

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	Z I – Z V
Résumé.....	R I – R VI
Summary	S I – S V
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung.....	1
1.2 Überblick zum methodischen Ansatz	3
1.3 Übersicht zum Berichtsaufbau	4
2 Systemabgrenzungen.....	7
2.1 Mass der Zuverlässigkeit.....	7
2.2 Weitere räumliche, sachliche und zeitliche Abgrenzungen	10
3 Stand der Anwendung und der Forschung.....	11
4 Behandlung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr.....	17
5 Motorisierter Individualverkehr	21
5.1 Darstellung der Datengrundlagen	21
5.1.1 Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Zuverlässigkeit.....	21
5.1.2 Gemessene Fahrzeitverteilungen beim Individualverkehr	26
5.1.3 Aus Geschwindigkeitsdaten abgeleitete Fahrzeitverteilungen beim Individualverkehr	27
5.1.4 Querschnittsbezogene Geschwindigkeitsverteilungen	31
5.1.5 Fazit.....	38
5.2 Verfahren für den motorisierten Individualverkehr	38
5.2.1 Darstellung des Verfahrens	38
5.2.2 Anwendungsbeispiel	53
5.2.3 Verfahrensanwendung für unterschiedliche Massnahmenarten	59
6 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf.....	63

Anhänge

- A1 Literaturverzeichnis
- A2 Vertiefende Erörterung zum Öffentlichen Verkehr
- A3 Dokumentation typischer Fahrzeitverteilungen
- A4 Aggregation streckenbezogener Fahrzeiten
- A5 SVI-Publikationsliste

Zusammenfassung

1. Einleitung und Fragestellung

(1) Ein zuverlässiges Verkehrssystem zeichnet sich dadurch aus, dass Reisende ihre Reisezeit aufgrund ihrer Erfahrungen „zuverlässig“ kalkulieren können: Verschiedene Studien zeigen, dass die Verkehrsteilnehmer der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems einen hohen Wert beimessen. Auch für die Schweiz hat eine Vorstudie gezeigt, dass eine substantielle Zahlungsbereitschaft für die Verbesserung der Zuverlässigkeit besteht.

(2) Bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich wird bisher vor allem die Veränderung der durchschnittlichen Reisezeit berücksichtigt. Die Veränderung der Zuverlässigkeit wird dabei aber nicht berücksichtigt, obwohl die Nachfrager eine diesbezügliche Zahlungsbereitschaft haben. Die vorläufigen und eingeschränkt repräsentativen Erkenntnisse zu den Zahlungsbereitschaften für die Zuverlässigkeit legen nahe, zur Bewertung von Massnahmen

- Methoden zur Abschätzung der Wirkungen von Massnahmen auf die Zuverlässigkeit zu entwickeln und diese
- in (volkswirtschaftlichen) Bewertungsverfahren abzubilden und zu integrieren.

(3) Die Ernst Basler + Partner AG (Federführung) und das IVT der ETH Zürich wurden als Arbeitsgemeinschaft (EBP/IVT) beauftragt, ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln. Die Arbeiten wurden durch eine Begleitgruppe unterstützt. Ziel dieser Forschungsarbeit ist es, das Thema Zuverlässigkeit für den motorisierten Individualverkehr und den Öffentlichen Verkehr auf Strasse und Schiene zu diskutieren und, wo quantifizierbare Daten und Methodenmöglichkeiten bestehen, ein praktikables Verfahren zu entwickeln. Die hier erarbeiteten Forschungsergebnisse haben somit eine Empfehlung zur Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit zum Ziel. Der in der Ausschreibung der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure (SVI) vorgesehene Teil „Bewertung“ soll gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt beauftragt werden. Dabei sollen auch Angaben zur erwarteten Reisezeit erhoben werden. Die Bewertung erfolgt hier mittels Wertansätzen aus der Literatur, für die erwarteten Reisezeiten werden die durchschnittlichen Reisezeiten aus dem Verkehrsmodell verwendet.

2. Modellansatz

(1) Zuverlässigkeit wird hier verstanden als Reisezeit (z.B. in Minuten gemessen), die ein Reisender früher oder später als erwartet am Ziel eintrifft. Wie sich aus der hier zugrunde gelegten Definition ergibt, werden die Verkehrsnachfrager (Personen) betrachtet.

(2) Für den Öffentlichen Verkehr zeigte sich, dass aufgrund der Fahrplangebundenheit komplexere oder einzelfallbezogene Verfahren zur Ermittlung einer massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit notwendig sind. Diese müssen die Fahrplangestaltung und den Betrieb berücksichtigen. Die Auswirkungen einer Veränderung der Zuverlässigkeit auf die Betriebskosten von Unternehmen im Öffentlichen Verkehr sind hier aber nicht Gegenstand der Betrachtung. Das entwickelte Verfahren bezieht sich somit auf den motorisierten Individualverkehr.

(3) Das entwickelte Verfahren ist in die bisher üblichen Verfahren zur Bewertung von Verkehrsmassnahmen integrierbar. Deshalb berücksichtigt das Verfahren die Datenlage bei Bewertungen. Grundvoraussetzung sind folgende Angaben:

- Attributierte Netze
- Berechnung von Querschnittsbelastungen und Geschwindigkeiten für zu vergleichende Fälle

(4) Die Ergänzung durch das hier entwickelte Verfahren besteht darin, für Verkehrsmassnahmen die Veränderung der Abweichung von der erwarteten Reisezeit zu ermitteln. Mit der Operationalisierung der Zuverlässigkeit über Abweichungen von der erwarteten Reisezeit wird das entwickelte Verfahren eindeutig von den üblichen Verfahren zur Ermittlung einer massnahmenbedingten Veränderung der Reisezeit abgegrenzt. Mittels der Systemskizze in Abbildung I wird dies erläutert:

- Hier wird davon ausgegangen, dass die erwartete Reisezeit der durchschnittlichen Reisezeit im Verkehrsmodell entspricht. Die Veränderung dieser erwarteten, durchschnittlichen Reisezeit wird, wie bisher üblich, mit dem Verkehrsmodell belastungsabhängig berechnet und bei Bewertungen entsprechend berücksichtigt. In Abbildung I wird eine Massnahme unterstellt, die zu einer Steigerung der durchschnittlichen Fahrzeit führt (z.B. Reduktion der Geschwindigkeit).
- Das hier zu entwickelnde Verfahren berücksichtigt die Abweichungen von der erwarteten Reisezeit: Die Verfrühungen und Verspätungen in Minuten entsprechend der Verteilungen der tatsächlichen Reisezeiten um die durchschnittliche Reisezeit stellen die Zuverlässigkeit dar. In Abbildung I führe die Massnahme zu einer Homogenisierung der Fahrzeit. Die Fahrzeitverteilung mit Massnahme ist enger an der erwarteten Fahrzeit. Das System wird zuverlässiger. Dieser Effekt der Zuverlässigkeit ist somit additiv zu denjenigen, die bisher in Bewertungen berücksichtigt werden.

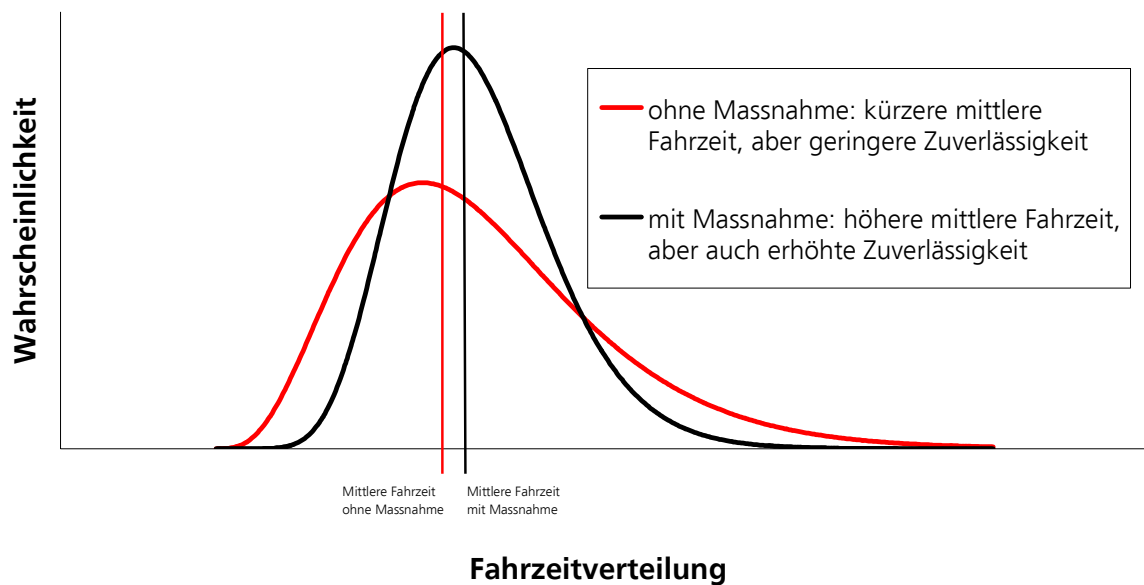


Abbildung 1: Systemskizze zum methodischen Ansatz

(5) Wie bisher in Verkehrsmodellen für Bewertungsverfahren üblich, wird hier ein aggregierter Ansatz gewählt, in dem Kollektive von Verkehrsteilnehmern betrachtet werden. In dieser Forschungsarbeit wird deshalb auch ein stochastischer Ansatz auf der Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie gewählt. Dieser Ansatz hat nicht den Anspruch einer Allgemeingültigkeit für jeden einzelnen Verkehrsteilnehmer mit einer deterministischen Vorhersagbarkeit der Reisezeit, sondern gilt als erster Schritt für ein Reisendenkollektiv mit einer möglichst grossen Grundgesamtheit (= erwartete Fahrzeit für alle Personen). Es ist nicht auszuschliessen, dass sofern genügend Verkehrsteilnehmer bereit sind, ihre Daten zur Erstellung von individuellen Profilen bereit zu stellen, ein Verfahren auf Basis individueller Verhaltensweisen entwickelt werden kann. Wenn dazu simultan Verkehrsgrössen, wie beispielsweise Verkehrsbelastungen, Querschnittsbelastungen oder Linienbelastungen zur Verfügung stehen, wären weitere Schritte zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit möglich.

(6) Anhand der umfangreichen Zeitreihen mit gemessenen Geschwindigkeitsdaten (5 Min. Mittelwerte) ist es an Zählstellen möglich, die Fahrzeitverteilung auf hinreichend homogenen Streckenabschnitten im Bereich der Zählstellen zu ermitteln. Für jede Kombination von Einflussgrössen lässt sich eine Fahrzeitverteilung aufgrund der vorliegenden Daten angeben, welche wir aufgrund typischer Einflussgrössen standardisiert haben. Die Verteilungen liegen differenziert für Autobahnen und Hauptstrassen, Anzahl Richtungsfahrstreifen und signalisierte Geschwindigkeiten vor. Sie bilden die Basis des Verfahrens zur Berücksichtigung einer massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit.

3. Ergebnisse und weiterer Forschungsbedarf

(1) Ausgehend von den Datenauswertungen und dem üblichen Vorgehen bei Bewertungen stellen sich die Berechnungsschritte wie folgt dar:

1. Ermittlung der Veränderung der durchschnittlichen Reisezeiten und deren Kosten (analog zu den herkömmlichen Verfahren)
2. Ermittlung der Kosten je für die Verspätung und je für die Verfrühung:

Die Kosten für Verfrühung und Verspätung werden bei herkömmlichen Bewertungsverfahren nicht berücksichtigt. Hierfür werden in dem Rechenverfahren vorgegebene Geschwindigkeitsklassen im motorisierten Individualverkehr zugrunde gelegt, welche für die Fahrzeit über einen homogenen Abschnitt einer gegebenen Länge ermittelt werden. Die Berechnungsformeln und benötigte Daten wie die Fahrzeitverteilungen sind in der Langfassung dargestellt. Die Wertgerüste für Verfrühung und Verspätung sind angegeben.

