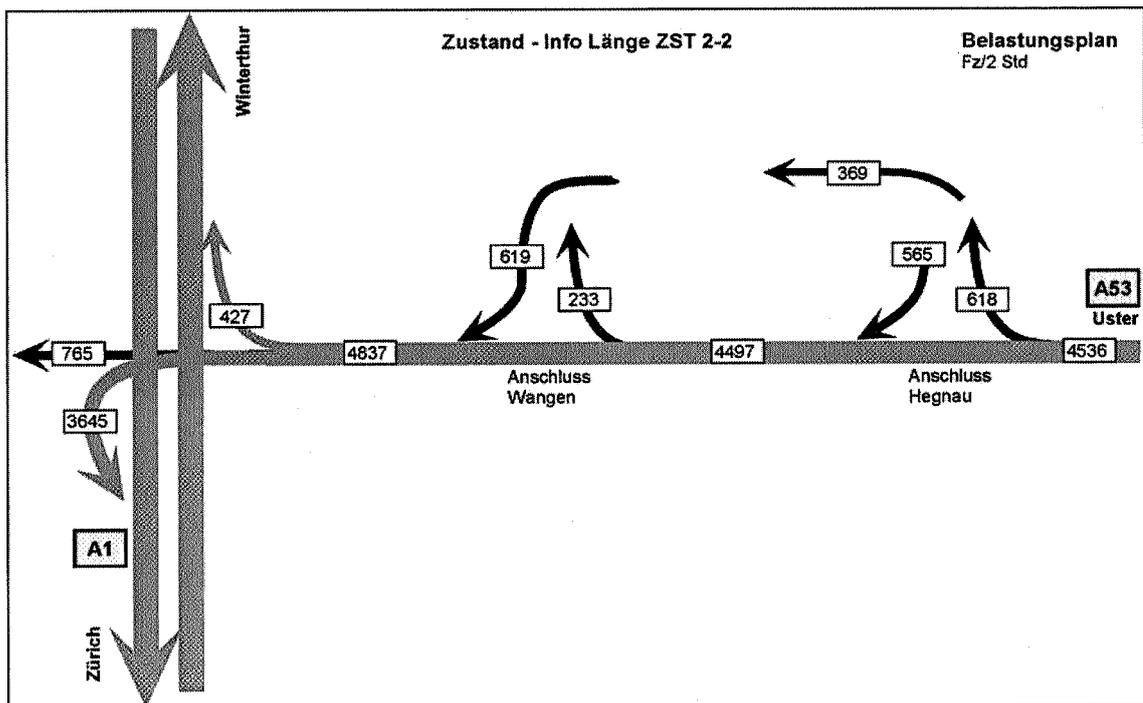


Abbildung 16 Verkehrsbelastungen für den Zustand (ZST 2-2) auf der A53 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/2h)



5.5.4 Versuchsanordnung Information Stauzeit – ZST 3

„detaillierte Verkehrsinformation zum Streckenabschnitt mittels Stauzeit“	
Untersuchungszeitraum:	Dienstag, 1. Oktober 2002, 6:00 bis 8:00 Uhr Z3-1 Donnerstag, 3. Oktober 2002, 6:00 bis 8:00 Uhr Z3-2
Art der Messung:	Verkehrserhebung auf den drei automatischen Zählern auf der A53, Knotenstromzählungen in den Anschlussbereichen „Hegnau“ und „Wangen“
Erfassung Stauzeit:	Die Beobachter erheben die Fahrzeit bei Stau oder stockendem Verkehr zwischen zwei markierten Bezugspunkten und melden die Information an den Koordinator weiter. Anhand der gemessenen, einzelnen Zwischenzeiten wird die gesamte Stauzeit berechnet. Die totale Stauzeit wird per SMS an die Wechselltextanzeige weitergeleitet. Die Verkehrsteilnehmer auf der A 53 erhalten die aktuellen Informationen zur Stauzeit alle 5 Minuten.

Abbildung 17 Wechselltextanzeige mit Angabe der Stauzeit



Abbildung 18 Verkehrsbelastungen für den Zustand (ZST 3-1) auf der A53 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/2h)

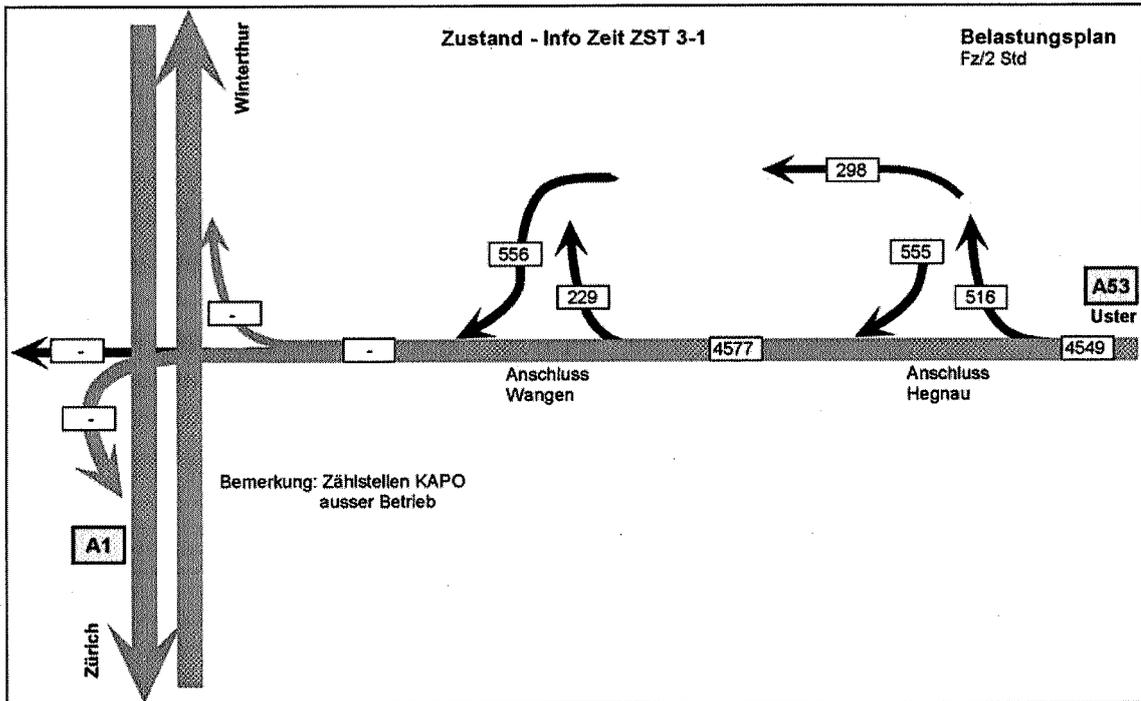
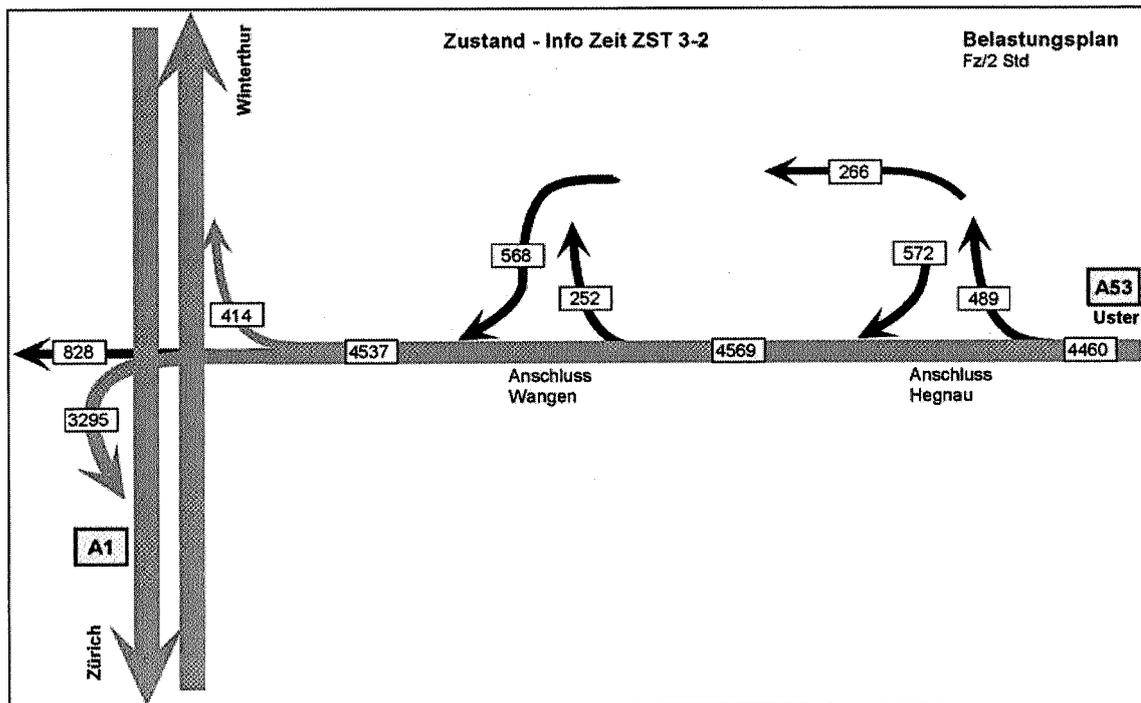


Abbildung 19 Verkehrsbelastungen für den Zustand (ZST 3-2) auf der A53 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/2h)



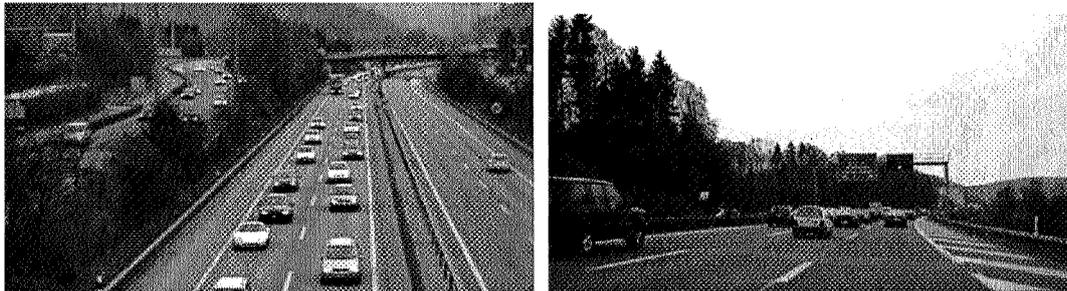
5.6 Feldversuch 2: A1 Effretikon - Winterthur Töss

5.6.1 Übersicht und Situation

Der zweite Feldversuch wurde im Bereich der Autobahn A1 Anschluss Effretikon und Anschluss Winterthur Töss durchgeführt. Die erhobenen Daten beinhalten die Verkehrsströme auf der Autobahn A1 in Fahrtrichtung St. Gallen sowie die einfahrenden und ausfahrenden Fahrzeuge im Bereich der Autobahnanschlüsse Effretikon und Winterthur Töss.

Der betroffene Abschnitt ist zur Abendspitze zwischen 17.00 – 18.30 Uhr überlastet, sodass regelmässig Staus oder zumindest Verkehrszustände mit zähfließendem Verkehr auftreten.

Abbildung 20 Verkehrssituation auf der A1 – Behinderungen im Abschnitt Winterthur Töss zur Abendspitze