(2) Für das folgende Beispiel wurde das Verfahren angewendet: Ausbaus einer Autobahn von zwei auf drei Richtungsfahrs Spuren, Länge 10 km, DTV von 36'200 vor dem Ausbau, bzw. 38'900 Fahrzeuge je Tag nach dem Ausbau auf drei Richtungsfahrs Spuren. Die PW-Anteile liegen bei 75% bzw. 79%. Die folgende Tabelle zeigt die erzielten Ergebnisse.

Komponente der monetarisierten Reisezeit	Mit zwei Richtungsspuren [Mio. CHF/a]	Mit drei Richtungsspuren [Mio. CHF/a]	Veränderung (+=Einsparung) [Mio. CHF/a]
Kosten aus Verspätung ¹⁾	1.77	1.35	0.42
Kosten aus Verfrühung ¹⁾	0.59	0.45	0.14
Monetarisierter Nutzen Zuverlässigkeit			0.56
1) Zeitkostensatz Verspätung 29.06 CHF/Pers-h; Zeitkostensatz Verfrühung 9.69 CHF/Pers-h; 1.566 Pers/Fahrzeug			

Tabelle I: *Ergebnisse der Bewertung der Zuverlässigkeit für ein Anwendungsbeispiel*

Aufgrund der Auflösung vor allem von stockendem Verkehr erhöht sich die Zuverlässigkeit aufgrund des Ausbaus um 0.56 Mio. CHF je Jahr.

(3) Mit dem hier entwickelten Verfahren ist es nun möglich, Veränderungen der Zuverlässigkeit bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich zu berücksichtigen:

- Das Verfahren ist anwendbar für National- bzw. Hauptstrassen im motorisierten Individualverkehr. Dabei können Neu- und Ausbaumassnahmen (inkl. Spurerweiterungen), preispolitische und verkehrsorganisatorische Massnahmen abgebildet werden.

- Für innerstädtische Strassen, die durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Betriebszuständen im Individualverkehr geprägt sind (Ampeln, Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsregime mit Parkierungen etc.), gelten andere Mechanismen, weshalb die hier ermittelten Verteilungen im innerstädtischen Bereich so nicht anwendbar sind.

Veränderungen für den Öffentlichen Verkehr können mit dem Verfahren nicht ermittelt werden.

(4) Das Verfahren und die damit erzielten Ergebnisse sind wie folgt einzuschätzen:

- Es kann nicht berücksichtigt werden, ob eine Verfrühung oder eine Verspätung durch die Wahl einer entsprechenden Geschwindigkeit gewollt ist oder ob sie weitgehend fremdbestimmt ist. Inhaltlich gibt es keinen Grund, eine selbstbestimmte Verfrühung bzw. Verspätung durch einen Aufschlag im Vergleich zur mittleren Fahrzeit zu bewerten. Allerdings wird das Bewertungsverfahren dank dieser Annahme einfacher. Da vermutlich nur ein kleiner Prozentsatz aller Verkehrsteilnehmer bewusst eine längere als die mittlere Fahrzeit anstrebt und da die Verfrühung zudem nur wenig Prozent zum monetären Wert beiträgt, ist der durch diese Vereinfachung gemachte Fehler gering.
- Es wird vereinfachend angenommen, dass die erwartete Fahrzeit, worauf sich die Monetarisierung bezieht, dem Mittelwert aller Fahrzeiten entspricht (Tages- oder Stundenmittel, je nach verfügbarem Verkehrsmodell).
- Die vorliegenden Wertansätze würde eine Behandlung des Strassengüterverkehrs nur durch die Berücksichtigung des Fahrers mit dessen Zeitkostensatz (entsprechend Personenverkehr) ermöglichen. Der Nutzen einer Veränderung der Zuverlässigkeit z.B. auf die Logistik kann mit den vorliegenden Angaben nicht abgeschätzt werden. Aus diesem Grund wird auf die weitergehende Betrachtung des Güterverkehrs verzichtet.
- Als Fazit der Untersuchungen zu den vorhandenen Abhängigkeiten zwischen Fahrzeitverteilungen auf mehreren aufeinander folgenden Abschnitten ist festzuhalten, dass die effektiven Fahrzeitverteilungen breiter sind, als wenn die Summe der Abweichungen über die Teilabschnitte betrachtet wird. Dies bedeutet, dass hier die Verfrühungs- und Verspätungsrisiken unterschätzt werden, wenn bei einer Aggregation der Fahrzeitverteilungen auf Teilabschnitten von der vereinfachenden Annahme unabhängiger Fahrzeitverteilungen ausgegangen wird.

(5) Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich der folgenden Punkte:

- Behandlung von Knoten, den weiteren Strecken im untergeordneten Netz und der Berücksichtigung von hintereinander geschalteten Fahrzeitverteilungen.
- Hinsichtlich des Öffentlichen Verkehrs sind aufgrund der anderen Produktionscharakteristik Verfahren zu entwickeln, die vor allem auch die unternehmensbezogene betriebswirtschaftliche Sichtweise mit integrieren. Unserer Einschätzung nach ist dies nicht auf Ebene eines standardisierten Vorhabens möglich. Hier sind betreiberspezifische Verfahren notwendig.
- Die Wertgerüste zur monetären Bewertung einer Veränderung der Zuverlässigkeit sind auf eine breitere empirische Basis zu stellen. Dabei ist neben der absoluten Höhe der Wertansätze auch deren Verlauf in Abhängigkeit von der absoluten Verfrühung oder Verspätung sowie fahrtzweckspezifische Differenzierung zu prüfen.
- Im Rahmen einer Befragung zur Ermittlung der Wertgerüste sind auch Angaben zur erwarteten Reisezeit zu erheben, wie dies im Forschungsantrag vorgesehen war.

Résumé

1. Introduction et données du problème

(1) Un système de circulation fiable se distingue par le fait que les usagers peuvent calculer leur temps de parcours de façon « fiable » par rapport à leur expérience : différentes études montrent que les usagers de la route attachent une grande importance à la fiabilité du système de transport. Une étude préliminaire a montré également pour la Suisse qu'il existe, dans une mesure non négligeable, une disposition à payer pour l'amélioration de cette fiabilité.

(2) Jusqu'à présent, il a surtout été tenu compte, dans l'évaluation des mesures en matière de circulation, du changement du temps de parcours moyen. La modification de la fiabilité n'est cependant pas prise en compte, bien que les demandeurs soient disposés à payer à cet égard. Les résultats provisoires et, de façon limitée, représentatifs sur la disposition à payer pour une amélioration suggèrent les points suivants pour l'évaluation des mesures à prendre :

- développer des méthodes permettant d'apprécier les effets de mesures sur la fiabilité, et
- représenter ces méthodes dans la procédure d'évaluation (économique) et de les y intégrer.

(3) La direction d'Ernst Basler + Partner AG et l'IVT de l'EPF de Zurich ont été chargés, en tant que groupe de travail (EBP/IVT), de développer une procédure appropriée. Ces travaux ont été épaulés par un groupe d'accompagnement. Le but de ce travail de recherche est de discuter de la fiabilité pour le transport individuel motorisé et les transports en commun routiers et ferroviaires et, lorsqu'il existe des données quantifiables et des méthodes possibles, de mettre au point une procédure praticable. Les résultats des recherches exposés ici ont donc pour objectif de susciter des recommandations sur la détermination de la modification de la fiabilité nécessitant des mesures particulières. La partie « évaluation », prévue dans le dossier du concours de l'Association suisse des ingénieurs en transports (SVI), fera le cas échéant l'objet d'une autre mission. A ce propos, des renseignements sur le temps de parcours prévu doivent être recueillis. L'évaluation indiquée ici se fonde sur des estimations issues de la littérature ; pour ce qui est des temps de parcours prévus, les temps de parcours moyens du modèle de circulation ont été utilisés.

2. Modèle

(1) On entendra ici par « fiabilité » le temps de parcours (mesuré par exemple en minutes), que réalise un usager en arrivant à destination plus tôt ou plus tard que prévu. Comme le montre la

définition sur laquelle on se fonde ici, ce sont les demandeurs de transport (personnes) qui sont examinés.

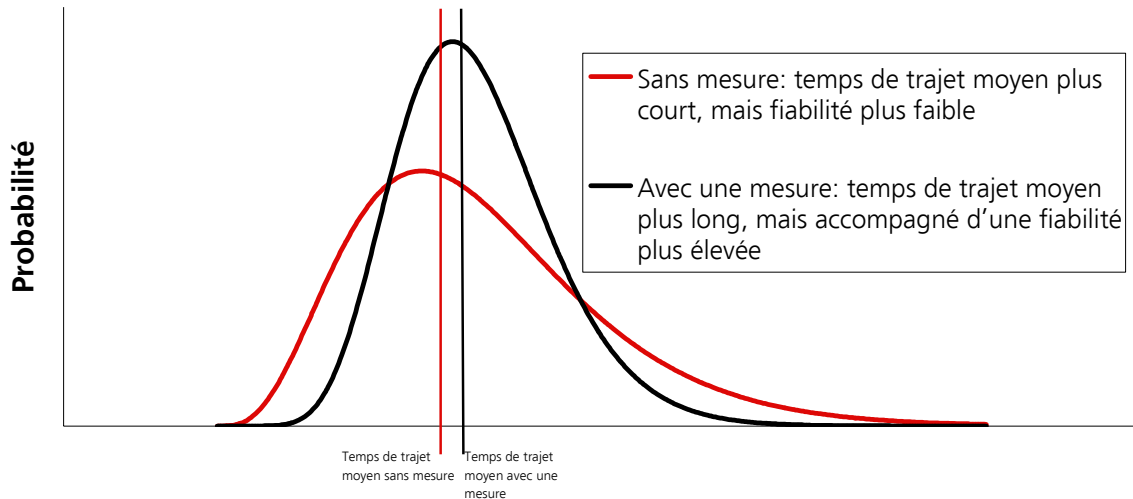
(2) Pour ce qui est des transports publics, il s'est avéré que, en raison des contraintes des horaires d'arrivée et de départ, les procédures de détermination du changement de la fiabilité nécessitant des mesures particulières doivent être plus complexes ou conçues au cas par cas. Ces procédures doivent tenir compte de la programmation des horaires et de l'exploitation. Les effets d'une modification de la fiabilité sur les charges d'exploitation des entreprises des transports publics ne font toutefois pas ici l'objet d'un examen. La procédure développée se réfère donc aux transports individuels motorisés.

(3) La procédure développée est intégrable à la procédure couramment utilisée jusqu'à présent pour évaluer les mesures à prendre en matière de transport. Elle prend donc en compte les données des évaluations. Les informations suivantes sont fondamentales :

- réseaux attribués ;
- calcul de la densité moyenne du trafic et des vitesses pour les cas à comparer.

(4) Le complément à réaliser par la procédure développée ici consiste à déterminer, pour les mesures à prendre en matière de transport, la différence d'écart par rapport au temps de parcours prévu. Avec l'opérationnalisation de la fiabilité sur les écarts par rapport au temps de parcours prévu, la procédure à développer est clairement délimitée par les procédures habituelles de détermination d'une modification du temps de parcours nécessitant des mesures particulières. Cela s'explique, grâce au schéma du système de la figure 1, de la façon suivante.

- On part ici du principe que le temps de parcours prévu correspond au temps de parcours moyen du modèle de circulation. La modification de ce temps de parcours moyen prévu est calculée, comme d'usage jusqu'à présent, à l'aide du modèle de circulation, en tenant compte des charges, et prise en compte en conséquence. La figure 1 suppose une mesure qui entraîne une augmentation du temps de trajet moyen (réduction de la vitesse, par exemple).
- La procédure à développer ici prend en compte les écarts par rapport au temps de parcours prévu : les avances et les retards en minutes selon les répartitions des temps de parcours effectifs autour du temps de parcours moyen représentent la fiabilité. Dans la figure 1, la mesure entraîne une homogénéisation du temps de trajet. La répartition du temps de trajet à l'aide d'une mesure est plus proche du temps de trajet prévu. Le système est plus fiable. Cet effet de la fiabilité s'ajoute donc à ceux pris en compte jusqu'ici dans les évaluations.



Répartition du temps de trajet

Figure 1 : Schéma du système pour une approche méthodique

(5) Comme il a été d'usage jusqu'à présent dans les modèles de circulation pour les procédures d'évaluation, on a choisi ici une approche agrégée, dans laquelle on examine des groupes d'utilisateurs de la route. Dans ce travail de recherche, on a donc également choisi une approche stochastique sur la base de la théorie des probabilités. Cette approche ne prétend pas avoir valeur générale pour chaque utilisateur de la route avec une prévisibilité déterministe du temps de parcours, mais est considérée comme un premier pas pour un groupe d'utilisateurs avec une population la plus large possible (= temps de trajet prévu pour tout le monde). Il n'est pas à exclure que l'on puisse développer une procédure sur la base de comportements individuels, pour autant qu'un nombre suffisant d'utilisateurs soient prêts à mettre à disposition leurs données en vue d'établir des profils individuels. Si l'on disposait en même temps des mesures de la circulation telles que charges de trafic, densité moyenne du trafic ou charges des lignes, d'autres mesures de quantification de la fiabilité seraient possibles.

(6) En s'appuyant sur les longues séries temporelles accompagnées de données sur les vitesses relevées (valeurs moyennes de 5 minutes), il est possible, aux points de comptage, de déterminer la répartition des temps de trajet sur des sections de voie suffisamment homogènes du secteur des points de comptage. Pour chaque combinaison de facteurs d'influence, est indiquée une répartition des temps de trajet d'après les données existantes, que nous avons standardisée sur la base de facteurs d'influence typiques. Les répartitions sont représentées de façon différenciée pour les autoroutes, les routes principales, le nombre de voies par sens de circulation et les vitesses.

ses signalées. Elles constituent la base de la procédure de prise en compte d'un changement de la fiabilité nécessitant des mesures.

3. Résultats et besoin de poursuivre les recherches

(1) L'exploitation des données et la procédure usuelle d'évaluation font ressortir les étapes de calcul suivantes.

3. Détermination de la modification des temps de parcours moyens et de son coût (analogue à la procédure traditionnelle).
4. Détermination des coûts pour les retards et de ceux pour les avances :

les coûts de retard et d'avance ne sont pas pris en compte dans la procédure d'évaluation traditionnelle. Pour cela, sont pris pour base, dans la procédure de calcul, des classes de vitesses pré-établies dans le trafic individuel motorisé, qui sont déterminées pour le temps de trajet sur une section homogène d'une longueur donnée. Les formules de calcul et les données nécessaires comme les répartitions de temps de trajet sont présentées dans la version longue du rapport. La structure des valeurs de retards et d'avances est indiquée.

(2) La procédure a été utilisée dans l'exemple suivant : aménagement d'une autoroute pour faire passer de deux à trois le nombre de voies par sens de circulation, longueur de 10 km, débit journalier moyen de 36 200 véhicules avant aménagement et de 38 900 véhicules après aménagement sur trois voies par sens de circulation. La part des voitures particulières se situe entre 75 % et 79 %. Le tableau suivant indique les résultats obtenus.

Composantes du temps de parcours monétarisé	A deux voies par sens [millions CHF/a]	A trois voies par sens [millions CHF/a]	Changement (+=économie) [millions CHF/a]
Coûts dus au retard ¹⁾	1.77	1.35	0.42
Coûts dus à l'avance ¹⁾	0.59	0.45	0.14
Avantage monétarisé de la fiabilité			0.56
1) Coût du temps (retard) 29.06 CHF/pers./heure ; coût du temps (avance) 9.69 CHF/pers./heure ; 1 566 pers./véhicule			

Tableau I : Résultats de l'évaluation de la fiabilité (exemple d'utilisation)

En raison de la dispersion du trafic (en particulier des ralentissements), la fiabilité s'accroît de 0,56 millions CHF par an à cause de l'aménagement.

(3) Grâce à la procédure développée ici, il est maintenant possible de prendre en compte les modifications de la fiabilité dans l'évaluation des mesures à prendre en matière de transport.

- La procédure est utilisable pour les routes nationales et les grandes artères dans les transports individuels motorisés. On peut ainsi représenter des mesures de construction et d'aménagement (y compris l'élargissement des voies), des mesures en matière de politique des prix et d'organisation de la circulation.
- Pour les routes urbaines caractérisées par une grande variété de situations d'exploitation dans les transports individuels motorisés (feux de circulation, restrictions de la circulation, régime de circulation pour le stationnement, etc.), d'autres mécanismes s'appliquent ; c'est pourquoi les répartitions déterminées ici ne sont pas autant utilisables dans le domaine urbain.

Les changements concernant les transports publics ne peuvent pas être déterminés avec cette procédure.

(4) La procédure et les résultats obtenus grâce à elle sont à apprécier de la façon suivante.

- On ne peut déterminer si une avance ou un retard sont voulus par le choix d'une vitesse correspondante, ou s'ils dépendent en grande partie d'autre chose. Sur le fond, il n'y a aucune raison à évaluer une avance ou un retard indépendant par une hausse par rapport au temps de trajet moyen. Grâce à cette hypothèse, la procédure d'évaluation est toutefois plus simple. Etant donné que probablement seul un petit pourcentage de l'ensemble des usagers de la route souhaitent délibérément un temps de trajet plus long que le temps de trajet moyen et que l'avance ne contribue que dans un faible pourcentage à la valeur monétaire, les erreurs entraînées par cette simplification sont faibles.
- On suppose en simplifiant que le temps de trajet prévu, auquel se réfère la monétarisation, correspond à la valeur moyenne de tous les temps de trajet (moyenne journalière ou horaire selon le modèle de trafic disponible).
- C'est un traitement du transport routier de marchandises par la seule prise en compte du conducteur avec son coût du temps (selon transport des personnes) qui a permis les présentes estimations. L'avantage d'un changement de fiabilité (sur la logistique, par exemple) ne peut être estimé à l'aide des présentes données. C'est pour cette raison que l'on a renoncé à poursuivre l'examen du transport des marchandises.
- En conclusion des analyses des dépendances qui existent entre les répartitions des temps de trajet sur plusieurs sections qui se suivent, on retiendra que les répartitions effectives de temps de trajet sont plus larges que lorsqu'on considère la somme des écarts sur les tronçons. Cela signifie que les risques d'avance et de retard sont ici sous-estimés lorsque, dans l'agrégation des répartitions des temps de trajet sur des tronçons, on prend comme point de départ l'hypothèse simplifiée des répartitions des temps de trajet indépendantes.

(5) Le besoin de recherche et de développement existe avant tout en ce qui concerne les points suivants.

- Etude des nœuds, autres axes du réseau secondaire et prise en compte de répartitions de temps de trajet disposées les unes derrière les autres.
- Pour ce qui est des transports publics, en raison de l'autre caractéristique de production, on développera des procédures qui intègrent avant tout les points de vue liés à l'entreprise et à la gestion commerciale. A notre avis, cela n'est pas possible au niveau d'un projet standardisé. Il faut là des procédures spécifiques à l'exploitant.

- La structure des valeurs sur l'évaluation monétaire d'un changement de fiabilité est à présenter sur une base empirique plus large. A côté du niveau absolu des estimations, il convient aussi d'examiner leur évolution dans la dépendance de l'avance ou du retard absolu, ainsi que la différenciation spécifique au motif du trajet.

Dans le cadre d'une enquête sur la détermination de la structure des valeurs, on devra également recueillir des informations sur le temps de parcours prévu, comme il était prévu de le faire dans la demande de recherche.

Summary

1. Introduction and objectives

(1) A reliable transport system is characterised by the fact that passengers can “reliably” calculate their journey times on the basis of their experience. Various studies have shown that transport users place high value on the reliability of the system. A preliminary study for Switzerland has shown that people are prepared to pay for improvements in reliability.

(2) When evaluating transport-related measures to date, account has been taken above all of changes in the average journey time. On the other hand, changes in reliability have not been considered, although users and potential users have shown willingness to pay for this. The temporary findings – limited in the scope of their representativeness – on the readiness to pay for reliability suggest that, in connection with the evaluation of measures

- methods should be developed for estimating the effects of measures on reliability and
- these should be reflected and integrated in (politico-economic) evaluation procedures.

(3) Ernst Basler + Partner AG (overall control) and the IVT (Institute for Traffic Planning and Transport Systems) of the ETH (Swiss Federal Institute of Technology), Zurich, were instructed as a joint venture (EBP/IVT) to develop such a procedure. The work was assisted by a support group. The aim of this research work is to discuss the subject of reliability for motorised individual transport and public transport on road and rail and, where quantifiable data and possible methods exist, to develop a practical procedure. The research results hereby obtained therefore have the objective of a recommendation for determining the measures which may contribute to a change in reliability. Instructions should also be given at a later date in respect of the “Evaluation” section contained in the call to tender by the Swiss Association of Transport Engineers (SVI). Details on expected journey times should also be obtained. The evaluation here is undertaken on the basis of value rates obtained from the literature, and the expected journey times used are the average journey times from the traffic model.

2. Model approach

(1) ‘Reliability’ for this purpose is understood as the amount of time (e.g. measured in minutes) by which a traveller arrives at his destination earlier or later than expected. The consideration of the transport users (persons) is based on the definition which forms the basis of this study.

(2) In the case of public transport it was clear that, due to the dependence on timetables, more complex or individual procedures are necessary for determining a change in reliability due to

measures taken. These must take account of the timetable structures and operation. The effects of a change in reliability on the operating costs of companies in the field of public transport are not an aspect under consideration here. The procedure developed accordingly relates to motorised individual transport.

(3) The procedure developed is capable of integration in the existing usual procedures for the evaluation of transport measures. For this reason the procedure takes account of the data available at the time of evaluation. The basic prerequisites are as follows:

- Attributed networks
- Calculation of average traffic densities and speeds for cases to be compared.

(4) What the procedure developed here will add, is a determination of the changes to the deviation from the expected journey time following transport measures taken. With the operationalisation of reliability by means of deviation from the expected journey time, the procedure to be developed is clearly limited by the usual procedure for the determination of changes in journey times in connection with measures taken. This is explained using the system diagram in Figure 1:

- Here, the assumption is made that the expected journey time corresponds to the average journey time in the transport model. The change to this expected, average journey time is, in accordance with the usual practice to date, calculated on the basis of the transport model in relation to traffic density, and account taken accordingly in evaluations. Figure 1 assumes a measure that leads to an increase in the average journey time (e.g. reduction in speed).
- The procedure to be developed here takes account of the deviations from the expected journey time: the number of minutes early or late, compared with the distribution of the actual journey times around the average journey time, represents the reliability. In Figure 1 the measures lead to homogenisation of the journey time. The journey time distribution with the measure in place is closer to the expected journey time. The system is more reliable. This effect on reliability is therefore in addition to the factors which have hitherto been taken into account in evaluations.