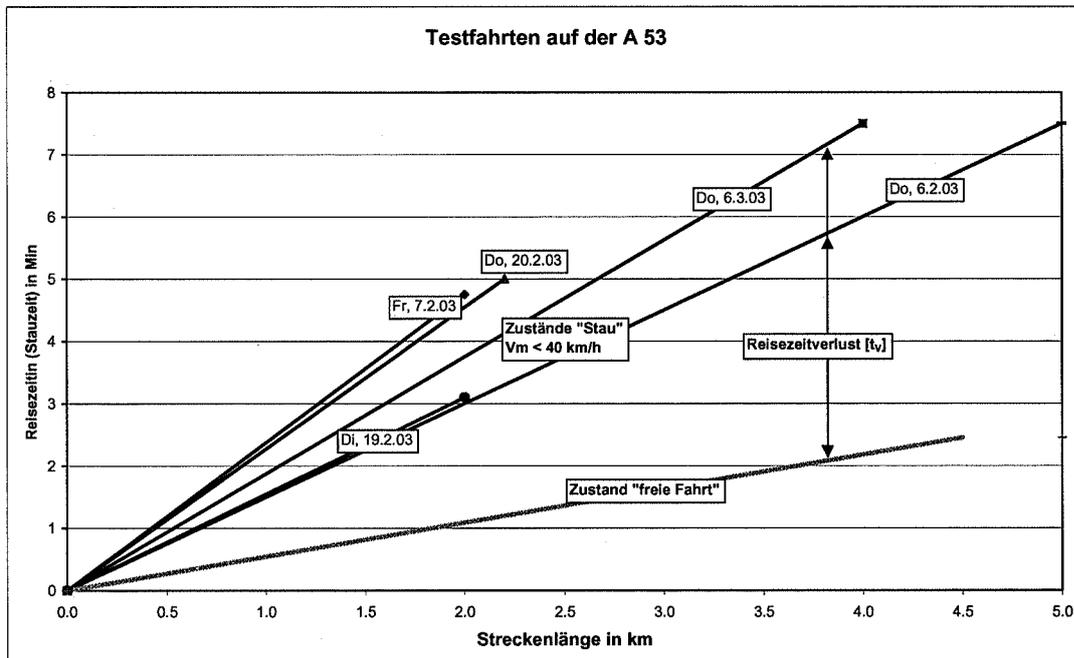


Blickrichtung Effretikon

Blickrichtung Winterthur Töss

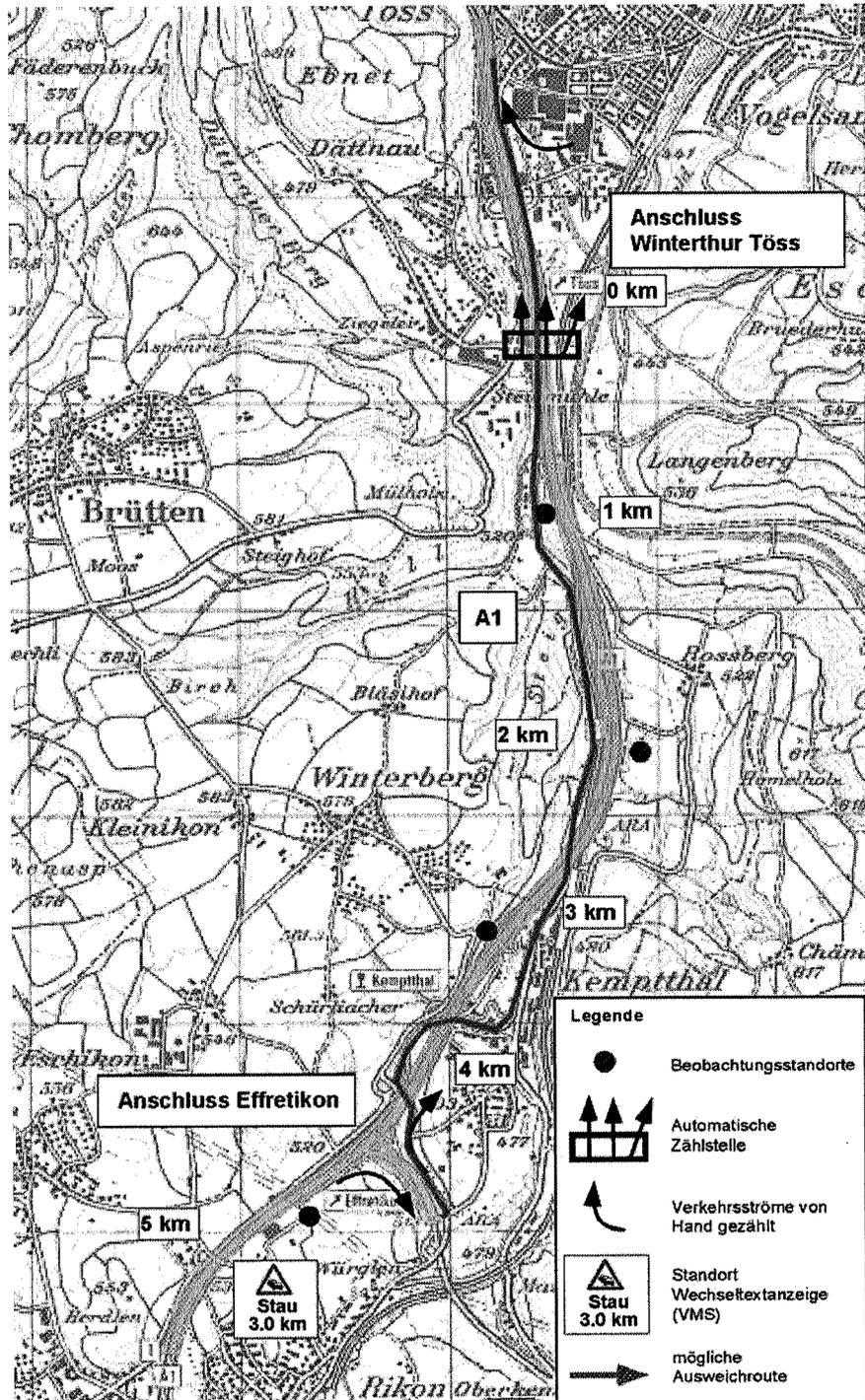
Die durchgeführten Testfahrten vor den Verkehrsuntersuchungen zeigten sowohl die vorhandenen Staulängen wie auch die Stauzeiten (aktuelle Reisezeiten) in der Abendspitze. Im „Normalfall“ ist auf der A1 ein Rückstau vor der Ausfahrt Töss von ca. 2.0 km zu verzeichnen. Die resultierende mittlere Geschwindigkeit liegt zwischen 25 und 40 km/h. Die Stauzeit liegt für diese Rückstaulängen bei ca. 5 Minuten.

Abbildung 21 Testfahrten mit erhobenen Reisezeiten (Stauzeiten) und Staulängen auf der A1 Effretikon – Winterthur Töss



Die Versuche wurden jeweils am Donnerstag in der Abendspitzenstunde von 16.30 bis 18.30 Uhr durchgeführt. Der in die Untersuchung einbezogene Streckenabschnitt weist eine Länge von ungefähr 5,00 km auf. Nachstehende Abbildung zeigt den Streckenabschnitt, die Standorte der Beobachter, die automatischen Zählstellen sowie den Standort der Wechselltextanzeige (VMS), welche die Verkehrsinformationen an die Verkehrsteilnehmer übermittelt.

Abbildung 22 Situation Versuchsordnung Feldversuch 2



5.6.2 Versuchsanordnung Referenzzustand ZST 1

„generelle Verkehrsinformation über Radio, ohne detaillierte Information zum Streckenabschnitt“	
Untersuchungszeitraum:	Freitag, 28. Februar 2003, 16:30 bis 18:30 Uhr (Zähler ausgestiegen) Donnerstag, 6. März 2003, 16:30 bis 18:30 Uhr
Art der Messung:	Automatische Verkehrserhebung auf der A1 im Bereich Winterthur Töss, Zählungen „von Hand“ in den Anschlussbereichen „Effretikon“ und „Winterthur Töss“

Abbildung 23 Verkehrsbelastungen für den Referenzzustand (ZST 1-1) auf der A1 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/h)

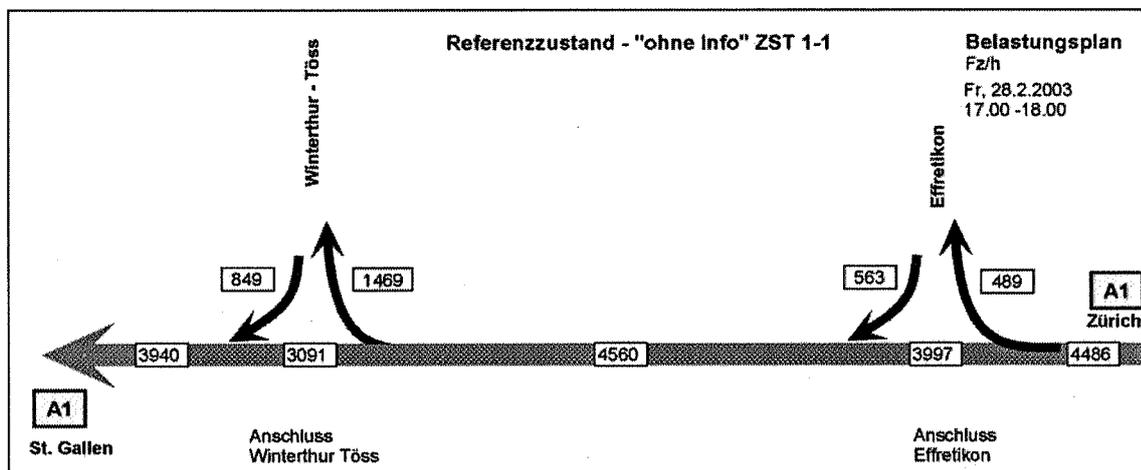
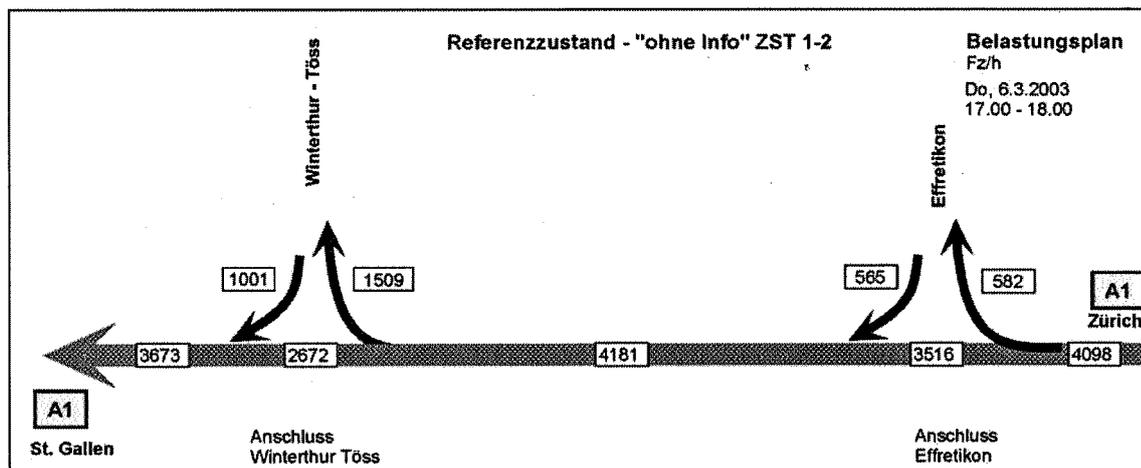


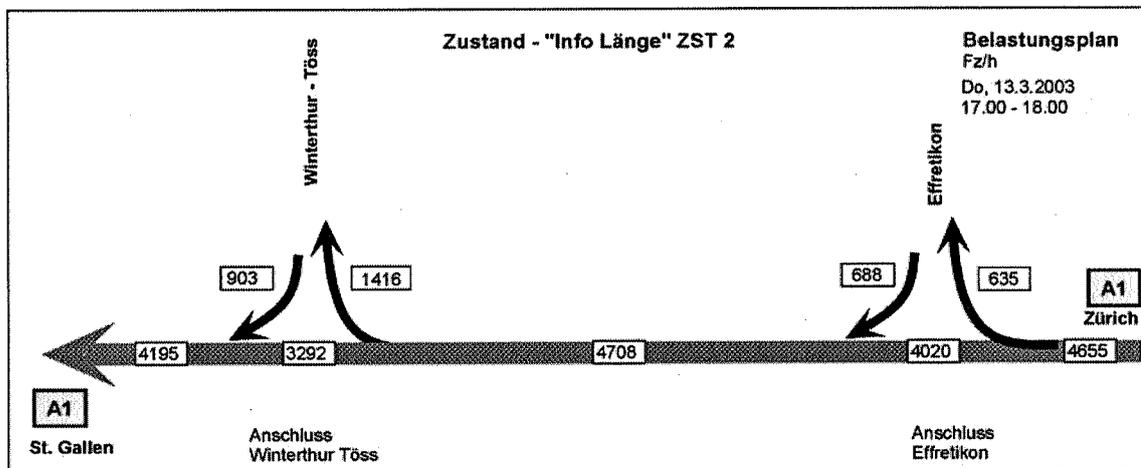
Abbildung 24 Verkehrsbelastungen für den Referenzzustand (ZST 1-2) auf der A1 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/h)



5.6.3 Versuchsanordnung Information Staulänge – ZST 2

„detaillierte Verkehrsinformation zum Streckenabschnitt mittels Staulängen“	
Untersuchungszeitraum:	Donnerstag, 13. März 2003, 16:30 bis 18:30 Uhr (Info Länge)
Art der Messung:	Automatische Verkehrserhebung auf der A1 im Bereich Anschluss Winterthur Töss, Zählungen „von Hand“ in den Anschlussbereichen „Effretikon“ und „Winterthur Töss“.
Erfassung Staulängen:	Die Staulänge wird durch die Beobachter alle 5 Minuten aktualisiert. Die Daten werden an den Koordinator weitergeleitet. Dieser sendet die Information über die aktuelle Staulänge per SMS an die Wechselltextanzeige. Die Verkehrsteilnehmer auf der A 1 erhalten dadurch die aktuellen Informationen zur Staulänge alle 5 Minuten.

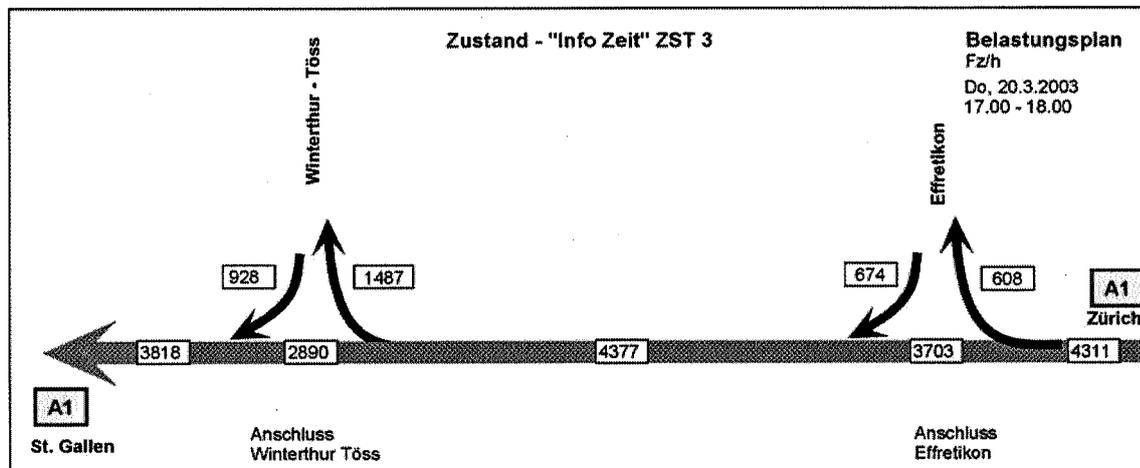
Abbildung 25 Verkehrsbelastungen für den Zustand Info Länge (ZST 2) auf der A1 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/h)



5.6.4 Versuchsanordnung Information Stauzeit – ZST 3

„detaillierte Verkehrsinformation zum Streckenabschnitt mittels Stauzeit“	
Untersuchungszeitraum:	Donnerstag, 20. März 2003, 16:30 bis 18:30 Uhr (Info Zeit)r
Art der Messung:	Automatische Verkehrserhebung auf der A1 im Bereich Anschluss Winterthur Töss, Zählungen „von Hand“ in den Anschlussbereichen „Effretikon“ und „Winterthur Töss“.
Erfassung Stauzeit:	Die Beobachter erheben die Fahrzeit bei Stau oder stockendem Verkehr zwischen zwei markierten Bezugspunkten und melden die Information an den Koordinator weiter. Anhand der gemessenen, einzelnen Zwischenzeiten wird die gesamte Stauzeit berechnet. Die totale Stauzeit wird per SMS an die Wechseltextanzeige weitergeleitet. Die Verkehrsteilnehmer auf der A 1 erhalten die aktuellen Informationen zur Stauzeit alle 5 Minuten.

Abbildung 26 Verkehrsbelastungen für den Zustand Info Zeit (ZST 3) auf der A1 und bei den Autobahnanschlüssen (Fz/h)



6 Resultate und Analyse

6.1 Hypothesen

Für die Auswertung und Analyse der Daten werden vorgängig Hypothesen formuliert, welche von den Ergebnissen zu bestätigen oder zu widerlegen sind. Die Hypothesen orientieren sich an den zentralen Fragestellungen zur Forschung und werden unterschieden einerseits hinsichtlich Wirkung und Reaktion der Verkehrsteilnehmer, andererseits hinsichtlich dem Ort der Information.

Dem Standort der Verkehrsinformation kommt insofern eine Bedeutung zu, als die Verkehrsteilnehmer auch die Möglichkeit haben, auf diese Information zu reagieren. Das heisst, nach der Informationsübermittlung und vor der gemeldeten Staustelle muss eine Alternative auf dem Strassennetz bestehen (in der Versuchsanordnung ist dies beim Versuch 1 der Anschluss Hegnau und das Hauptverkehrsstrassennetz, beim Versuch 2 der Anschluss Winterthur Töss und das untergeordnete Hauptverkehrsstrassennetz).