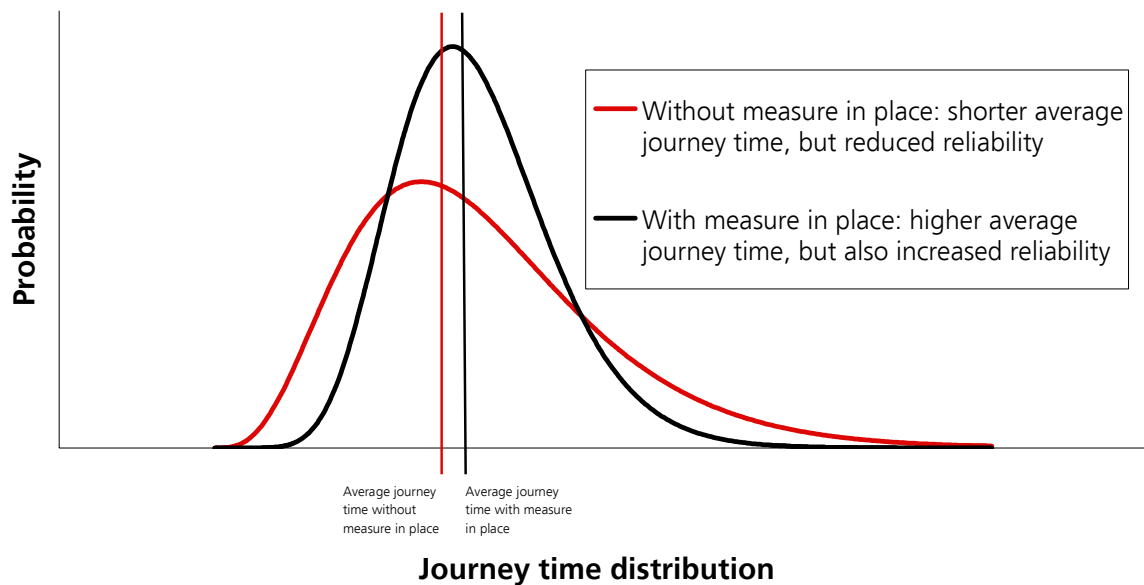


Figure 1: System diagram for the methodical approach

(5) As has been usual to date in the case of traffic models for evaluation, an aggregated approach has been selected, in which transport users are considered collectively. For this reason a stochastic approach has been selected for this research project on the basis of probability theory. This approach does not claim to be generally applicable to each individual transport user with a deterministic predictability of the journey time, but is intended as a first stage for a collective group of transport users which represents as large a population as possible (= expected journey time for all persons). It should not be ruled out that if enough transport users are prepared to make their data available for individual profiles to be drawn up, a procedure on the basis of individual behaviour patterns may be developed. If, at the same time, traffic figures, such as traffic densities, average densities or linear densities were also available, further steps could be taken towards quantification of reliability.

(6) On the basis of the comprehensive time series with measured speed data (5 mins average value) it is possible to determine at specific counting locations the journey time distribution over sufficiently homogeneous travel paths in the vicinity of the counting locations. For each combination of determining factors a journey distribution can be established on the basis of the data available, which we have standardised on the basis of typical determining factors. The distribution patterns are differentiated for motorways and main roads, the number of lanes in each direction and speed limits. These form the basis of the procedure for taking account of a change in reliability depending on measures taken.

3. Results and the need for further research

(1) On the basis of the data evaluations and the usual evaluation procedure, the calculation stages are as follows:

5. Determination of the change in the average journey times and the costs thereof (similar to the usual procedure)
6. Determination of the costs for each late and each early arrival time:

The costs of earliness and lateness are not accounted for in usual evaluation procedures. The basis of this is the speed classes specified in the calculation procedure for motorised individual transport, as determined for the journey time over a homogeneous section of a given length. The calculation formulae and necessary data such as journey time distributions are shown in the full version of the report, giving the value frameworks for earliness and lateness.

(2) The procedure has been applied to the following example: the expansion of a motorway from two to three lanes in each direction, length 10 km, DTV (average daily traffic volume) of 36,200 vehicles per day prior to the expansion, and 38,900 after the expansion to three lanes. The proportion of private cars is 75% and 79%. the following table shows the results obtained.

Components of the monetarised journey time	With two lanes [CHF million p.a.]	With three lanes [CHF mil- lion p.a.]	Change (+=saving) [CHF million p.a.]
Costs of lateness ¹⁾	1.77	1.35	0.42
Costs of earliness ¹⁾	0.59	0.45	0.14
Monetarised benefits of reliability			0.56
1) Time cost rate for lateness CHF 29.06 per person per hour; time cost rate for earliness CHF 9.69 per person per hour; 1.566 persons/vehicle			

Table 1: Results of the evaluation of reliability for an example of application

Due in particular to the reduction in traffic jams, the reliability due to the expansion has increased by CHF 0.56 million per annum.

(3) Using the procedure developed here it is now possible to take account of changes in reliability when evaluating traffic-related measures:

-
- The procedure can be applied to national and main roads for motorised individual transport. New build and expansion measures (including lane expansions), pricing policy and traffic organisation measures can all be represented.
 - For urban roads, which are characterised in respect of individual transport by a variety of different operating circumstances (traffic lights, traffic restrictions, traffic policies including parking etc.), other mechanisms apply, and for this reason the distributions determined here are not applicable in urban areas.

Changes in respect of public transport cannot be determined using this procedure.

(4) The procedure and the results obtained can be assessed as follows:

- Account cannot be taken of whether earliness or lateness is a desired factor when selecting a certain speed, or whether it is largely determined externally. There is no actual reason to evaluate on the basis of a self-determined early or late arrival by applying a mark-up in comparison with the average journey time. However, the evaluation procedure is made easier by this assumption. As there is probably only a small percentage of transport users who consciously seek to obtain a longer journey time than the average, and as earliness only contributes a small percentage to the monetary value, the factor of error caused by this simplification is low.
- For simplification purposes it is assumed that the expected journey time on which the monetarisation is based, corresponds to the average of all journey times (measured on a daily or hourly basis, depending on the transport model available).
- The available value-based approaches would enable a treatment of road freight traffic only by taking account of the driver with the relevant cost rate (on the same basis as individual transport). The benefits of a change in reliability for e.g. logistics, cannot be estimated with the present available information. For this reason a more detailed consideration of freight traffic has not been undertaken.
- As a result of the investigations into the existing relationship between journey time distribution over several sequential sections, it can be determined that the effective journey time distributions are broader than if the sum of the deviations is considered over the partial sections. This means that in this case the risks of earliness and lateness are underestimated, if, when aggregating the journey time distributions on separate stretches, there is a simplified assumption of independent journey time distributions.

(5) Further research and development is required above all with regard to the following aspects:

- The treatment of intersections, and further stretches in the subordinate network, and the account to be taken of sequential journey time distributions.
- With regard to public transport, a procedure should be developed on the basis of the other production characteristics which above all incorporates the commercial economic point of view of enterprises. According to our estimate this is not possible at the level of a standardised procedure. Operator-specific procedures will be needed here.
- The value frameworks for the monetary evaluation of a change in reliability should be set on a broader empirical basis. In addition to the absolute level of the value approaches, their pattern in relation to the absolute earliness or lateness values and differentiation specific to the purpose of journeys should be examined.
- Within the scope of a survey to determine the value frameworks, information should also be obtained on the expected journey time, as was intended in the research application.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

(1) Ein zuverlässiges Verkehrssystem zeichnet sich dadurch aus, dass Reisende ihre Reisezeit aufgrund ihrer Erfahrungen „zuverlässig“ kalkulieren können: Verschiedene Studien zeigen, dass die Verkehrsteilnehmer der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems einen hohen Wert beimessen. (Lam, Small, 2001; Bates, Polka et al., 2001). Bates, Polka et al., 2001 heben hervor, dass eine Erhöhung der Zuverlässigkeit als mindestens genauso wertvoll eingeschätzt wird wie eine Reduktion der durchschnittlichen Reisezeit. Auch für die Schweiz hat eine Vorstudie gezeigt, dass eine substantielle Zahlungsbereitschaft für die Verbesserung der Zuverlässigkeit besteht, welche der Zahlungsbereitschaft für Fahrzeitverkürzungen gleich kommt (König, Axhausen, 2002).

(2) Bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich wird bisher vor allem die Veränderung der durchschnittlichen Reisezeit berücksichtigt. Anhand von Verkehrsmodellen wird ermittelt,

- wie hoch die Durchschnittsgeschwindigkeit für einzelne Strassenabschnitte belastungsabhängig im motorisierten Individualverkehr sein wird, und
- im Öffentlichen Verkehr werden die Fahrplanzeiten inklusive Zu- und Abgangszeiten sowie Umsteigezeiten verwendet.

Die Veränderung der Zuverlässigkeit wird dabei aber nicht berücksichtigt, obwohl die Nachfrager eine diesbezügliche Zahlungsbereitschaft haben.

(3) In der Realität werden durch die Verkehrsteilnehmer Reisezeitreserven eingeplant, um zur geplanten Zeit am Ziel anzukommen. Solche Zuschläge werden z.B. für die folgenden Komponenten eingeführt:

- (einschätzbare) Reisezeitschwankungen (Varianz, z.B.: Wetter, saisonal, Wochentage),
- zufällig auftretende Störungen (Unfälle) oder
- geplante Verfrühungen/Verspätungen.

Die Zeitkomponenten können sich je nach Person und nach Fahrtzweck unterscheiden und werden durch Massnahmen beeinflusst. Die Zeitzuschläge sind abhängig von der Zuverlässigkeit des Verkehrssystems, d.h. von der Kalkulierbarkeit der Reisezeit: Je zuverlässiger ein System ist, umso geringer sind die Zeitzuschläge, die für Störungen und Schwankungen einzuplanen sind. Entsprechende Veränderungen werden in der Bewertung von Massnahmen heute aber nur eingeschränkt erfasst.

(4) Die vorläufigen und eingeschränkt repräsentativen Erkenntnisse zu den Zahlungsbereitschaften für die Zuverlässigkeit legen nahe, zur Bewertung von Massnahmen

- Methoden zur Abschätzung der Wirkungen von Massnahmen auf die Zuverlässigkeit zu entwickeln und diese
- in (volkswirtschaftlichen) Bewertungsverfahren abzubilden und zu integrieren.

Die Ernst Basler + Partner AG (Federführung) und das IVT der ETH Zürich wurden als Arbeitsgemeinschaft (EBP/IVT) beauftragt, ein entsprechendes Verfahren zu entwickeln. Ziel dieser Forschungsarbeit war es, das Thema Zuverlässigkeit für den motorisierten Individualverkehr und den Öffentlichen Verkehr auf Strasse und Schiene zu diskutieren und, wo quantifizierbare Daten und Methodemöglichkeiten bestehen, ein praktikables Verfahren zu entwickeln. Die Arbeiten wurden durch eine Begleitgruppe unterstützt.

(5) Die Ausschreibung der Schweizerischen Vereinigung der Verkehrsingenieure (SVI) beinhaltet neben der Entwicklung des Verfahrens zur Wirkungsabschätzung auch einen Teil „Bewertung“. Dieser umfasste die Befragungen zur Ermittlung der Zahlungsbereitschaften für die Vermeidung von Verspätungen und Verfrühungen sowie die Erhebung der erwarteten Fahrzeiten der Verkehrsteilnehmer. Auf Wunsch des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) wird dieser Teil gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt beauftragt werden. Die hier erarbeiteten Forschungsergebnisse haben somit eine Empfehlung zur Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit zum Ziel. Die Bewertung erfolgt hier mittels Wertansätzen aus der Literatur, für die erwarteten Reisezeiten werden die durchschnittlichen Reisezeiten aus dem Verkehrsmodell verwendet. Die Arbeiten werden auch als Grundlage für eine entsprechende VSS Norm im Rahmen der Normgruppe SN 641 820ff dienen.

(6) Besonderes Augenmerk ist auf die unterschiedlichen Systemvoraussetzungen im Individualverkehr und im Öffentlichen Verkehr zu richten:

- Im Öffentlichen Verkehr sind Infrastruktur und Betrieb durch technische und betriebliche Voraussetzung untrennbar miteinander verknüpft, d.h. solche Verkehre sind nach Fahrplänen in einem geplanten System abzuwickeln. Mit der Gestaltung des Fahrplans und des Betriebs bestehen hier vielfältige Handlungsmöglichkeiten zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit.
- Im motorisierten Individualverkehr hingegen ist durch die Vielzahl der Verkehrsteilnehmer sowie der auf den Infrastrukturen verkehrenden Individuen von "Zufälligkeiten" auszugehen, da neben den entsprechenden Regularien im motorisierten Individualverkehr eine direkte betriebliche Verknüpfung im Sinne einer Leit- und Steuerungstechnik mit vordefinierten Fahrplänen nicht besteht.

1.2 Überblick zum methodischen Ansatz

(1) Zuverlässigkeit wird hier verstanden als Reisezeit (z.B. in Minuten gemessen), die ein Reisender früher oder später als erwartet am Ziel eintrifft. Wie sich aus der hier zugrunde gelegten Definition ergibt, werden die Verkehrsnachfrager (Personen) betrachtet.

(2) Für den Öffentlichen Verkehr zeigte sich, dass aufgrund der Fahrplangebundenheit komplexere oder einzelfallbezogene Verfahren zur Ermittlung einer massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit notwendig sind. Diese müssen die Fahrplangestaltung und den Betrieb berücksichtigen. Die Auswirkungen einer Veränderung der Zuverlässigkeit auf die Betriebskosten von Unternehmen im Öffentlichen Verkehr sind hier aber nicht Gegenstand der Betrachtung. Das entwickelte Verfahren bezieht sich somit auf den motorisierten Individualverkehr.

(3) Das entwickelte Verfahren ist in die bisher üblichen Verfahren zur Bewertung von Verkehrsmassnahmen integrierbar. Deshalb berücksichtigt das Verfahren die Datenlage bei Bewertungen. Grundvoraussetzung sind folgende Angaben:

- Attributierte Netze (Anzahl Richtungsfahrspuren, zulässige Geschwindigkeit etc.)
- Berechnung von Querschnittsbelastungen und Geschwindigkeiten für zu vergleichende Fälle

(4) Die Ergänzung durch das hier entwickelte Verfahren besteht darin, für Verkehrsmassnahmen die Veränderung der Abweichung von der erwarteten Reisezeit zu ermitteln. Mit der Operationalisierung der Zuverlässigkeit über Abweichungen von einer erwarteten Reisezeit wird das zu entwickelnde Verfahren eindeutig von den üblichen Verfahren zur Ermittlung einer massnahmenbedingten Veränderung der Reisezeit abgegrenzt. Mittels der Systemskizze in Abbildung 1.2-1 wird dies erläutert:

- Hier wird davon ausgegangen, dass die erwartete Reisezeit der durchschnittlichen Reisezeit im Verkehrsmodell entspricht. Die Veränderung dieser erwarteten, durchschnittlichen Reisezeit wird, wie bisher üblich, mit dem Verkehrsmodell belastungsabhängig berechnet und bei Bewertungen entsprechend berücksichtigt. In Abbildung 1.2-1 wird eine Massnahme unterstellt, die zu einer Steigerung der durchschnittlichen Fahrzeit führt (z.B. Reduktion der Geschwindigkeit).
- Das hier zu entwickelnde Verfahren berücksichtigt die Abweichungen von der erwarteten Reisezeit: Die Verfrühungen und Verspätungen in Minuten entsprechend der Verteilungen der tatsächlichen Reisezeiten um die durchschnittliche Reisezeit stellen die Zuverlässigkeit dar. In Abbildung I führe die Massnahme zu einer Homogenisierung der Fahrzeit. Die Fahrzeitverteilung mit Massnahme ist enger an der erwarteten Fahrzeit. Das System wird zuverlässiger. Dieser Effekt der Zuverlässigkeit ist somit additiv zu denjenigen, die bisher in Bewertungen berücksichtigt werden.

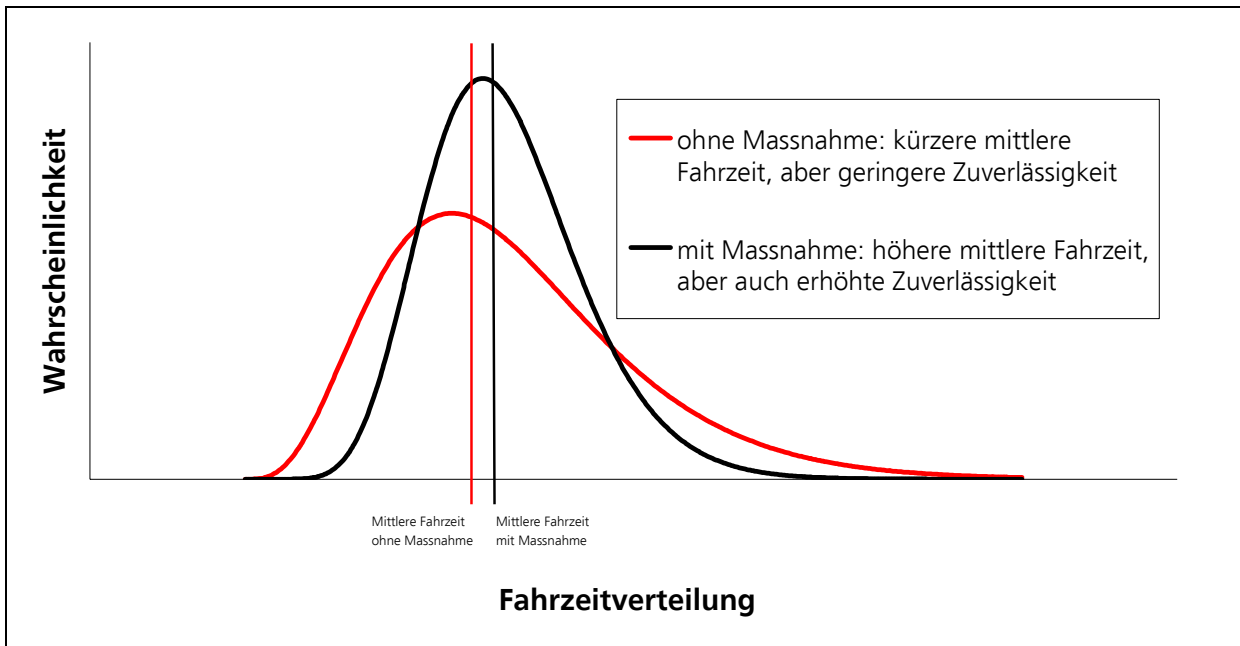


Abbildung 1.2-1: Systemskizze zum methodischen Ansatz

(5) Wie bisher in Verkehrsmodellen für Bewertungsverfahren üblich, wird hier ein aggregierter Ansatz gewählt, in dem Kollektive von Verkehrsteilnehmern betrachtet werden. In dieser Forschungsarbeit wird deshalb auch ein stochastischer Ansatz auf der Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie gewählt. Dieser Ansatz hat nicht den Anspruch einer Allgemeingültigkeit für jeden einzelnen Verkehrsteilnehmer mit einer deterministischen Vorhersagbarkeit der Reisezeit, sondern gilt als erster Schritt für ein Reisendenkollektiv mit einer möglichst grossen Grundgesamtheit (= erwartete Fahrzeit für alle Personen). Es ist nicht auszuschliessen, dass sofern genügend Verkehrsteilnehmer bereit sind, ihre Daten für individuelle Profile bereit zu stellen, ein Verfahren auf Basis individueller Verhaltensweisen entwickelt werden kann. Wenn dazu simultan Verkehrsgrössen, wie beispielsweise Verkehrsbelastungen, Querschnittsbelastungen oder Linienbelastungen zur Verfügung stehen, wären weitere Schritte zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit möglich.

1.3 Übersicht zum Berichtsaufbau

Die folgende Abbildung 1.3-1 zeigt den Berichtsaufbau. Auf die einzelnen Schritte wird im Folgenden kurz eingegangen:

- Zunächst wird der Begriff der Zuverlässigkeit operationalisiert: Dies erfolgt mittels Minuten, die ein Reisender früher oder später als geplant am Ziel seiner Reise ankommt. Notwendige Festlegungen und Abgrenzungen der Arbeit sind hier zudem dokumentiert (vgl. Kapitel 2 „Systemabgrenzung“).

- Hinsichtlich der Zuverlässigkeit erfolgt eine kurze Zusammenfassung des Forschungs- und Anwendungsstandes in Bewertungsverfahren (vgl. Kapitel 3).
- In Kapitel 4 werden Ausführungen zur Behandlung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr gegeben. Hier zeigt sich, dass aufgrund der Möglichkeit der Fahrplangestaltung und den vorhandenen Eingriffsmöglichkeiten auf der Ebene der Betriebsführung ein Verfahren zur Bewertung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr prinzipiell anders aufgebaut sein muss als im motorisierten Individualverkehr, zumal die Konsequenzen von Unzuverlässigkeiten insbesondere auch auf der Kostenseite der Verkehrsunternehmen erscheinen. Mit Blick auf die hier zu betrachtenden Endnachfrager wird der Schwerpunkt auf den motorisierten Individualverkehr gelegt.
- Das Verfahren zur Erfassung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit für Kosten-Nutzen-Analysen wird in Kapitel 5 erläutert:
 - Dazu müssen zunächst die Datengrundlagen geklärt werden (Kapitel 5.1):
 - Dies bezieht sich zum einen auf die zu verwendenden Zahlungsbereitschaften (vgl. Kapitel 5.1.1).
 - Zum anderen werden Daten über Reisezeitverteilungen für unterschiedliche Systemzustände (mit/ohne Massnahme) benötigt. In den Kapiteln 5.1.2 bis 5.1.4 wird dargestellt, welche Quellen hier zur Verfügung standen und welche Auswertungen gemacht wurden. Zur Ermittlung der Zuverlässigkeit werden Reisezeitverteilungen um einen Durchschnitts- bzw. Erwartungswert benötigt. Ergebnis ist, dass die Reisezeitverteilungen für unterschiedliche Zustände insbesondere auf Basis von querschnittsbezogenen Geschwindigkeitsverteilungen ermittelt werden.
 - Die Auswertung der Datengrundlagen dient schliesslich zur Entwicklung des Verfahrens für den motorisierten Individualverkehr (Kapitel 5.2). Hier wird das Verfahren mit den unterschiedlichen Fahrzeitverteilungen und Wertgerüsten dokumentiert. Das Vorgehen für unterschiedliche Massnahmenarten wird erläutert und das Verfahren auf ein Beispiel angewendet.
- Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen fassen nochmals den Anwendungsbereich des Verfahrens zusammen. Die Empfehlungen beinhalten den weitergehenden Forschungsbedarf (vgl. Kapitel 6).

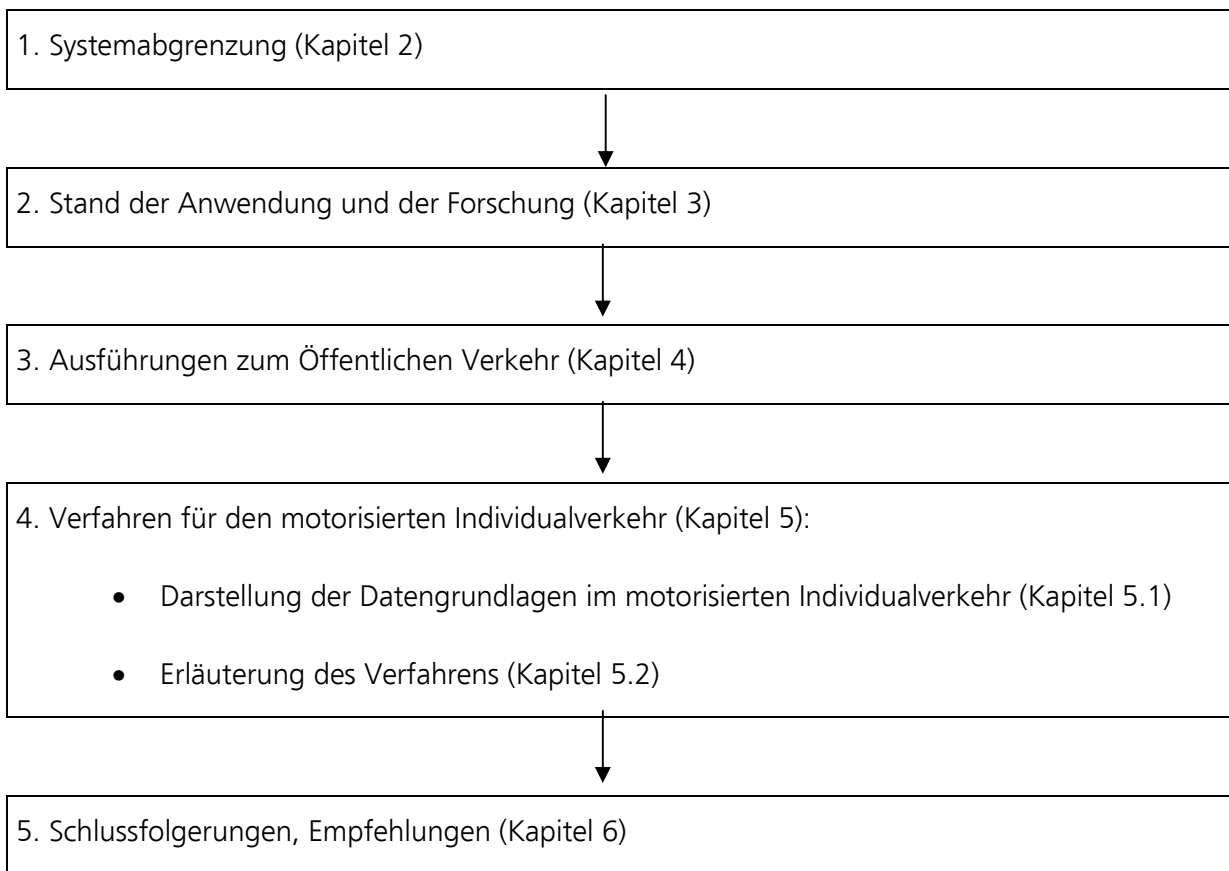


Abbildung 1.3-1: Übersicht zum Berichtsaufbau

2 Systemabgrenzungen

2.1 Mass der Zuverlässigkeit

(1) Zuverlässigkeit kann auf dreierlei Arten definiert werden (*de Jong, Kroes et al. 2004*):

1. Standardabweichung der Reisezeit
2. Differenz von Perzentilen der Reisezeitverteilung
3. Zeit, die ein Reisender früher oder später als erwartet am Ziel eintrifft.