Abbildung 27 Ausweichverkehr beim Anschluss Hegnau (Feldversuch 1) verlässt die Autobahn um die Staustelle zu umfahren



Die zentralen Fragestellungen und die daraus abgeleiteten Hypothesen sind nachstehend aufgeführt.

Fragestellungen:

- Hat die angezeigte Information eine Wirkung auf die Verkehrsteilnehmer (sind vermehrt Ausfahrten von der Autobahn festzustellen) und wenn ja, wie gross sind diese Verlagerungen?
- Wie ist der Reaktion der Verkehrsteilnehmer infolge der Information (Staulänge oder Stauzeit)? Welche Information (Stauzeit oder Staulänge) ist „besser“ bezüglich unerwünschter Ausweichrouten?
- Wo soll der Standort der Information sein?

Hypothesen

... bezüglich Wirkung und Reaktion der Verkehrsteilnehmer:

Hypothese 1: Eine Information (sei es „Staulänge“ oder „Stauzeit“) mittels Wechseltextanzeige hat eine „spürbare“ Wirkung auf die Verkehrsteilnehmer.

Hypothese 2: Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem durch die Information (Staulänge oder Stauzeit) bekannt gegebenen Stausmass und der Fahrzeugmenge, welche die Autobahn verlässt.

Hypothese 3: Die Information über die „Staulänge“ hat eine stärkere Auswirkung, d.h. diese Information hat einen stärkeren Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer als die Information über die „Stauzeit“.

... bezüglich Ort der Information:

Hypothese 4: Alternative Verbindungen auf dem Hauptverkehrsstrassennetz werden als Umfahrungen benutzt, sofern die Fahrzeuglenker dadurch einen Zeitgewinn erwarten.

6.2 Verifizierung der Hypothesen mittels den Ergebnissen aus den beiden Versuchen

Die Untersuchung basiert im wesentlichen auf dem Zusammenhang zwischen Art und Grösse der Information (Staulänge und Anzahl Kilometer, Stauzeit und Anzahl Minuten) und der zusätzlichen Verkehrsbelastungen auf den Autobahnausfahrten vor der Staustelle. Damit die Reaktionen und Auswirkungen der Verkehrsteilnehmer infolge der Verkehrsinformation repräsentativ untersucht werden können, basieren die Auswertungen auf den Anteilsätzen des ausfahrenden Verkehrs an der Gesamtbelastung auf der Autobahn.

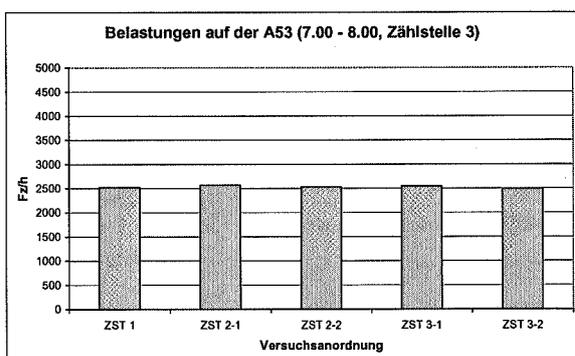
Für die Feldversuche wurden nachstehende Zustände ZST 1 - „ohne Information“, ZST 2 - „Information über die Staulänge“ und ZST 3 - „Information über die Stauzeit“ untersucht:

Der Feldversuch 1 wurde in der Periode von Mitte September bis Anfangs Oktober durchgeführt. Nachstehende Abbildung zeigt, dass der Referenzzustand ZST 1 „ohne Information“ vom 17.9.02 nahezu auf allen in die Untersuchung einbezogenen Querschnitten geringfügig höhere Belastungen aufweist als während den Feldversuchen.

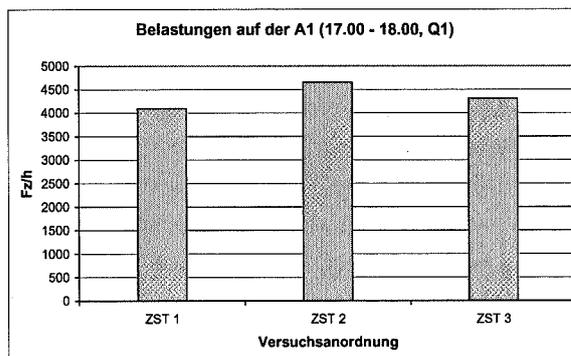
Der Feldversuch 2 wurde in der Periode von Anfang bis Mitte März 2003 durchgeführt. Die Zustände zeigen geringfügige Differenzen. Leider hat sich nach der Durchführung der Feldversuche herausgestellt, dass bei der Aggregation der Messwerte von der automatischen Zählstelle auf der Autobahn A1 bei der Zuständen ZST 1-1 und ZST 3 Fehler aufgetreten ist. Zur Verfügung standen deshalb nur Stundenwerte.

Abbildung 28 Vergleich der Belastungen auf der Autobahn A53 (Versuch 1) und A1 (Versuch 2) im Bereich der Anschlüsse während der Untersuchungsperiode

Feldversuch 1



Feldversuch 2



6.2.1 Hypothese 1: Verkehrsinformation hat signifikante Wirkung

Hypothese 1:

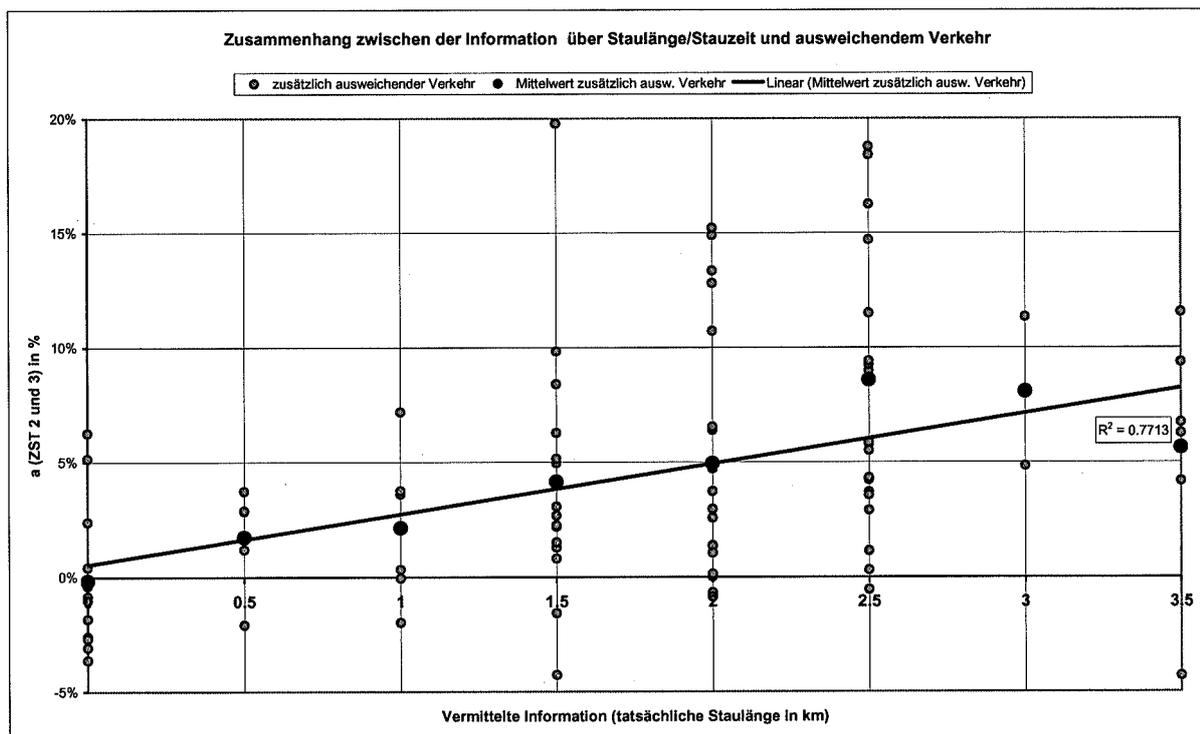
Eine Information (sei es „Staulänge“ oder „Stauzeit“) mittels Wechseltextanzeige (VMS) hat eine „spürbare“ Wirkung auf die Verkehrsteilnehmer.

Feldversuch 1: A53 Hegnau - Brüttisellerkreuz

Die Beurteilung der Wirkung der zusätzlichen Verkehrsinformation erfolgt auf der Grundlage der ausfahrenden Fahrzeuge über den vor der Staustelle liegenden Autobahnanschluss in Hegnau (vgl. Abb. 12). Die statistische Überprüfung basiert auf den Anteilssätzen der Verkehrsbelastung auf der A53 (Referenzzustand/Zustand mit Verkehrsinformation) und der Verkehrsbelastung auf der Autobahnausfahrt in Hegnau. Daraus ersichtlich sind auch die Veränderungen der Verkehrsbelastungen auf der Ausfahrt in Fahrtrichtung Wangen. Diese Fahrtrichtung bietet sich an um den Stau zu umfahren (siehe auch die Belastungspläne Abbildungen 16 bis 22).

Nachstehende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Staulänge und die Reaktion der Verkehrsteilnehmer. Ersichtlich wird aus diesem Diagramm der signifikante Zusammenhang zwischen der Information und der Reaktion der Verkehrsteilnehmer. Es geht weiter daraus hervor, dass mit zunehmender Staulänge/Reisezeit auch eine stärkere Reaktion bei den Verkehrsteilnehmern erfolgt (Hypothese 2).

Abbildung 29 Zusammenhang Information Staulänge/Stauzeit (beide Informationszustände) und ausweichendem Verkehr beim voranliegenden Autobahnanschluss Hegnau

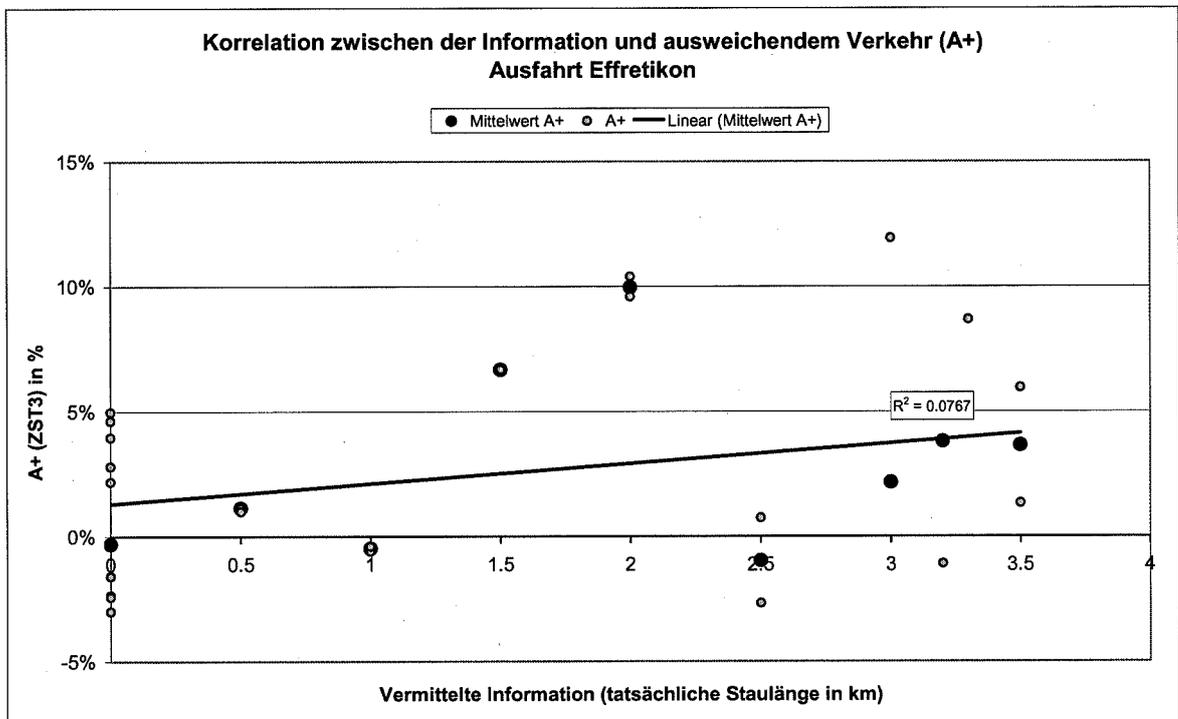


Feldversuch 2: Effretikon – Winterthur Töss

Folgende Abbildung zeigt, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen der angezeigten Verkehrsinformation von Staulänge und die Reaktion der Verkehrsteilnehmer besteht. Die angenommene mögliche Ausweichroute zwischen Anschluss Effretikon und Anschluss Töss hat sich nicht bestätigt (siehe Hypothese 4).

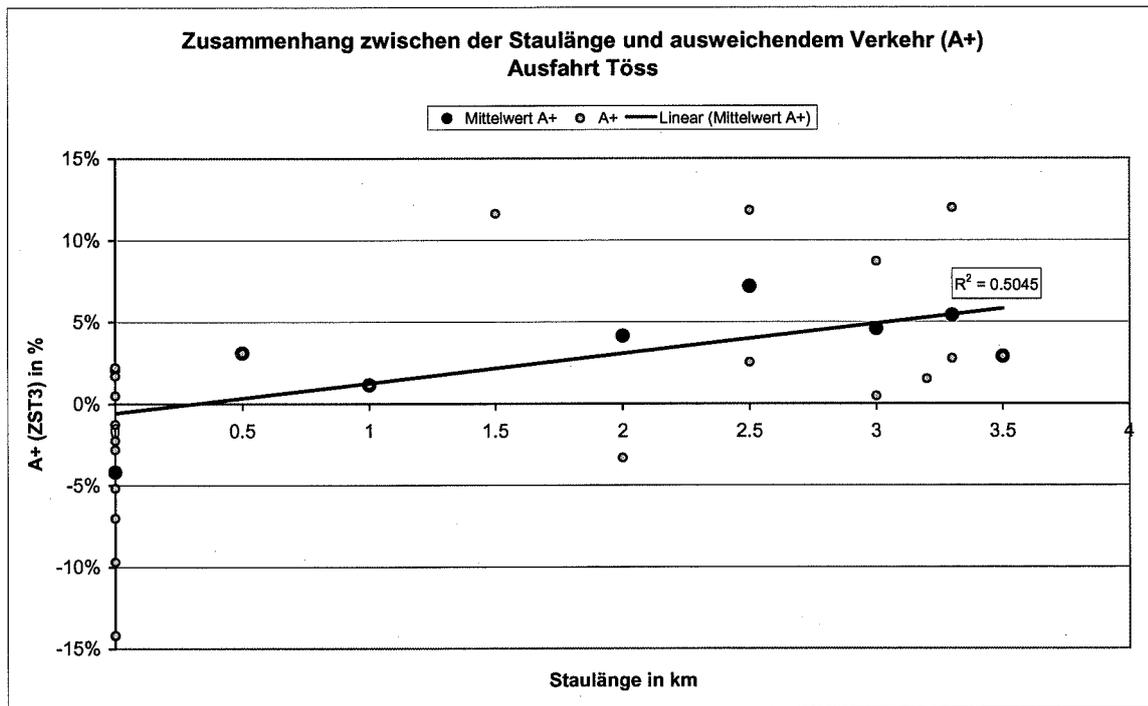
Gründe dafür sind möglicherweise die relativ tiefen Werte der Staulänge (jeweils in der Abendspitzenstunde sind die Rückstaulängen in dieser Grossenordnung) oder die verhältnismässig lange Alternativroute mit mehreren Netzwideständen (Knoten mit Rechtsvortritt).

Abbildung 30 Zusammenhang Information „Staulänge/Stauzeit“ und ausweichendem Verkehr beim voranliegenden Anschluss Effretikon



Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen ausweichendem Verkehr und der beobachteten Staulänge. Diese Abbildung zeigt, dass die Verkehrsteilnehmer der voranliegenden Stauwurzel durch die Stadt auswichen.

Abbildung 31 Zusammenhang Staulänge und ausweichendem Verkehr beim nächsten Autobahnanschluss Winterthur Töss



Fazit:

Die strassenseitige Verkehrsinformation on-trip über Stausituationen führte im Vergleich zu einer Situation ohne diese Zusatzinformation nicht in allen Untersuchungsfällen zu vermehrtem Ausweichen auf das untergeordnete Strassennetz. Deswegen sind zur Ermittlung der Auswirkungen vorgängige ortsbezogene Feldversuche mit mobilen Wechseltextanzeigen notwendig.

Bei kleinen Staus (bis 1.0 km) hat die Verkehrsinformation keine oder eine sehr kleine Wirkung.

6.2.2 Hypothese 2: Zusammenhang zwischen dem bekannt gegebenen Staumass und der Anzahl beeinflusster Fahrzeuge

Hypothese 2:

Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem durch die Information (Staulänge oder Stauzeit) bekannt gegebenen Stauausmass und der Fahrzeugmenge, welche die Autobahn verlässt.

Die Beurteilung der Wirkung des Informationsinhalts – also die jeweilige Grösse der Staulänge oder der Reisezeit – auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer erfolgt für jede Versuchsanordnung in 5 Min.- Intervallen. Dabei wurde für jedes Intervall die aktuelle Verkehrsinformation und die gegenüber dem Referenzzustand zusätzlich ausfahrende Verkehrsmenge über den Autobahnanschluss vor der Staustelle ermittelt.

Feldversuch 1: A53 Hegnau - Brüttisellerkreuz

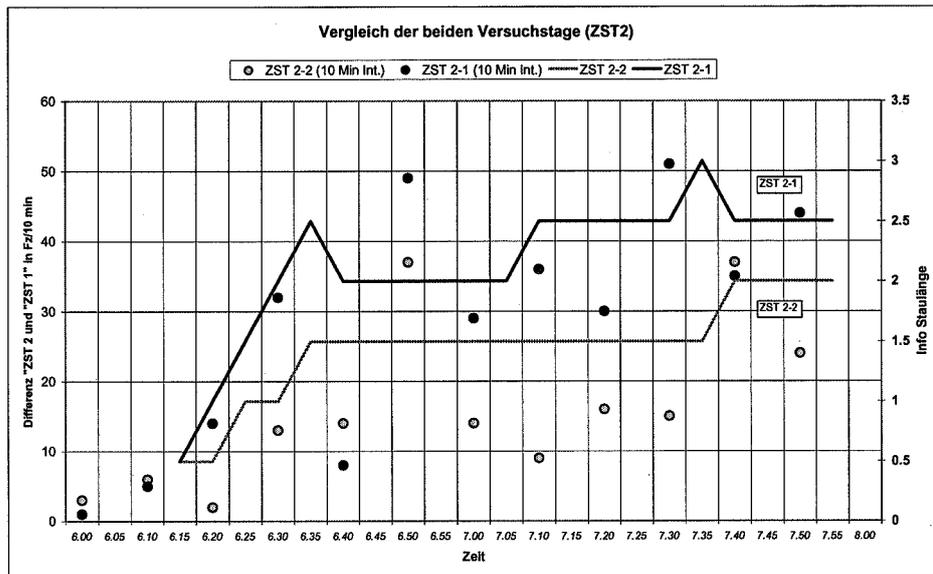
Die Abbildungen 32 und 34 zeigen für die beiden Zustände „Verkehrsinformation Staulänge“ und „Verkehrsinformation Stauzeit“ jeweils die aktuelle Staumeldung und in der Folge die zusätzlich ausfahrenden Fahrzeuge an der voranliegenden Autobahnausfahrt. Hierbei wurden die ausfahrenden Fahrzeuge zu 10 Min.- Intervallen zusammengefasst, um die verzögerte Wirkung der Verkehrsinformation mit zu erfassen. Allein aus diesen Diagrammen ist - mit einigen Abweichungen - der Zusammenhang zwischen der Grösse des Staus und der Reaktion der Verkehrsteilnehmer gut ersichtlich. Die Korrelationen zwischen der Verkehrsinformation und dem Verkehrsverhalten (Ausweichverkehr) sind in den Abbildungen 33 und 35 dargestellt.

Versuchsanordnung Staulänge (ZST 2)

In der Versuchsanordnung „Staulänge“ vom 24. September 2002 (Info Länge 1, roter Verlauf) konnte bereits ab 06:15 Uhr Stau signalisiert werden. Die Staulänge wuchs in der Folge auf 2.0 bis 2.5 km an und erreicht um 7:35 Uhr ihr Maximum mit 3.0 km. Als Reaktion wurden auf der voranliegenden Autobahnausfahrt zwischen 30 bis 50 zusätzlich ausfahrende Fahrzeuge / 10 Minuten registriert.

In der Versuchsanordnung Staulänge vom 26. September 2002 wurde ebenfalls ab 06:15 Uhr Stau signalisiert. Die Staulänge wuchs in der Folge auf 1.5 km an und erreicht um 7:40 Uhr ihr Maximum mit 2.0 km. Die durch die Verkehrsinformation zusätzlich ausfahrenden Fahrzeuge liegen bei 15 Fahrzeugen / 10 Minuten und erreichten zweimal Werte über 35 Fahrzeuge / 10 Minuten.

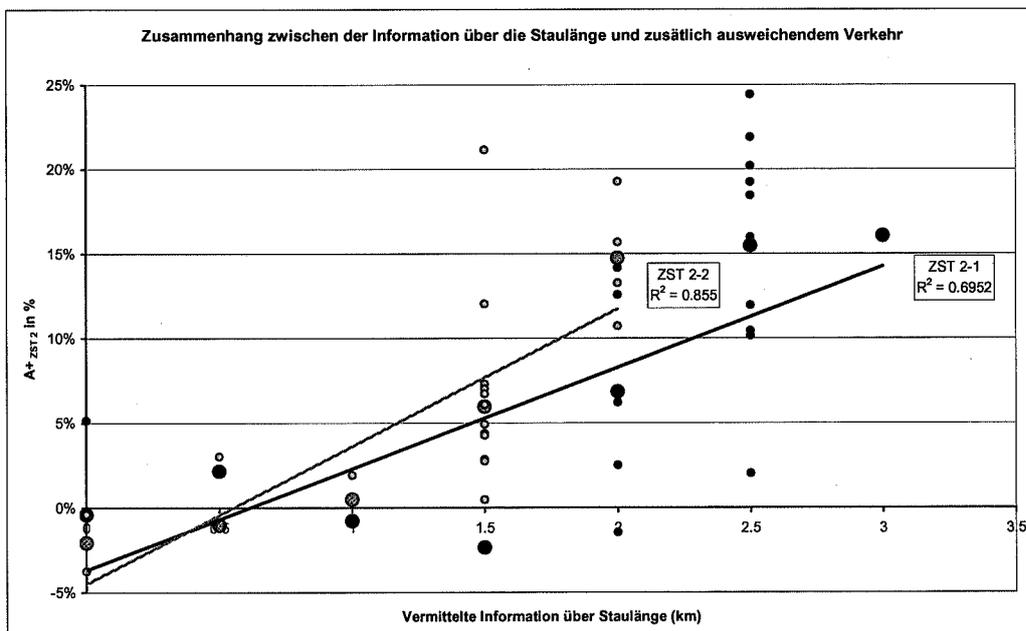
Abbildung 32 Zusammenstellung und Vergleich der beiden Feldversuche Information der Staulänge und Reaktion der Verkehrsteilnehmer (zusätzlich ausfahrende Fahrzeuge Richtung Wangen)



Aus den Datengrundlagen (Abbildung 32) wird der Zusammenhang zwischen der Informationsgrösse und der Auswirkung ermittelt. Dieser wird mit einer Regressionsgerade angeglichen. Nachstehende Abbildung zeigt ähnliche Auswirkungen für die beiden Feldversuche mit der Staulänge.

Der naheliegende Schluss, anhand der Korrelationen die verkehrlichen Auswirkungen der Verkehrsinformation Staulänge ermittelt werden können, gilt bestenfalls für die entsprechende Versuchsanordnung am Brüttsellerkreuz, ist aber nicht auf andere Abschnitte übertragbar (Vorhandensein/Attraktivität von Ausweichrouten etc.).

Abbildung 33 Korrelationen von Staulänge und zusätzlich ausweichendem Verkehr (Mittelwerte)

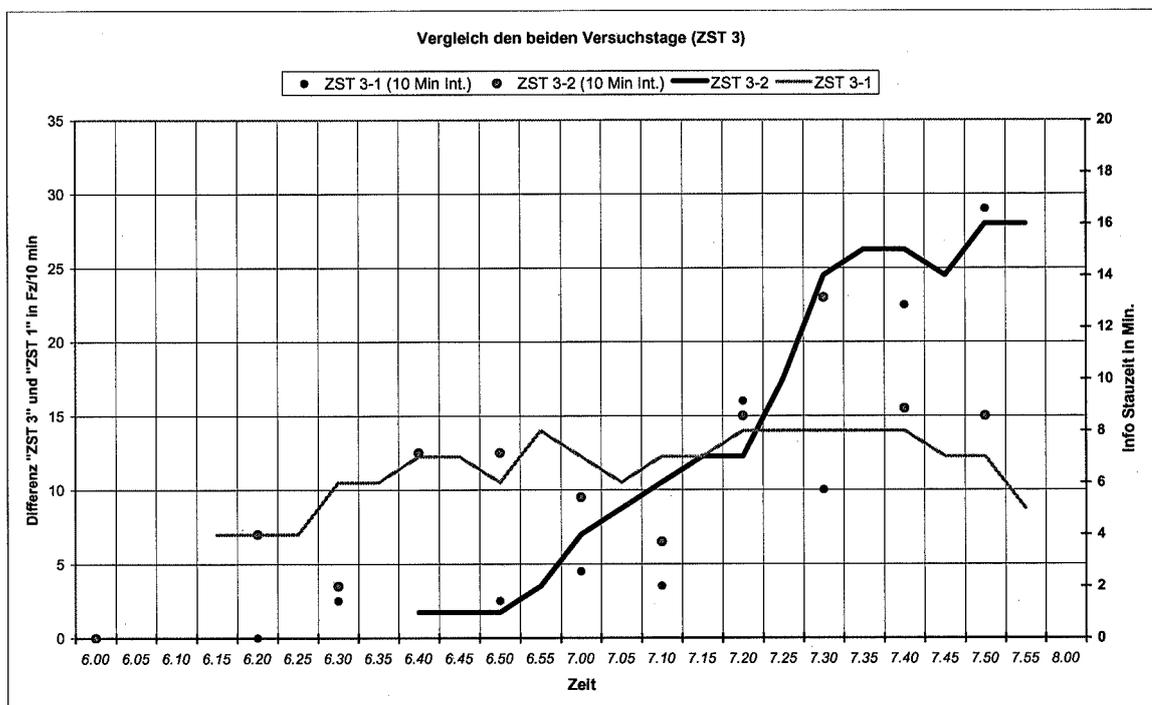


Versuchsordnung Stauzeit (ZST 3)

In der Versuchsordnung „Stauzeit“ vom 1. Oktober 2002 (Info Zeit 1, blauer Verlauf) konnte bereits ab 06:10 Uhr Stauzeit signalisiert werden. Die Stauzeit wuchs in der Folge auf 6 bis maximal 8 Minuten an und betrug gegen Ende der Erhebungsdauer noch 5 Minuten. Als Reaktion wurden auf der voranliegenden Autobahnausfahrt zwischen 10 bis 15 zusätzlich ausfahrenden Fahrzeuge / 10 Minuten und nur einmal ein Maximum von 23 ausfahrenden Fahrzeugen festgestellt.

In der Versuchsordnung „Stauzeit“ vom 3. Oktober 2002 wurde erst ab 06:40 Uhr Stau signalisiert. Die Stauzeit wuchs in der Folge aber bis auf 16 Minuten an. Die durch die Verkehrsinformation zusätzlich ausfahrenden Fahrzeuge liegen zwischen 25 bis 30 Fahrzeugen / 10 Minuten.