Die erste Definition ist analytisch bzw. mathematisch. Die zweite Definition wäre für die Formulierung von (politischen) Zielen geeignet. Der dritte Ansatz ist dem Verständnis der Verkehrsteilnehmer am nächsten und konsistent mit der Verhaltenstheorie, wie sie der Bewertung von Massnahmen zugrunde liegt. Die dritte Definition wird hier im Folgenden verwendet.

(2) Mit der Operationalisierung der Zuverlässigkeit über Abweichungen von tatsächlichen Reisezeiten von einer erwarteten Reisezeit wird das zu entwickelnde Verfahren eindeutig von den üblichen Verfahren zur Ermittlung einer massnahmenbedingten Veränderung der Reisezeit abgegrenzt. An der Systemskizze in Abbildung 1.2-1 wurde dies erläutert.

(3) Die tatsächliche Reisezeit kann nun von der erwarteten mittleren Reisezeit aufgrund nicht planbarer Ereignisse abweichen. Dies können sein:

- Abweichungen von der erwarteten Belastung
- zufällig auftretende Störungen (z.B. Stau infolge Unfälle)

Die Zuverlässigkeit wird repräsentiert durch die Verteilung der Fahrzeiten.

(4) Ein System ist nun umso zuverlässiger, je grösser die Wahrscheinlichkeit ist, pünktlich am Ziel anzukommen, das heisst, dass die tatsächlichen Reisezeiten der mittleren möglichst häufig entsprechen. Die Zuverlässigkeit entspricht somit dem Eintreffen am Zielort zu der erwarteten Ankunftszeit (= Abfahrtszeit + geplante Reisezeit auf der Basis Verkehrsmodell).

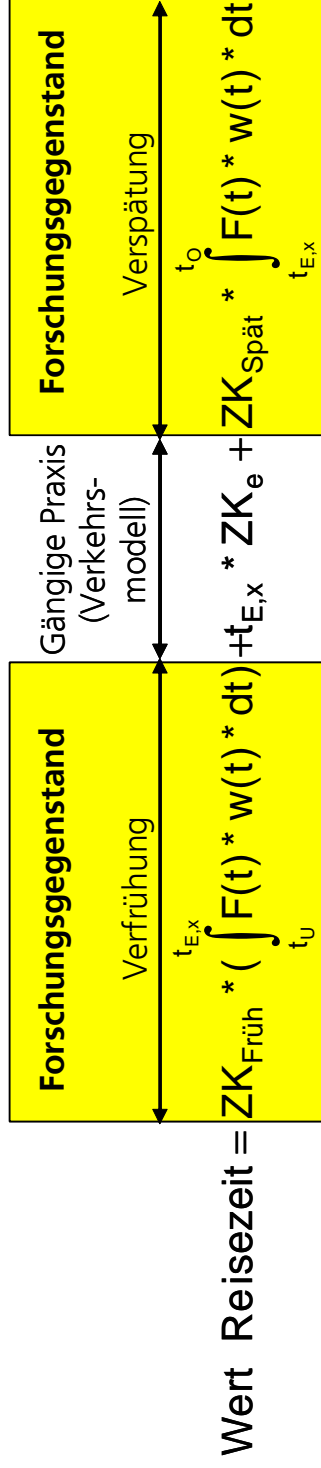
(5) Es werden in aggregierter Form ausschliesslich Kollektive von Verkehrsteilnehmern betrachtet. Deshalb wird in dieser Forschungsarbeit ein stochastischer Ansatz auf der Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie gewählt. Dieser Ansatz hat nicht den Anspruch einer Allgemeingültigkeit für jeden einzelnen Verkehrsteilnehmer mit einer deterministischen Vorhersagbarkeit der Reisezeit, sondern gilt als erster Schritt für ein Reisendenkollektiv mit einer möglichst grossen Grundgesamtheit (= erwartete Fahrzeit für alle Personen).

(6) In diesem Sinne wäre ein System auch dann „zuverlässig“, wenn die mittlere Fahrzeit aufgrund regelmässiger Staus in stetem Masse hoch sein sollte. Somit können allein nicht geplante Verfrühungen und Verspätungen die Zuverlässigkeit darstellen: Hohe Abweichungen von der mittleren Fahrzeit besagen, dass die Reisezeit kaum vorhersehbar und das Verkehrssystem somit unzuverlässig ist (Turochy, Smith, 2002). Aus Sicht der Verkehrsteilnehmer führt eine Senkung der Abweichungen (= Erhöhung der Zuverlässigkeit) zu einer Reduktion der Unsicherheit in der Entscheidungsfindung hinsichtlich der Wahl der Abfahrtszeit und/oder der Routenwahl (Sun, Arr et al., 2003). Da der Verkehrsteilnehmer die Unsicherheit über die Bildung von Reisezeitreserven auffängt, kann die Zuverlässigkeit somit auch über eine Veränderung der geplanten Reisezeit berücksichtigt werden.

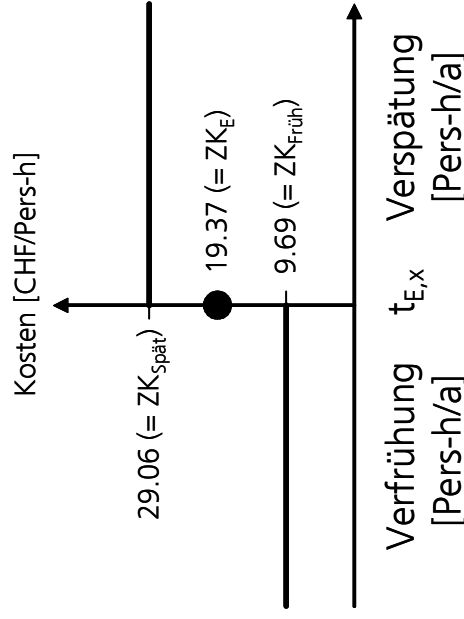
(7) Das hier dargestellte Konzept der Zuverlässigkeit ergänzt die Praxis der Bewertung von Reisezeitveränderungen (vgl. Abbildung 2.1-1):

- Die gängige Praxis zur Bewertung von Massnahmen ist wie folgt: Es werden Veränderungen der mittleren Fahrzeit ermittelt und mit einem Wertansatz bewertet. Grundlagen zur Ermittlung der Reisezeit in Personenstunden je Jahr für den Null- und den Planfall sind
 - Verkehrsmodellberechnungen mit der Ermittlung von Belastungszuständen im Netz,
 - Reisezeiten im belasteten bzw. unbelasteten Netz,
 - Modellierung der Belastungszustände mit/ohne Massnahme und Ausweisung der entsprechenden mittleren ReisezeitenDie massnahmenbedingten Veränderungen werden ermittelt, indem die Reisezeiten im Netz für Planfall und Referenzfall ermittelt und mit einem Zeitkostensatz bewertet werden. Insofern bilden die genannten Komponenten notwendige Eingangsgrössen für Bewertungen.
- Als Zusatzeffekte und hier Gegenstand der Forschung werden die folgenden Effekte mitbewertet:
 - Unterschiedlichen Zeitkostensätze bei verfrühter oder verspäteter Ankunft (unterer linker Teil in Abbildung 2.1-1) sowie
 - die Veränderung von Fahrzeitverteilungen (unterer rechter Teil in Abbildung 2.1-1).

Hier sind also streckenbezogene und verkehrsmodellbezogene Kenngrössen (Verkehrsbelastung und Geschwindigkeiten) mit stochastisch zu erwartenden Veränderungen der Reisezeiten zu kombinieren und die Zusatzeffekte aus veränderter Reisezeit und unterschiedlichen Zeitkostensätzen zu bewerten. Im Kapitel 5.1.1 wird auf die Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Zuverlässigkeit eingegangen. Die Kapitel 5.1.2 bis 5.1.5 und 5.2 erläutern die Veränderung der Reisezeiten und wie dieses Verfahren in die volkswirtschaftlichen Bewertungsmodelle integriert werden kann. Das hier entwickelte Konzept der Zuverlässigkeit ergänzt also die gängige Praxis.



Zeitkostensätze (vgl. Kapitel 5.1.1)



$w(t) * dt$ = Fahrzeitverteilung (vgl. Kapitel 5.1.2 bis 5.2)

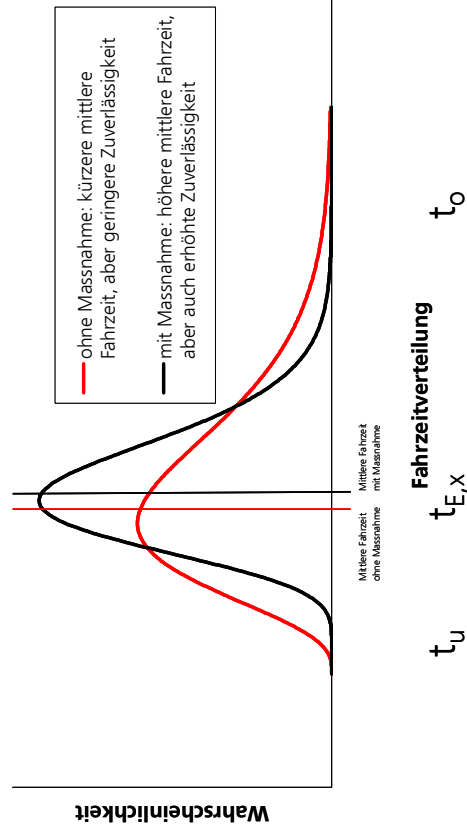


Abbildung 2.1-1: Konzept der Bewertung der Zuverlässigkeit als Ergänzung zur gängigen Praxis bei Bewertungen

2.2 Weitere räumliche, sachliche und zeitliche Abgrenzungen

(1) Das hier entwickelte Verfahren ist vor dem Hintergrund der folgenden räumlichen, sachlichen und zeitlichen Abgrenzungen anzuwenden.

(2) Räumliche Systemabgrenzung:

- Grundlage des Verfahrens sind schweizerische Daten. Die Parameter gelten für die **Schweiz**. Bei einer Übertragung auf andere Länder ist die Übertragbarkeit aufgrund der baulichen Situation und der verkehrlichen Belastungen zu prüfen.
- Entsprechend Datenlage werden Hochleistungs- und Hauptverkehrsstrassen betrachtet (HLS, HVS). Einflüsse der Leistungsfähigkeit von Knoten auf die Zuverlässigkeit von Strecken in deren Einflussbereich werden nicht systematisch untersucht, da die Komplexität solcher Situationen häufig eine vertiefte Betrachtung erfordert.