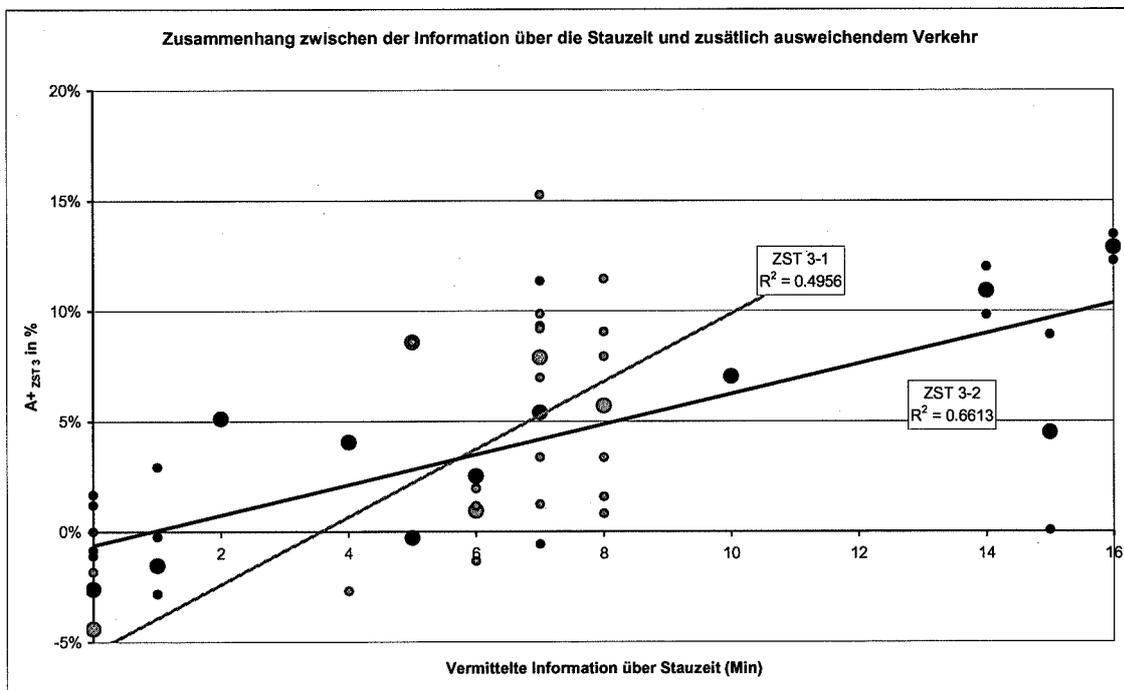
Abbildung 34 Zusammenstellung und Vergleich der beiden Feldversuche Information der Stauzeit und Reaktion der Verkehrsteilnehmer (zusätzlich ausfahrende Fahrzeuge Richtung Wangen)



Aus den Datengrundlagen (Abbildung 34) wird der Zusammenhang zwischen der Informationsgrösse und der Auswirkung ermittelt. Dieser wird mit einer Regressionsgerade angeglichen. Nachstehende Abbildung 35 zeigt die Regressionsgeraden und das Bestimmtheitsmass für die beiden Feldversuche mit der Stauzeit.

Der Zusammenhang der Verkehrsinformation „Stauzeit“ und in der Folge die Wirkung auf das Verkehrsverhalten (Ausweichverkehr) gilt bestenfalls für die entsprechende Versuchsanordnung und ist nicht auf andere Abschnitte übertragbar.

Abbildung 35 Korrelationen von Stauzeit und zusätzlich ausweichendem Verkehr



A1: Effretikon – Winterthur Töss

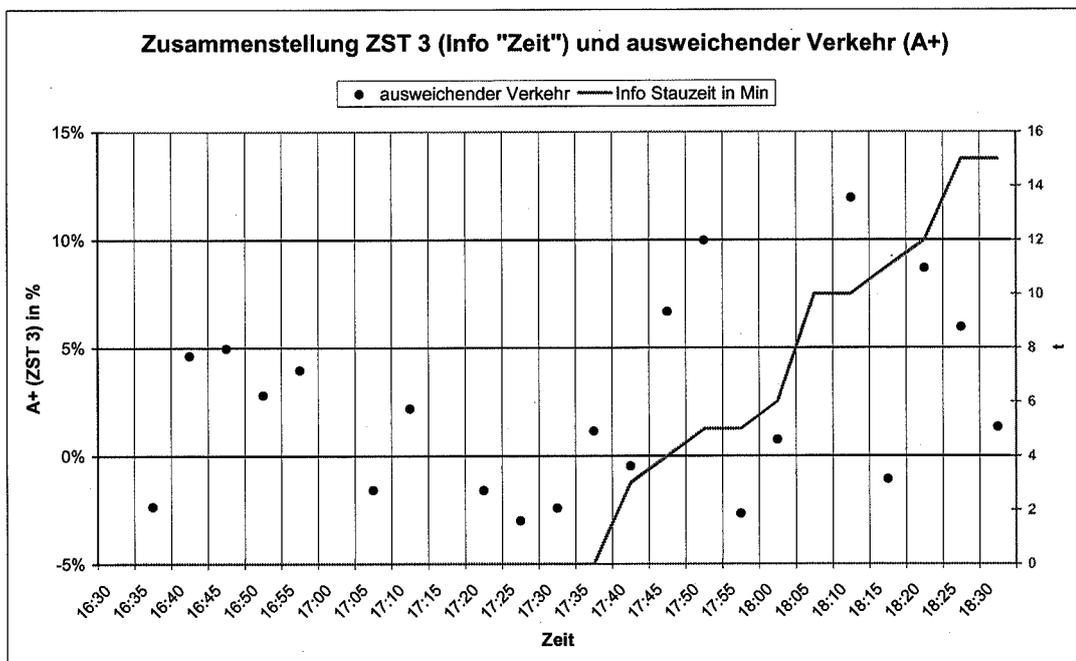
Versuchsordnung Staulänge (ZST 2)

Bei der Versuchsordnung Staulänge vom 13. März 2003 (Info Länge ZST 2) konnten die Belastungen auf der A1 intervallmässig nicht erfasst werden. Deswegen konnten auch die Anteilsätze zum Vergleich mit den anderen Zustände nicht ausgewertet werden.

Versuchsordnung Stauzeit (ZST 3)

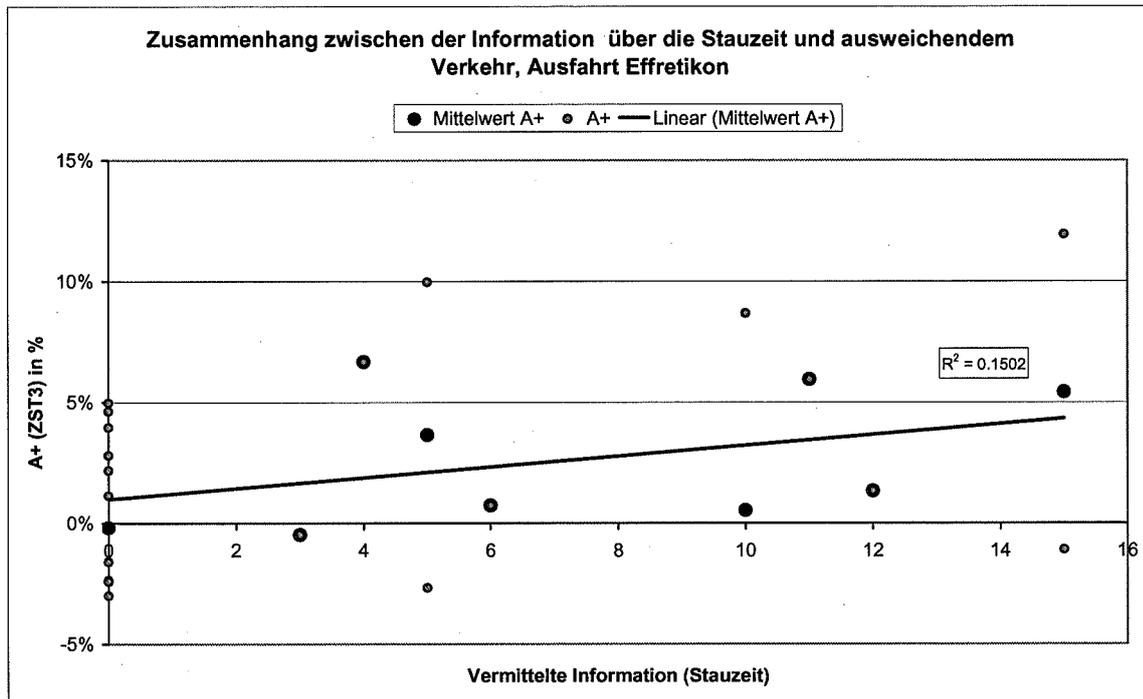
In der Versuchsordnung Stauzeit vom 20. März 2003 (roter Verlauf) konnte ab 17:40 Uhr Stauzeit signalisiert werden. Die Stauzeit wuchs in der Folge bis maximal 15 Minuten an.

Abbildung 36 Zusammenstellung Information über Stauzeit und Reaktion der Verkehrsteilnehmer (zusätzlich ausfahrende Fahrzeuge Richtung Effretikon)



Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse. Ein Zusammenhang zwischen der angezeigten Verkehrsinformation „Stauzeit“ und der Reaktion der Verkehrsteilnehmer konnte nicht festgestellt werden. Die angenommene mögliche Ausweichroute zwischen dem Anschluss Effretikon und dem Anschluss Winterthur Töss hat sich nicht bestätigt (siehe auch Hypothesen 1 und 4).

Abbildung 37 Korrelationen von Stauzeit und ausweichendem Verkehr



Fazit

Die Verhaltensänderung hängt massgeblich vom durch die Information bekannt gegebenen Stauausmass ab. Die Ankündigung hoher Stauzustände hat im untersuchten Streckenabschnitt zeitweise zu Ausweichfahrten von bis zu 25% des Gesamtverkehrs (Querschnittsbelastung auf der A53) geführt.

Auswirkungen durch die Verkehrsinformation sind aber nicht übertragbar, sondern von der jeweiligen Situation und allfälligen alternativen Verbindungen abhängig.

6.2.3 Hypothese 3: Angabe Staulänge ist „abschreckender“ als Stauzeit

*Hypothese 3:
Die Information über die „Staulänge“ hat eine stärkere Auswirkung, d.h. diese Information hat einen stärkeren Einfluss auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer als die Information von „Stauzeit“.*

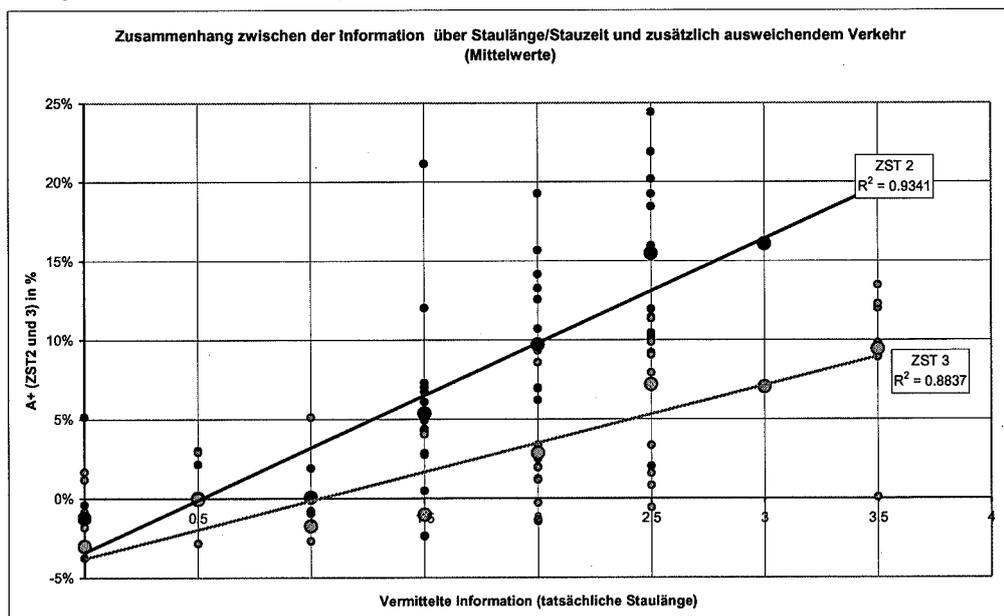
Feldversuch 1: A53 Hegnau - Brüttsellerkreuz

Die Beurteilung der Wirkung des unterschiedlichen Informationsinhalts erfolgt für gleiche Stauzustände, welche im einen Fall über die Information der aktuellen Staulänge, im anderen Fall über die aktuelle Reisezeit ausgegeben werden. Verglichen werden die ausfahrenden Fahrzeuge über den vor der Staustelle liegenden Autobahnanschluss in Hegnau.

Es wird ersichtlich, dass beim gleichen Stauzustand die Angabe der Staulänge zu deutlich mehr Ausfahrten über den vorangehenden Autobahnanschluss führt als die Angabe der aktuellen Reisezeit. Die Information der Staulänge wirkt also „abschreckender“; es ist zu vermuten, dass dies der Fall ist, da sie einerseits nicht kalkulierbar ist, andererseits die Verkehrsteilnehmer längere Reisezeiten erwarten.

Die Überprüfung der Hypothese auf der A1 Effretikon – Winterthur Töss (Feldversuch 2) war nicht möglich, da die 5 Min-Intervalle auf der A1 bei der ZST-2 nicht erhoben werden konnten.

Abbildung 38 Zusammenhang Information Staulänge /Stauzeit und ausweichendem Verkehr (10 min Intervalle) beim voranliegenden Autobahnanschluss Hegnau



Fazit

Bei identischen Stauzuständen führt die schlechter einschätzbare Information der Staulänge zu mehr Ausweichverkehr wie die Information der aktuellen Reisezeit.

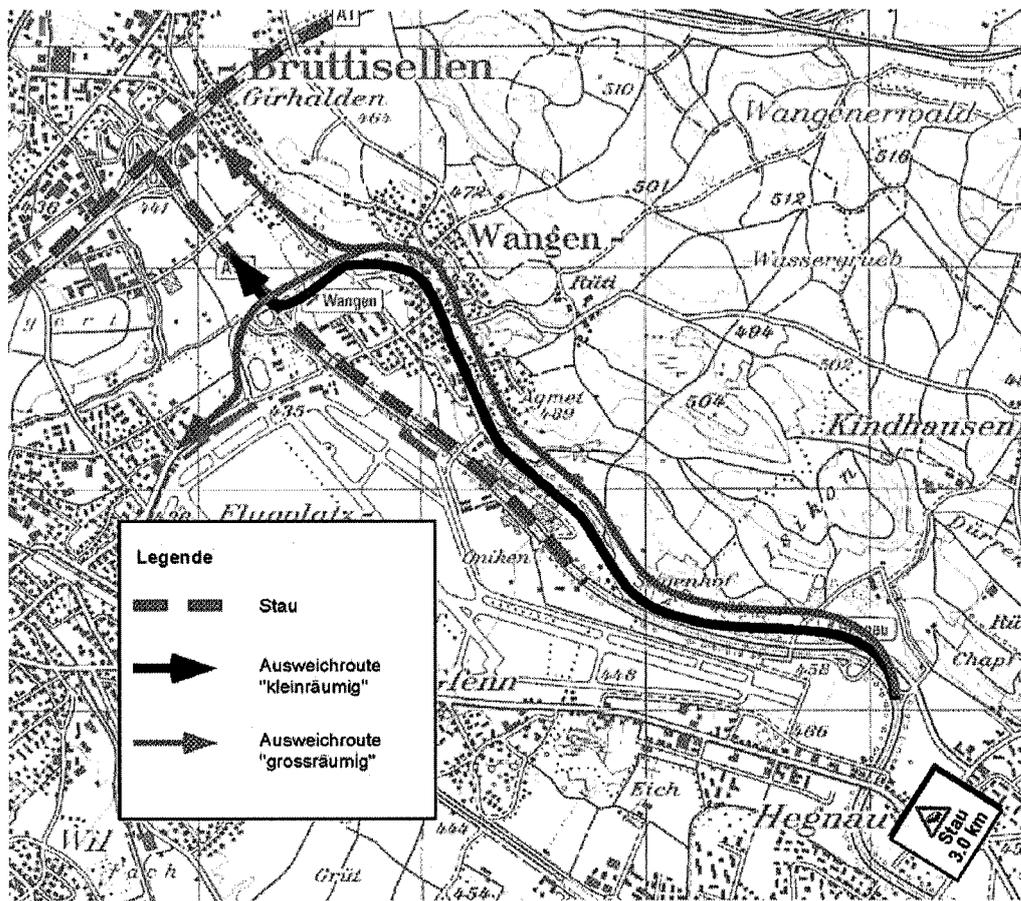
6.2.4 Hypothese 4: Standort der Information

*Hypothese 4:
Alternative Verbindungen auf dem untergeordneten Netz werden als Umfahrungen benutzt.*

Feldversuch 1: A53 Hegnau - Brüttisellerkreuz

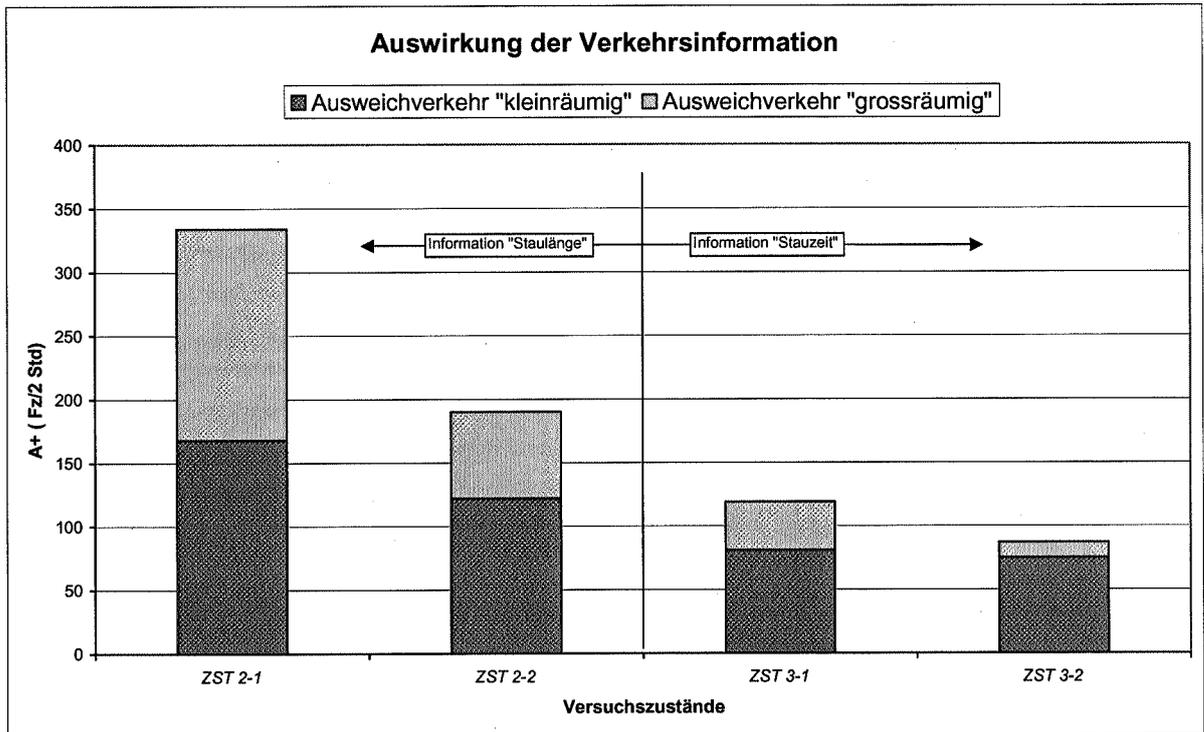
Die Feldversuche zeigen die Wirkung der Verkehrsinformation auf die Verkehrsteilnehmer auf. Dies äussert sich durch ein vermehrtes Ausfahren vor der Staustelle und eine höhere Belastung auf der alternativen Route über das Hauptverkehrsstrassennetz. Eine gute Grundlage bilden auch die Belastungspläne. Daraus ist ersichtlich, dass ein Anteil der Verkehrsteilnehmer der Staustelle über das untergeordnete Netz ausweicht, ein weiterer Anteil aber lediglich den Staubereich umfährt und am nächsten Anschluss wieder auf die Hochleistungsstrasse zurückkehrt.

Abbildung 39 Ausweichrouten bei dem Feldversuch 1



Diese Auswertungen zeigen auch die Bedeutung, die einem Standort für die strassenseitige Verkehrsinformation zukommt. Reaktionen von Verkehrsteilnehmern, respektive Auswirkungen durch die Verkehrsinformation, können natürlich nur vorkommen, wenn eine Alternative auch vorhanden und gewünscht ist.

Abbildung 40 Auswirkungen der Verkehrsinformation



Feldversuch 2: A1 Effretikon –Winterthur Töss

Bei diesem Feldversuch wurde angenommen, dass die Verkehrsteilnehmer über den Anschluss Effretikon auf der parallellaufenden Hauptstrasse die angekündigte Staustelle umfahren. Diese Annahme hat sich nicht bestätigt wie in den Regressionsanalysen gezeigt werden konnte. Es wurde deshalb der nachstehende Anschluss Winterthur Töss analysiert.

Abbildung 41 Angenommene Ausweichroute

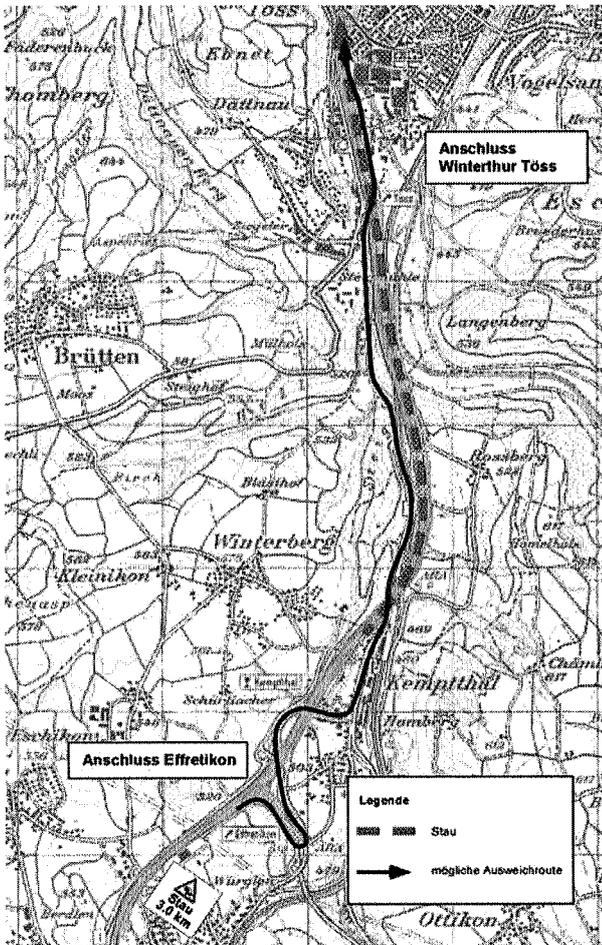
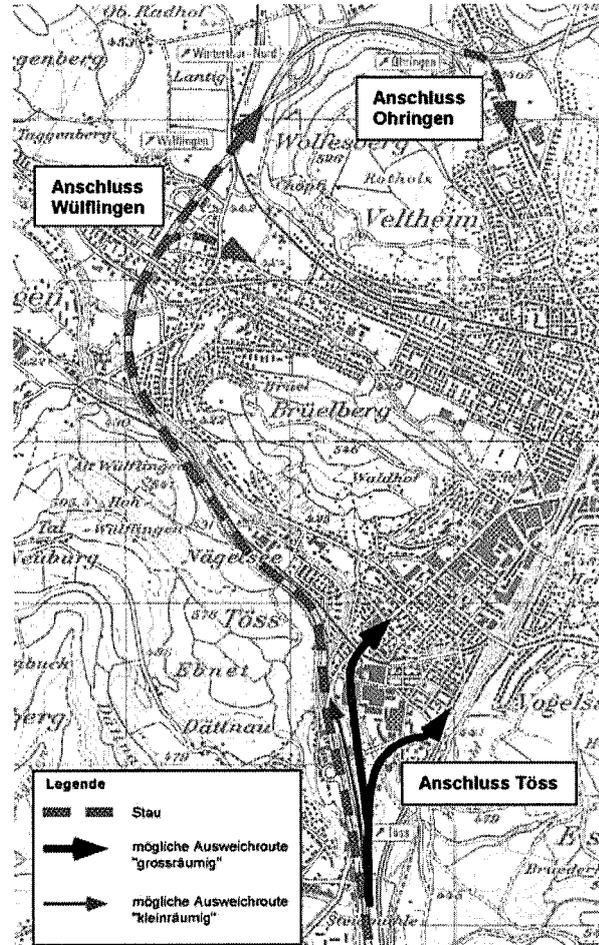
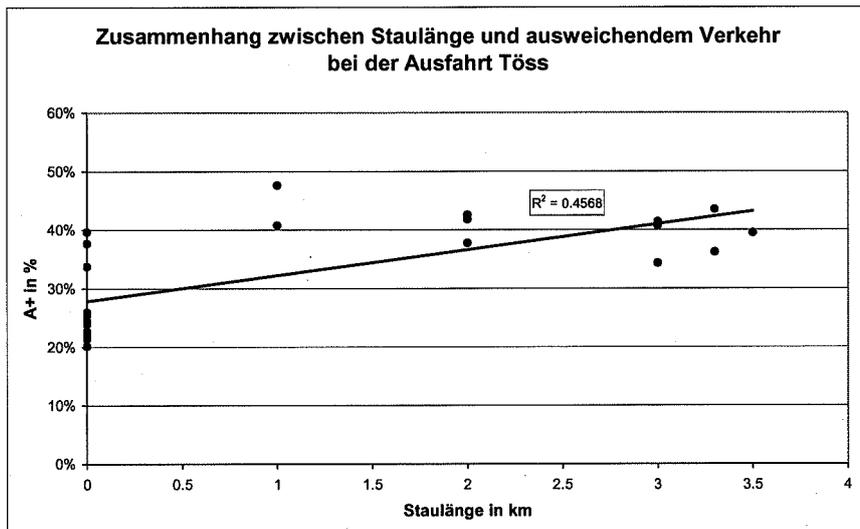


Abbildung 42 Ausweichroute beim Feldversuch 2



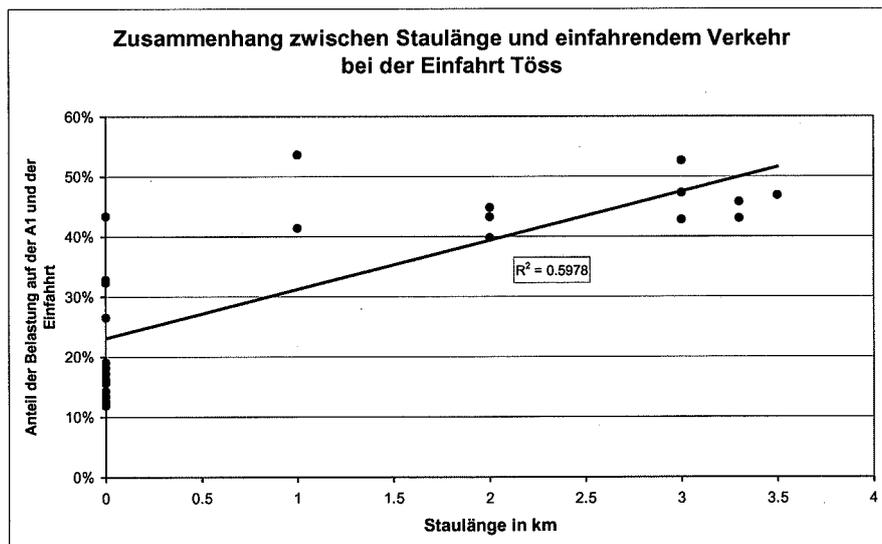
In Abbildung 43 sind die erhobenen Werte für den Ausweichverkehr bei m Anschluss Winterthur Töss in Abhängigkeit von den beobachteten Staulängen eingetragen. Die Regressionsanalyse zeigt einen Zusammenhang, d.h. die Verkehrsteilnehmer vermeiden die Umfahrung von Winterthur, stattdessen wird die Route durch die Stadt gewählt.

Abbildung 43 Zusammenhang effektive Staulänge und ausweichendem Verkehr (Mittelwerte) beim voranliegenden Autobahnanschluss Winterthur Töss



Es wurde eine „kleinräumige“ unerwünschte Umfahrung beobachtet (siehe Abbildung 42 schwarz dargestellt). In Abbildung 44 ist der Zusammenhang zwischen dem Anteil einfahrender Verkehr an der Belastung auf der Autobahn und der Staulänge dargestellt.

Abbildung 44 Zusammenhang effektive Staulänge und einfahrendem Verkehr (Mittelwerte) beim voranliegenden Autobahnanschluss Winterthur Töss



Fazit

Die Anwendung zusätzlicher Verkehrsinformationen on-trip kann zu unerwünschtem Ausweichverkehr führen. Bei der Standortwahl ist dies zu berücksichtigen. Eine Eignung ist an Standorten denkbar, wo Verkehr regelmässig auf das untergeordnete Strassennetz ausweicht um die Staustelle zu umfahren.

7 Beispiel zur Berechnung des Reisezeitverlustes

Dieses Beispiel zeigt der Ablauf zur Abschätzung von Staulängen und Verlustzeiten bei planerischen Aufgaben. Für Steuerung- Verkehrsbeeinflussungszwecke sind die Resultate unstabil. Das Beispiel zeigt die Messstelle Töss auf der A1 sowie den Verkehrsablauf zwischen 16:00 bis 19:30 Uhr dargestellt in den q-, V- und k-Ganglinien (Abb. 46). Daraus abgeleitet wurde ein idealisiertes Fundamentaldiagramm (Abb. 47).