(3) Sachliche Systemabgrenzung: Das Verfahren betrachtet den **motorisierten Individualverkehr**; zum Öffentlichen Verkehr vergleiche Kapitel 4. Dabei wird der Personenverkehr berücksichtigt, da hierfür Wertansätze für die Zuverlässigkeit vorliegen. Diese stellen einen über alle Fahrtzwecke gemittelten Durchschnittssatz dar (vgl. Kapitel 5.1.1) und werden aus Verhältniskennzahlen zum mittleren Zeitkostensatz für die erwartete Reisezeit berechnet. Der mittlere Zeitkostensatz für die erwartete Reisezeit im Personenverkehr kann der Norm SN 641 822 entnommen werden.

(4) Auswirkungen auf den Güterverkehr werden hier nicht behandelt, da in der Literatur keine entsprechenden Zahlungsbereitschaften für die Erhöhung der Zuverlässigkeit seitens der Verlager vorliegen. Die Angaben in der Literatur beziehen sich allein auf die Verkehrsmittelwahl (*Bolis, Maggi, 1999*)¹⁾ oder auf einen mittleren Wert (*Gottardi, 2000*). Weitere Auswirkungen einer verbesserten Zuverlässigkeit auf verbesserte Produktionsmethoden (z.B. Just-In-Time) werden nicht abgebildet.

(5) Die zeitliche Abgrenzung ist wie folgt:

- Die Ermittlung der Fahr- bzw. Reisezeitverteilungen erfolgte mit Daten aus den Jahren 2002 bis 2005 (je nach Datum zusätzlich frühere Jahre). Dies entspricht auch dem Zeitraum der Ermittlung der Wertgerüste.
- Bewertungen von Massnahmen erfolgen üblicherweise für Prognosejahre: Das entwickelte Verfahren verwendet die Verteilungen je Verkehrszustand in den Analysejahren für die Prognosejahre. Eventuell hinzukommende Verkehrszustände können ergänzt werden (z.B. neue Anzahl Fahrstreifen etc.).

1) Wobei nur eine geringe Stichprobe vorlag.

3 Stand der Anwendung und der Forschung

(1) Generell ist festzuhalten, dass wenig Forschung zu Reisezeitvarianzen verglichen mit der Analyse der durchschnittlichen Reisezeiten und den diesbezüglichen Verhaltensänderungen betrieben wurde. Dies ist vor allem darin begründet, dass zu den Reisezeitverteilungen kaum Daten Grundlagen in genügender Stichprobenerhebungsgrösse vorliegen.

(2) Hinsichtlich der Aufgabenstellung und dem Verwendungszweck der Arbeit, nämlich die Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderungen von Strassenverkehrsprojekten und ihre Bewertung, wird der Stand der Anwendung und der Forschung wie folgt dargestellt:

1. Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Bewertungsverfahren
2. Wertgerüste zur Bewertung von Veränderungen der Zuverlässigkeit
3. Ermittlung von Mengengerüsten
4. Fazit

(3) Entsprechend den Ausführungen in Kapitel 4 wird hier der motorisierte Individualverkehr betrachtet.

Zu 1.) Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Bewertungsverfahren

(1) Eine Übersicht zu international angewendeten Verfahren zur Bewertung von Neu- und Ausbaumassnahmen zeigt, welche Ziele und Indikatoren in Kosten-Nutzen-Analysen berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 3-1). Ergebnis ist, dass die Zuverlässigkeit in Kosten-Nutzen-Analysen nicht berücksichtigt wird. Für Deutschland gilt dies sowohl für den Deutschen Bundesverkehrswegeplan (*Bundesverkehrswegeplan Deutschland, 2003*) als auch für die Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (*EWS, 1997*). Im Bundesverkehrswegeplan wird lediglich im Güterverkehr die Pünktlichkeit im Verkehrsmittelwahlmodell als Einflussparameter berücksichtigt. Im Personenverkehr werden ausschliesslich Reisezeit, Nutzerkosten (Out-Of-Pocket-Kosten), Verfügbarkeit, Umsteigehäufigkeit und Bedienungskomfort zur Modellierung verwendet (*Bundesverkehrswegeplan Deutschland, 2003, S. 45*). In der Österreichischen Richtlinie zu Nutzen-Kosten-Untersuchungen für Strassen (*RVS2.22, 2002*) ist die Verbesserung der Zuverlässigkeit nur deskriptiv vorgesehen und damit auch nicht Bestandteil der Kosten-Nutzen-Analyse. In Schottland wird zwar betont, dass die Zuverlässigkeit eine grosse Bedeutung hat, aber auch gesagt, dass kein Verfahren besteht, mit dem die massnahmenbedingten Veränderungen quantifiziert werden können. In Ermangelung eines Verfahrens sollen dort die Effekte qualitativ zum Beispiel anhand von Auslastungsveränderungen abgeschätzt werden (*Scottish Guidance, 2003, S. 8-8*).

	Schweiz Kopfnorm	Belgien	Dänemark	Deutschland	England	Finnland	Frankreich	Griechenland	Holland	Irland	Italien	Österreich	Portugal	Spanien	Schweden	ECMT	EUNET
Baukosten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Landkosten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Unterhaltskosten	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Betriebskosten Verkehrsweg	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Betriebskosten Fahrzeuge	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Reisezeitveränderungen / Nettonutzen des Mehrverkehrs	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Veränderung Zuverlässigkeit	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Unfälle	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Lärm	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Luftverschmutzung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Klima	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Externe Kosten der Energie durch Betrieb Infrastruktur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bodenversiegelung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Landschafts- und Ortsbild	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Zerschneidungseffekt	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Trennungseffekt Fussgänger	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Wirtschaftliche Entwicklung	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Beschäftigungseffekt	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Legende: In KNA nicht monetarisiert nicht bewertet

Abbildung 3-1: Übersicht zu Indikatoren in Kosten-Nutzen-Analysen (ecoplan/Metron, 2005, S. 53 und die dort angegebenen Quellen)

(2) Dies liegt daran, dass die Bedeutung der Zuverlässigkeit im Vergleich zu anderen Nutzenkomponenten in Bewertungen bisher nicht korrekt eingeschätzt werden konnte, so dass sich die Bewertungsverfahren auf die Betrachtung der mittleren Fahrzeit konzentrierten. Erst mit den neueren Analysen zur Zahlungsbereitschaft für die Zuverlässigkeit erweisen sich die mangelnden Kenntnisse zur Zuverlässigkeit als Manko bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich. Dies vor allem, seit die Frage der Nutzen und Kosten von verkehrsorganisatorischer Massnahmen im Vergleich zu Neu- und Ausbaumassnahmen vermehrt diskutiert wird und bei diesen Massnahmen ein grösserer Nutzen in der Verbesserung der Zuverlässigkeit gesehen wird.

(3) Dieses Manko soll nochmals an folgenden Beispiel erläutert werden: Wird eine Massnahme wie die generelle Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit von 120 km/h auf 80 km/h mit den bisherigen Verfahren bewertet, so geschieht dies wie folgt: Die Veränderung der Reisezeiten wird im Verkehrsmodell ermittelt. Die Reisegeschwindigkeiten werden mittels "capacity-restraint-functions" ermittelt. Sie berücksichtigen die effektive Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Auslastung. Die Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit kann wie folgt modelliert werden:

- In Zeitbereichen ohne Kapazitätsrestriktionen sinken die Geschwindigkeiten z.B. von 120 auf 80 km/h, sofern das Modell die zulässige Höchstgeschwindigkeit berücksichtigt. Die Reisezeiten steigen.
- In Zeitbereichen mit Kapazitätsrestriktionen: Eine Reduktion der zulässigen Geschwindigkeiten soll den Durchfluss homogenisieren respektive die Gefahr von Staus eindämmen. Kann dies im Verkehrsmodell bspw. über die Kapazität berücksichtigt werden, werden hier allenfalls Routenverlagerungen ermittelt.

Üblicherweise wird also hauptsächlich ein negativer Nutzen durch eine Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit ermittelt werden. Der Effekt, dass sich durch die Reduktion der zulässigen Geschwindigkeit gegebenenfalls die Reisezeitverteilungen verändern und die Pünktlichkeit erhöht wird, wird nicht erfasst.

(4) Diese vor allem für die Bewertung von verkehrorganisatorischen Massnahmen wichtige Nutzenkomponente wird auch bei den vorgeschlagenen Verfahren zur Bewertung von Massnahmen der Verkehrstelematik nicht berücksichtigt (*Meier-Eisenmann, Abay, 2001, S. 34ff*).

Zu 2.) Wertgerüste zur Bewertung von Veränderungen der Zuverlässigkeit

(1) Hinsichtlich der Bedeutung der Zuverlässigkeit als Entscheidungsvariable für die Verkehrsmittelwahl liegen erste Einschätzungen für die Schweiz vor (*König, Axhausen, 2002*). Hier ist der Stand der nationalen und internationalen Forschung zur Bewertung der Zuverlässigkeit ausführlich dokumentiert. Die dort ausgewertete Literatur ist im Anhang A1 separat aufgeführt. Die Bewertung der Zuverlässigkeit wurde mit Hilfe der Stated-Preference-Methode untersucht. In Kapitel 5.1.1 wird die Frage der Wertansätze behandelt.

(2) Forschungsbedarf besteht im Bereich der Zahlungsbereitschaften allgemein wie folgt: Die Untersuchungen im Rahmen der zitierten Vorstudie hatten nur eine kleine empirische Basis. Differenzierungen nach Reisezwecken und Personengruppen waren nur eingeschränkt möglich. Ferner konnte nicht endgültig geklärt werden, wie die Zuverlässigkeit in Befragungen darzustellen ist. Dieser Frage ist durch weitere Experimente bei den Befragungen nachzugehen. Zudem sollten entsprechende revealed-preference-Daten gewonnen werden, um die Wirkung der (Un-)Zuverlässigkeit auf die Kalkulation der Reisezeit im Alltagsverhalten zu dokumentieren. Die Ausschreibung des SVI zu dieser Forschungsarbeit beinhaltet diese Aspekte, und die notwendigen

Arbeiten wurden offeriert. Aus Budgetgründen wurden diese aber durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) nicht beauftragt.

Zu 3.) Ermittlung von massnahmenbedingten Veränderungen der Reisezeitverteilungen (Mengengerüste)

(1) In den letzten Jahren sind in der wissenschaftlichen Literatur verschiedene Beiträge zur Untersuchung von Reisezeitverteilungen erschienen. Dabei kann wie folgt unterschieden werden:

- Analysen von Reise- und Fahrzeiten mit Floating Car Daten: Dabei werden wiederholt Fahrten von i nach j auf der gleichen Route durchgeführt. Die Reisezeiten werden notiert, und es lassen sich Verteilungen der Reisezeiten ermitteln. Allerdings kann kein Bezug zur Kapazität und Auslastung auf der Route hergestellt werden. Diese Untersuchungen dienen vor allem zur Weiterentwicklung von Verkehrsmodellen hinsichtlich der Modellierung der Routenwahl (Arroyo, Kornhauser, 2005):
 - Entsprechende Untersuchungen bestehen beispielsweise für London und Leeds (Blach, Bates, Fearon et al., 2004).
 - Für die Schweiz besteht eine kleine Datenstichprobe. Diese konnte zur Entwicklung des Verfahrens ausgewertet werden (vgl. Kapitel 5.1.2).
- Kapazitäts- und Effizienzanalysen von Autobahnen: Hier werden querschnittsbezogene Untersuchungen zur Fahrzeit und Kapazität vorgenommen. Dabei zeigt sich, dass die Kapazität von Autobahnen einen stochastischen Charakter hat. Es ist vor allem die Qualität des Verkehrsablaufs zu berücksichtigen. Entsprechende Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Massnahmen sollten dies berücksichtigen. Konkrete Anleitungen für den Praktiker werden dazu aber bisher nicht gegeben (Brilon, Regler, Geistefeldt, 2005). Dies ist Gegenstand dieser Arbeit.