Abbildung 45 Zählstelle TOESS 03 KAPO ZH – q-, V- und k Ganglinien

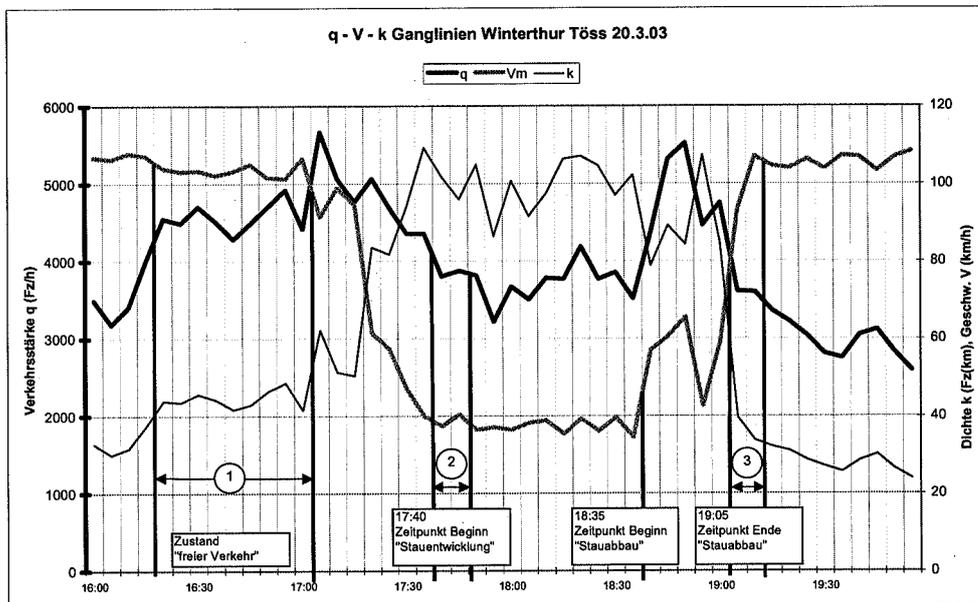
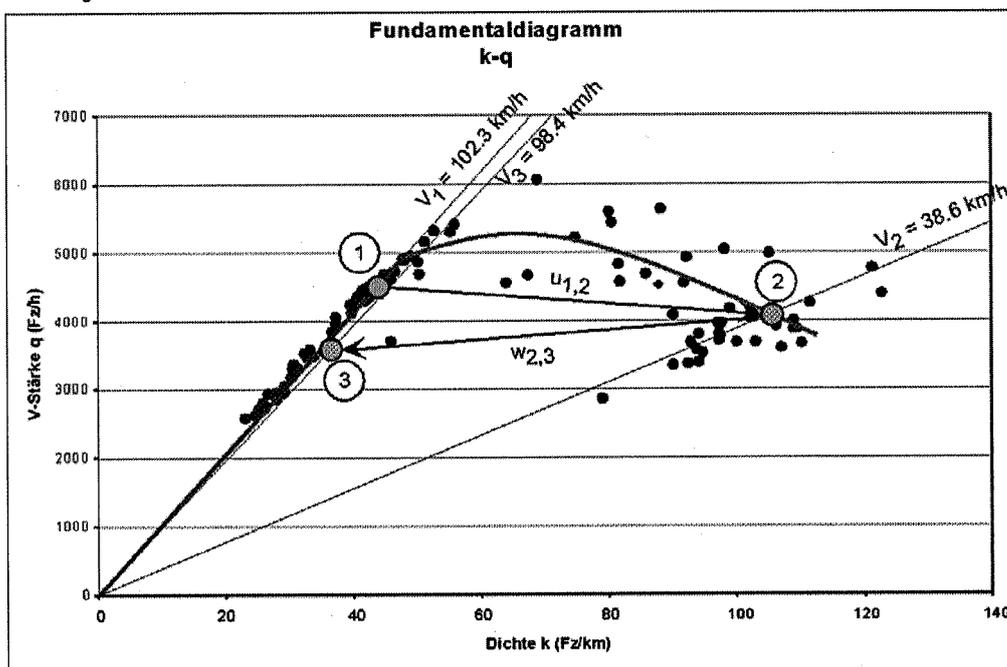


Abbildung 46 Zählstelle TOESS 03 KAPO ZH – idealisiertes Fundamentaldiagramm



Die Eingangsdaten zur Berechnung der Staulänge und der Verlustzeit können aus den Ganglinien wie folgt entnommen werden:

Eingangsdaten:

- ① $q_1 = 4500 \text{ Fz/h}; \quad k_1 = 44 \text{ Fz/km}; \quad V_1 = 102.3 \text{ km/h}$
- ② $q_2 = 4080 \text{ Fz/h}; \quad k_2 = 105.54 \text{ Fz/km}; \quad V_2 = 38.6 \text{ km/h}$
- ③ $q_3 = 4080 \text{ Fz/h}; \quad k_3 = 36.6 \text{ Fz/h}; \quad V_3 = 98.4 \text{ km/h}$

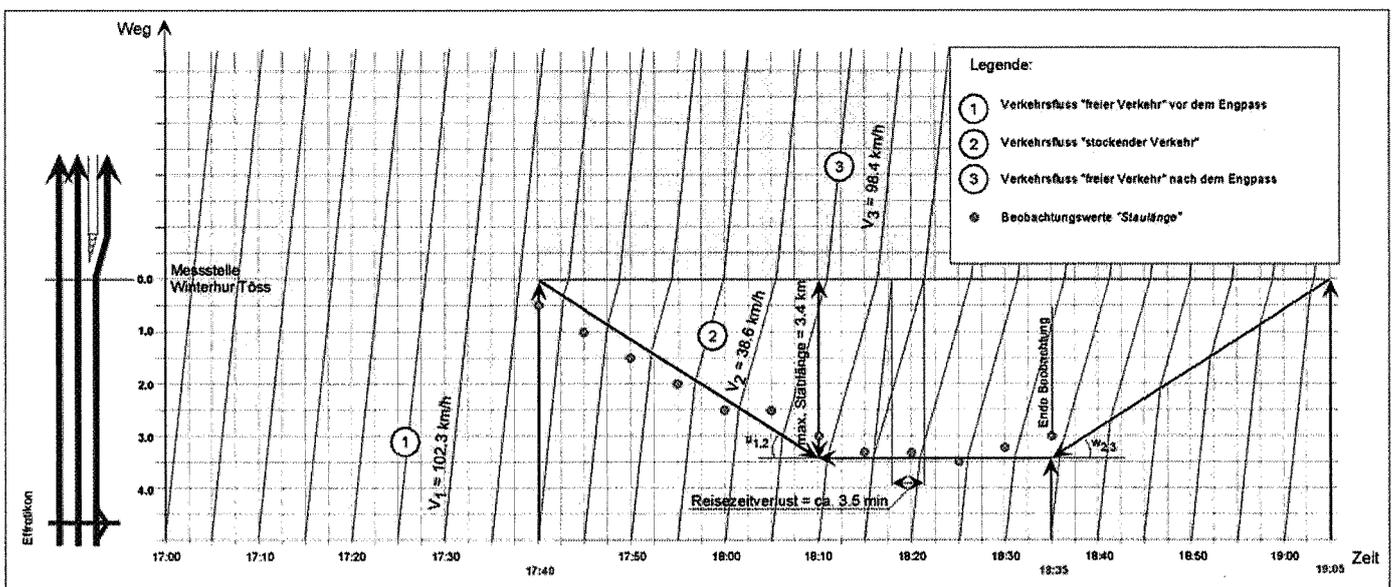
daraus ergibt sich die Berechnung der Staulänge und der Verlustzeit anhand des Fundamentaldiagramms:

Stauwellengeschwindigkeit: $u_{1,2} = (q_2 - q_1)/(k_2 - k_1) = -6.8 \text{ km/h}$
 Stosswellengeschwindigkeit: $w_{2,3} = (q_2 - q_3)/(k_2 - k_3) = 6.9 \text{ km/h}$

Maximale Staulänge (nach 30 min): $L_S = u_{1,2} \cdot t = 3.4 \text{ km}$
 Reisezeitverlust (ab Staubeginn): $t_V = L_S \cdot (1/V_2 - 1/V_1) = \text{ca. } 3.5 \text{ min}$

Nachstehende Abbildung zeigt in einem Weg-Zeit-Diagramm die Entstehung und den Verlauf der Störung im Verkehrsfluss. Darin abgebildet sind sowohl die während den Feldversuchen festgestellten und abgeschätzten Staulängen und Reisezeiten und – mit einer sehr guten Übereinstimmung – auch die gemäss Kapitel 3 berechneten Werte.

Abbildung 48 Graphische Darstellung des Beispiels



8 Einsatz der VMS/WTA (Variable Message Signs / Wechseltextanzeige), Nutzen und Qualität

Dem Einsatz von Wechseltextanzeige (VMS/WTA) kommt bei der Verkehrsinformation je länger je mehr eine sehr grosse Bedeutung zu. So kann gezielte Verkehrsinformation on-trip strassenseitig in einem sinnvollen Rahmen nur über VMS an die Verkehrsteilnehmer abgegeben werden, dies insbesondere, wenn die Verkehrszustände rasch wechseln oder auf einen kleinen Raum beschränkt sind.

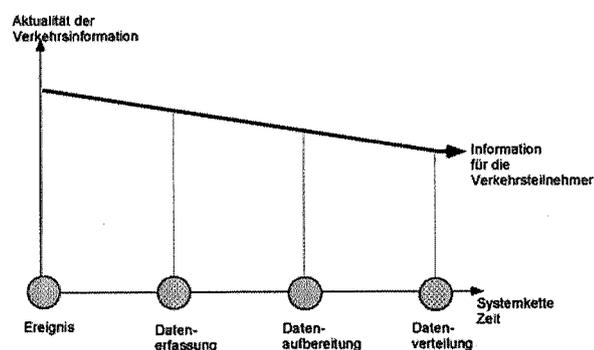
Die vorliegende Forschungsarbeit zeigt, dass die Übermittlung der Verkehrsinformation mittels VMS manchmal zu nicht gewünschten Auswirkungen führen kann (Ausweichverkehr). Die Frage stellt sich deshalb, wann der Einsatz von VMS/WTA gerechtfertigt ist.

Nachstehende Abschnitte zeigen die Möglichkeiten und die Einsatzkriterien solcher Systeme auf. Diese könnten z.B. in einer Richtlinie des ASTRA festgehalten und geregelt werden.

Die Anforderungen und Bedingungen für einen Einsatz von VMS können wie folgt umschrieben werden:

- Verkehrssicherheitsniveau beibehalten oder erhöhen
- entsprechende Verkehrssituationen, Stauereignisse, Störungen (ortsbezogen) treten regelmässig
- Koordination mit Verkehrsmanagement-CH, mit regionalen Verkehrslenkplänen (TMP) und Anschluss an Teilsystem Data Warehouse (DWH)
- Hohe Akzeptanz sicherstellen, Koordination RDS/TMC
- Ortsbezogene Untersuchung zu den Auswirkungen der Verkehrsinformation, z.B. Feldversuche mittels mobilen VMS-Anlagen
- Wenn immer möglich sind Wechselsignale einzusetzen.
- Verkehrstechnisches Konzept muss vorhanden sein – das Verhalten ist zu steuern, sensible Gebiete zu schützen, Staus zu bewirtschaften, das Konzept der Anlage ist dabei abhängig von der übergeordneten Lenkungs- und Leitstrategie, der Einrichtung und der Signalisation
- Angaben über Ursache des Störfalles und Ausmass der Störung – historische Messwerte und Zeitraum sollten bekannt sein (d.h. die Zusammenhänge Verkehrsstärke-Dichte-Geschwindigkeit)
- Effiziente Auslastung bestehende Infrastruktur ist sicherzustellen
- Unerwünschte vorhandene Ausweichrouten sind zu vermeiden
- Möglichst genaue Nachbildung wirklicher Verkehrssituation, bei einem Ereignis ist die Aktualität der Verkehrsinformation entscheidend (siehe Abbildung 49)

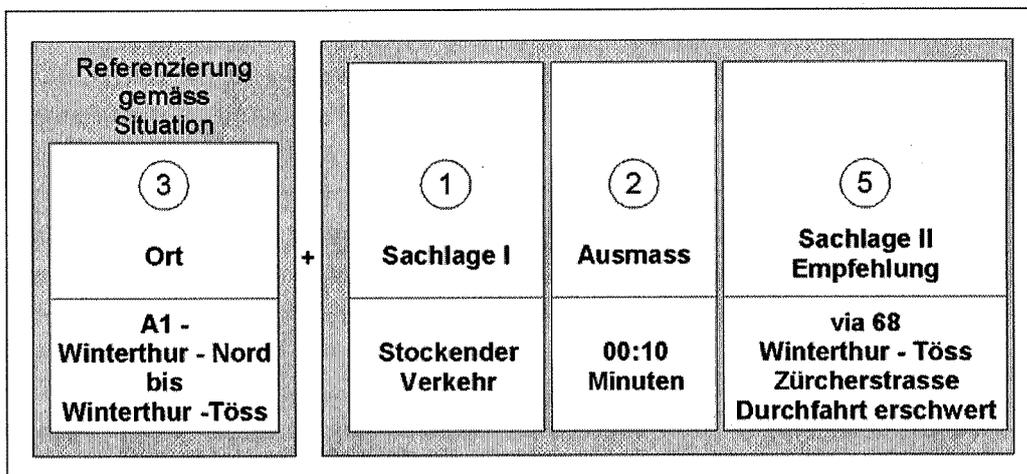
Abbildung 49 Aktualität der Verkehrsinformation



Die Ausgestaltung der VMS/WTA ist gemäss SN 640 805 „Wechseltextanzeigen“ (im Entwurf) festgelegt. Wechseltextanzeigen dienen zur (frühzeitigen) Übermittlung von Informationen zur Lenkung und Warnung (z.B. Stauwarnung) der Verkehrsteilnehmenden¹.

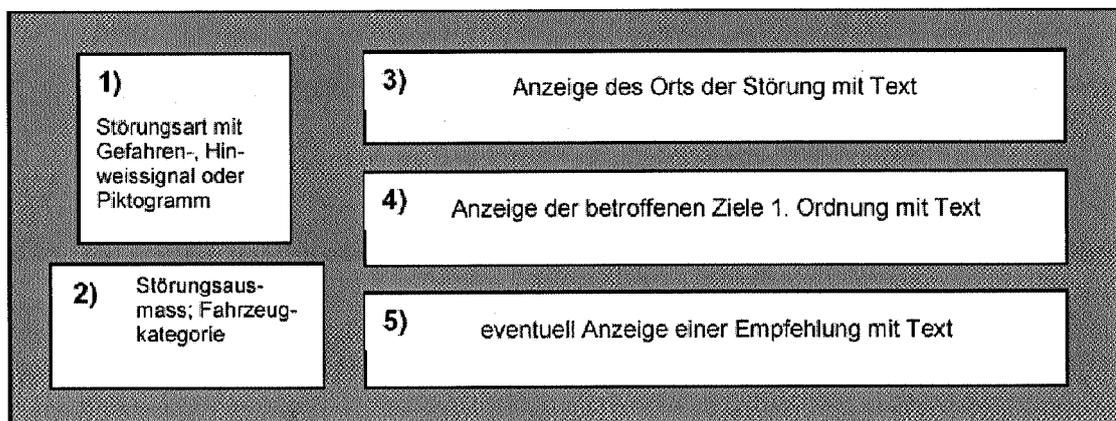
Für die Schweiz wurden die relevantesten Verkehrsmeldungen und ihrer Referenzierung auf die Standards ALERT C und DATEX definiert. Der Meldungskatalog entspricht der SN 671 921 (im Entwurf) „Standardisierte Verkehrsinformation“². Der Meldungskatalog mit dem Wörterbuch unifiziert die Informationsübertragung (das Wörterbuch ist das Bindeglied zwischen einem Ereignis und den bestehenden Standards ALERT C und DATEX), damit soll die Akzeptanz und die Verständlichkeit erhöht werden.

Abbildung 50 Beispiel einer Verkehrsmeldung mit zwei Sachlagen und einer Empfehlung



Die nachstehende Abbildung zeigt die Ausgestaltung von VMS (gemäss ASTRA Richtlinie VMS Textmeldung, 2004) über der Fahrbahn mit folgenden Feldern:

Abbildung 51 Funktionsfelder eines VMS/WTA – ASTRA Richtlinie



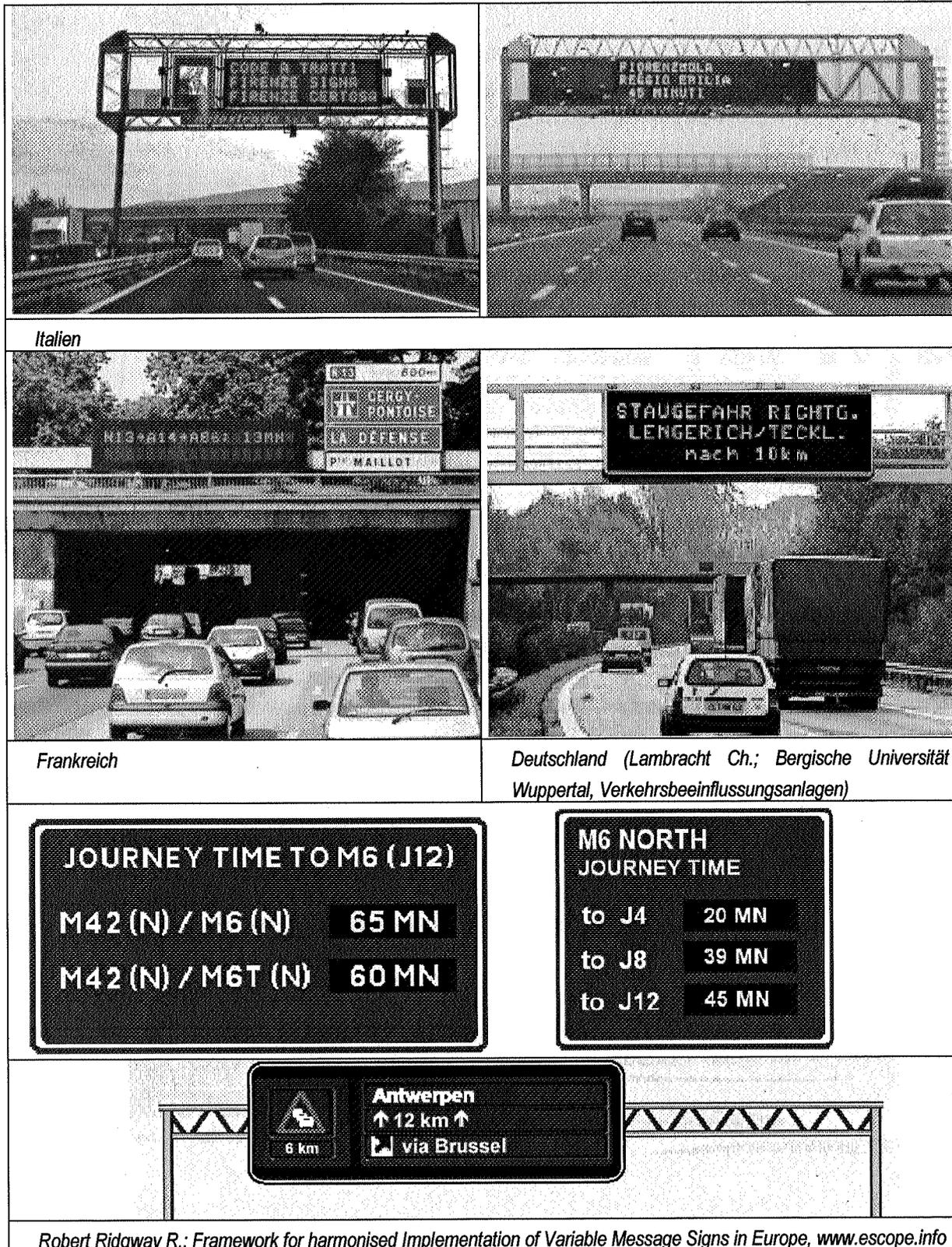
¹ SN 640 800 „Verkehrsbeeinflussung auf Autobahnen und Autostrassen“

² Schell F., Schaufelberger W., Lingwood S.: Standardisierte Verkehrsinformation, FA VSS 2000/436, 2003

Problematik:

- Bei den alltäglichen Radiomeldungen über den Zustand des Verkehrsflusses kommt sehr oft die Meldung „Stau“ vor, in Wirklichkeit handelt sich um den Zustand „dichter“ oder „stockender“ Verkehr. Diese Informationen haben auch negative Auswirkungen, wie das Ausweichen auf das Nebenstrassennetz. Soll die Verbreitung von Verkehrsmeldungen gemäss gültigen vordefinierten Richtlinien erfolgen (für alle, auch private Radiosender)?
- Gemäss Normentwurf SN 671 921 wird der Begriff „stockender Verkehr“ nur ausserorts angewandt, da er innerorts nicht zweckmässig ist. Innerhalb der Agglomerationen ist nach unserer Meinung eine genauere Informationsübertragung über die Störungsart und das Ausmass entscheidend im Hinblick auf die Auswirkungen auf das Nebenstrassennetz.
- Keine Empfehlung ist auch eine Empfehlung. Am Beispiel von Winterthur Töss nur die Information zu vermitteln, dass auf der A1 ein Stau herrscht ohne weitere Information anzugeben ist eine indirekte Empfehlung die Störungsstelle durch die Stadt zu umfahren.
- Die on-trip Information sollte für alle Sprachregionen (auch für ausländische Verkehrsteilnehmer) verständlich sein. Kann die Information „Stau“ oder „stockender“ Verkehr durch „heavy traffic“ ersetzt werden?
- Bei einem einheitlichen Raster mit drei Textzeilen von 15 Zeichen und einem Piktogramm mit Hinweiszeile von 5 Zeichen stellt sich die Frage über die Verständlichkeit bei Abkürzungen.

Abbildung 53 Einige Beispiele aus dem Ausland



Robert Ridgway R.; Framework for harmonised Implementation of Variable Message Signs in Europe, www.escope.info

9 Erkenntnisse aus den Feldversuchen und Empfehlungen

Aus den beiden Feldversuchen können folgende Erkenntnisse gezogen werden:

1) Wie sind die Ergebnisse zu verstehen?

- Strassenseitige Verkehrsinformation on-trip über Stausituationen führte in beiden Fällen zu vermehrtem Ausweichen auf das untergeordnete Strassennetz – in einem Fall aber nicht auf der erwarteten Route.
- Der Ausweichverkehr ist abhängig von der Wahl des Standortes an dem die Informationsübermittlung erfolgt, vom Informationsinhalt, von den spezifischen alternativen Verkehrsverbindungen auf dem untergeordneten Strassennetz und von der Lage der Stauwurzel.
- Zur Ermittlung der Auswirkungen der strassenseitigen Information sind vorgängige ortsbezogene detaillierte Feldversuche notwendig.

2) Wie ist die Verhaltensänderung grundsätzlich? Lässt sich diese auch quantifizieren? Wenn nicht, wovon hängt sie ab?

- Die Ankündigung hoher Stauzustände hat im untersuchten Streckenabschnitt zeitweise zu Ausweichfahrten von bis zu 25% des Gesamtverkehrs (Querschnittsbelastung auf der A53) geführt. Die Auswirkungen der Verkehrsinformation sind aber nicht übertragbar, sondern von der jeweiligen Situation und den allfälligen alternativen Verbindungen abhängig.
- Bei geringen Werten der „Staulänge“ oder „Stauzeit“ hat die Verkehrsinformation keine oder eine sehr kleine Wirkung.
- Die Verhaltensänderung hängt massgeblich vom durch die Information vermittelten Stauausmass ab.

3) Welche Unterscheidung gibt es bezüglich der Information „Stauzeit“ und der Information „Staulänge“?

- Bei identischen Stauzuständen führt die schlechter einschätzbare Information der Staulänge zu mehr Ausweichverkehr als die Information der Stauzeit (Reisezeit inkl. Verlustzeit).

4) Welches ist die geeignetere Information?

- Eindeutig „geeigneter“ ist die Information der Stauzeit. Die Auswirkungen bezüglich des Ausweichverkehrs fallen deutlich geringer aus. Die Information der Stauzeit on-trip führt aber ebenfalls zu Ausweichverkehr. Von Interesse wäre deshalb insbesondere auch eine Information zur Stauzeit pre-trip z.B. über das Internet.

5) Wo ist diese exakte Information sinnvoll? An welchen Stellen im Netz?

- Grundsätzlich sollte der Verkehr so lang wie möglich flüssig auf dem Hochleistungsstrassennetz geführt werden (mit Rampenbewirtschaftung, Verkehrsbeeinflussungssystemen etc.).
- Der Einsatz von Verkehrsinformationen on-trip kann zu unerwünschtem Ausweichverkehr führen (Ausweichverkehr durch die Stadt Winterthur im Feldversuch 2). Bei der Wahl des Standorts, an dem die Verkehrsteilnehmer die entsprechende Information erhalten, ist dies zu berücksichtigen. Ein Einsatz ist an Standorten sinnvoll, wo heute schon Ausweichverkehr von der Autobahn auf das untergeordnete Strassennetz auftritt.
- Die Verkehrsinformation - respektive das zuverlässige Erkennen und Signalisieren von Stau - leistet einen wesentlichen Beitrag zur Verkehrssicherheit auf Hochleistungsstrassen.

Abbildung 50 Die Verkehrsinformation Stauzeit/Staulänge dient auch als Massnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit

**6) Was ist notwendig, um eine effiziente strassenseitige Information einzusetzen? Wann ist dies durchzuführen?**

- Das Bedürfnis nach Verkehrslenkung und Verkehrsbeeinflussung ist ausgewiesen, wenn regelmässig grosse Auswirkungen auf das übrige Strassennetz auftreten.
- Der Einsatz von (strassenseitiger) Verkehrsinformation erfordert ein verkehrstechnisches Konzept, welches mit den regionalen und überregionalen Verkehrslenkungskonzepten koordiniert ist.
- Die Wirkungen und die Auswirkungen sollen nachgewiesen werden. Dafür eignen sich vorgängige Feldversuche mit mobilen Wechseltextanzeigen.

Anhänge

Anhang 1 Signifikanztest des Bestimmtheitsmasses – F-Test (0.95)

Es wurde überprüft, ob die Resultate der Regressionsrechnung akzeptabel sind, d.h. ist die Hypothese zu überprüfen, ob kein Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variablen besteht. Bei nicht allen Fälle kann diese Hypothese verworfen werden.

Feldversuch	Hypothese (Regression)	n	R ²	F- Wert	F für F(F)=0.95
1	Hypothese 1	8	0.77138	20.24	5.99
2	Hypothese 1 (Ausfahrt Effretikon)	9	0.076	0.58	5.59
	Hypothese 1 (Ausfahrt Töss)	8	0.5045	6.11	5.99
1	Hypothese 2 (ZST 2-1)	7	0.695	11.40	6.61
	Hypothese 2 (ZST 2-2)	5	0.855	17.69	10.1
	Hypothese 2 (ZST 3-1)	6	0.4956	3.93	7.71
	Hypothese 2 (ZST 3-2)	11	0.6613	17.57	5.12
2	Hypothese 2 (Ausfahrt Effretikon)	9	0.1502	1.23	5.59
1	Hypothese 3 (ZST 2)	7	0.9341	70.82	6.61
	Hypothese 3 (ZST 3)	8	0.8837	45.58	5.99
2	Hypothese 4 (Ausfahrt Töss)	22	0.4568	18.50	4.30
	Hypothese 4 (Einfahrt Töss)	22	0.5978	32.79	4.30

Anhang 2 Literaturverzeichnis

1. Verkehrstechnik Grundzüge, Teil Individualverkehr, IVT-ETH, 2001
2. Störungserkennung auf Autobahnen, F. Hall, Strassenverkehrstechnik 2/94
3. Ausbau eines Stauverfolgungssystems zu einem fehlertoleranten System, H. Brunmeier, 1998
4. Traffic Flow Theory – A State of the Art Report, Federal Highway Administration, 1997
5. Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen, W.Brilon, 1999
6. Highway Capacity and Quality of Service, W. K. Kittelson, Transportation Research Board
7. Real-time, Adaptive Prediction of Incident Delay for Advanced Traffic Management Systems, L. Fu/B. Hellinga, University of Waterloo
8. Statistische Analysen von Verkehrsmeldungsarchiven als Entscheidungshilfe für Strassenbau Verkehrsmanagement, H. Rehborn et. al. Strassenverkehrstechnik 9/2002
9. Erkennung von Stau mit kurzen Schleifendetektoren, B. Joos/Th. Riedel, Strassenverkehrstechnik 7/99
10. Von der Messwerterfassung zur automatisch generierten Verkehrsmeldung, ddg Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH
11. Staumanagement durch Pfortneranlagen, H. Ziegler, Strassenverkehrstechnik 10/99
12. Stop-and-Go Science, P.Weiss, Science News Online, Vol. 156 Num. 1
13. Verkehrsstau rational betrachtet, I. Hansen/D. Westland, Strassenverkehrstechnik 11/98
14. Report on the Park Row Before Surveys for the Dynamic Route Choice Project, St. D. Clark, University of Leeds
15. Traffic Congestion and Travel Reliability, A. O'Brien (Hsg.), Washington State Transportation Center, Sept. 2001
16. Bundesamt für Strassen, Richtlinie VMS – Textmeldungen, Bern 2004