(2) Verfügbare dynamische Simulationsmodelle wie z.B. VISSIM erlauben für ausgewählte Netzteile Aussagen zur durchschnittlichen Geschwindigkeit und zu Verlustzeiten (effektive Fahrzeit – Fahrzeit ohne Verkehr). Der Nutzen von kapazitätserhöhenden Massnahmen wie zum Beispiel Standstreifennutzung (Dasen, Bischofberger, 2005) oder optimierte Baustelleneinrichtungen (Ernst Basler + Partner AG, 2004) kann dabei dargestellt werden. Dabei können prinzipiell auch Fahrzeitverteilungen berücksichtigt werden, dazu liegen aber keine kalibrierten Werte vor. Diesbezügliche Grundlagen werden in dieser Forschungsarbeit ermittelt. Ausserdem ist offen, inwieweit die mikroskopischen Modelle wie VISSIM bei der Modellierung grossräumiger Effekte, wie z.B. mit VISSUM, integriert werden können und sollten: Beispielsweise können grossräumige Routenumlagerungen bei den mikroskopischen Verfahren nicht berücksichtigt werden.

(3) Bezüglich der Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit stellt sich die Situation wie folgt dar:

- Es sind theoretische Modelle entwickelt worden,
 - deren Anwendbarkeit aufgrund fehlender Daten in grösseren Netzen nicht geklärt ist (Clark, Watling, 2005) oder

- sich ausschliesslich auf die methodisch einwandfreie, aber massnahmenunabhängige Berechnungen von Reisezeiten beziehen (*Gajewski, Rilett, 2005*).
- In England wurde ein Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Bewertungen entwickelt. Dazu wurden Funktionen zu Reisezeitverteilungen entwickelt, die in üblichen Verkehrsmodellen auf Basis von Quelle-Ziel-Matrizen angewendet werden können. Die Datengrundlagen wurden in London und Leeds erhoben (*Blach, Bates, Fearon et al., 2004*). Eine Übertragung des Verfahrens auf schweizerische Städte ist aufgrund des höheren Verkehrsaufkommens, der unterschiedlichen Siedlungsstruktur, der Pendlerdistanzen und der Verfügbarkeit anderer Verkehrssysteme (z.B. U-Bahn) in England so nicht möglich.
- In der schweizerischen Planungspraxis ist die Ermittlung der Zuverlässigkeit von Angeboten im Strassenverkehr die grosse Ausnahme. Erste Bewertungen der Verbesserung der Zuverlässigkeit wie z.B. im Rahmen der AVANTI-Initiative sind einzelfallbezogen. Hier wurden für ganz spezifische Massnahmen im Strassennetz die Wahrscheinlichkeiten zur Veränderung eingeplanter Reisezeitreserven ermittelt, abgeschätzt und mit den Zeitkostensätzen für die Veränderung der durchschnittlichen Reisezeit bewertet.

Zu 4.) Fazit

Forschungsbedarf besteht vor allem darin, Reisezeitverteilungen für die Schweiz zu ermitteln und einen Bezug zu Massnahmen und den durch diese bewirkten Veränderungen herzustellen. Ausgehend von den oben dargestellten Forschungsergebnissen ist der Forschungsbedarf wie folgt zu beschreiben:

- Ermittlung der Zahlungsbereitschaften (Funktion der Zeitkostensätze)
- Ermittlung von Fahrzeitverteilungen für wesentliche Strassentypen im motorisierten Individualverkehr
- Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Reisezeit über verschiedene Netzelemente
- Vorschlag zu praktikablen Verfahren für die Bewertung der Veränderung der Zuverlässigkeit in Abhängigkeit von Massnahmen. Dabei sind die Anforderungen der Praxis an die Ergebnisdarstellung weitestgehend zu berücksichtigen:
 - Das Verfahren muss auf üblichen, bei Bewertungen vorliegenden verkehrsplanerischen Daten basieren.
 - Integration in die Grundnorm „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr“ (SN 641 820), d.h.:
 - Es dürfen keine Doppelzählungen zu anderen Indikatoren erfolgen (Bewertung Reisezeiteinsparung).
 - Es muss prognosefähig sein bzgl. Zeithorizont und Massnahmen, d.h. massnahmenreagibel.

4 Behandlung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr

(1) Im Öffentlichen Verkehr (ÖV) stellt sich die Diskussion zum Thema Zuverlässigkeit anders dar, als dies im Individualverkehr der Fall ist. Im öffentlichen Verkehr ist davon auszugehen, dass die erwartete, vom Verkehrsteilnehmer geplante Reisezeit der Fahrplanzeit entspricht; dies aus den folgenden Gründen:

- Der Öffentliche Verkehr wird durch Betreiber angeboten, die nach Fahrplänen fahren.
- Die Fahrpläne enthalten Zeitzuschläge, um eine möglichst hohe Pünktlichkeitsquote und damit Zuverlässigkeit zu erzielen.
- Der Fahrzeugführer und die Betriebszentrale können bei Störfällen und Fahrplanabweichungen Massnahmen ergreifen (schnelleres oder langsames Fahren, Einsatz von Ersatzfahrzeugen oder –zügen).
- Sinkt die Pünktlichkeit längerfristig, so können die Fahrpläne zur Erzielung einer bestimmten Pünktlichkeitsquote angepasst werden.

Massnahmen zur Verbesserung der Pünktlichkeit im Öffentlichen Verkehr sind beispielsweise die Einführung eines Eigentrassees oder die ÖV-Bevorzugung an Lichtsignalanlagen. Die Pünktlichkeit ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal des Öffentlichen Verkehrs in der Schweiz und zeigt, dass Massnahmen in der Praxis tatsächlich ergriffen werden.

(2) Im Rahmen dieser Untersuchung wurde untersucht, inwieweit Abweichungen vom Fahrplan vorliegen. Dazu lagen folgende Daten vor (vgl. Anhang A2):

- Öffentliche Verkehr Schiene: Daten der SBB (Anhang A2.1)
- Öffentliche Verkehr Strasse (Anhang A2.2):
 - Daten der Buslinie Rapperswil – Jona (praktisch ohne Eigentrassee)
 - Daten von Bernmobil für verschiedene Tram- (i.a. Eigentrassee), Trolleybus- und Buslinien (nur abschnittsweise mit Eigentrassee)

Der Anhang A2 enthält die Auswertungen. Dabei kann im Öffentlichen Verkehr eine Vielzahl von Einflussgrössen die Pünktlichkeit beeinträchtigen, wie die nachfolgende Liste zu möglichen Störquellen auf der Schiene und der Strasse – in unterschiedlichen Ausprägungsgraden – zeigt (*Engel, Brändli, 1990, S. 8ff*):

- Betreiberinterne, anlagenbedingte Störquellen:
 - Steigung/Gefälle, Kurven, Lauf- und Fahreigenschaften, Energieaufnahme, Antrieb/Adhäsion, Verzweigung/Kreuzung, Einspurstrecken, Langsamfahrstellen, Kreuzungsverbote, Sicherungseinrichtungen, Unterhalt, Technische Störungen Fahrbahn, technische Störungen Energieversorgung, technische Störung Sicherungseinrichtungen, technische Stö-

zung Fahrzeug, Verzweigung/Kreuzung, Streckenbelegung, Haltestellenbelegung, Anschlussabnahme

- Sonstige Störquellen:

Fahrgast: Ein-/Ausstieg, Abfertigung, Stehplatz, Gepäck; Privatverkehr, Naturereignisse

Die Aufzählung zeigt, dass aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren die Entwicklung eines standardisierten Verfahrens im Öffentlichen Verkehr allenfalls mit erheblichem Aufwand möglich ist. Ein Einbezug des Betreibers im Öffentlichen Verkehr ist notwendig.

(3) Es zeigt sich im Weiteren, dass das Thema Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr und im Individualverkehr sehr unterschiedlich zu behandeln ist:

- Für den motorisierten Individualverkehr können für unterschiedliche Ausbaustände jeweils Fahrzeitverteilungen ermittelt werden, die sich direkt in der geplanten Fahrzeit und der Zuverlässigkeit des Verkehrsnachfragers niederschlägt (vgl. Kapitel 5). Massnahmen auf der Strasse sind hier direkt wirksam sowohl hinsichtlich der erwarteten, durchschnittlichen Reisezeit wie auch hinsichtlich der Abweichungen davon.
- Der Öffentliche Verkehr weist als geplanter Linienverkehr im Voraus unter Berücksichtigung aller Restriktionen aus der vorhandenen oder geplanten Infrastruktur und dem eingesetzten Rollmaterial erarbeitete Fahrpläne auf. Die Reisezeiten für die gesamte Transportkette (inkl. Puffer- und Umsteigezeiten) werden bei der Planung unter Berücksichtigung den sich hieraus ergebenden Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen Verkehrsträgern ermittelt. Mit der Gestaltung des Fahrplans bestehen hier vielfältige Handlungsmöglichkeiten zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit.

(4) Ein Verfahren zur Berücksichtigung der Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr bedarf somit einer Vielzahl einzelfall- bzw. betreiberabhängiger Informationen. Um die Einflüsse ermitteln zu können und um eine gezielte Klassifizierung vornehmen zu können, sind weitere Beispiele zu analysieren. Zudem müssen die Resultate zum Beispiel anhand der Typisierung für Strecken und Bahnhöfe klassifiziert werden.

(5) Aufgrund der hohen Zuverlässigkeit des Öffentlichen Verkehrs in der Schweiz spielt das Thema Zuverlässigkeit für den Endnachfrager nicht die Rolle bzw. darf sie systembedingt gar nicht spielen, wie dies beim Strassenindividualverkehr der Fall ist. Davon ist unberührt, dass den Betreibern zur Erzielung der Zuverlässigkeit hohe Betriebskosten entstehen könnten, die hier aber - wie bereits erwähnt - nicht Untersuchungsgegenstand sind.

(6) Zusammenfassend wurde mit der Begleitgruppe beschlossen, den Öffentlichen Verkehr quantitativ nicht in dem hier zu entwickelnden Verfahren mit abzubilden. Dafür sprachen die folgenden Gründe:

- Die an sich hohe Zuverlässigkeit des Öffentlichen Verkehrs in der Schweiz.
- Die Möglichkeit der Betreiber, im Öffentlichen Verkehr auf Unzuverlässigkeiten zu reagieren, weshalb den Verkehrsnachfragern ein zuverlässiges Angebot bereitgestellt werden kann. Die Bewertung der Kosten der Betreiber für Massnahmen zur Erzielung der Zuverlässigkeit ist nicht Bestandteil des Forschungsauftrags.

- Im Öffentlichen Verkehr sind grundsätzlich andere Massnahmen als im motorisierten Individualverkehr von Interesse (z.B. Fahrplanoptimierungen), deren Wirkung im Rahmen des vorliegenden Projekts und im Rahmen der Anwendung der Grundlagennorm Kosten-Nutzen-Analyse nur sehr schwer oder gar nicht anhand verfügbarer Daten quantifiziert werden können. Hier sind im Einzelfall die Veränderungen mit den Betreiber im Öffentlichen Verkehr zu ermitteln.
- Die Grundlagennorm zur Kosten-Nutzen-Analyse beschränkt sich im Wesentlichen auf den motorisierten Individualverkehr, weshalb dieser auch hier im Vordergrund steht.

5 Motorisierter Individualverkehr

5.1 Darstellung der Datengrundlagen

5.1.1 Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Zuverlässigkeit

Einführung

(1) In der Verkehrsmodellierung hat sich der mikroökonomische Ansatz des nutzenmaximierenden homo oeconomicus durchgesetzt (siehe z. B. *Abay, 1984; Ben Akiva, Lerman, 1985* oder *Ortuzar, Willumsen, 1994*). Stehen mehrere Alternativen zur Wahl, entscheidet sich die Person innerhalb der ihr gegebenen Randbedingungen für die Alternative, die den grössten Nutzenzuwachs bietet. Dies bezieht sich auf Zeiten und Dauern von Aktivitäten, wie *Becker (1965)* und *DeSerpa (1971)* aufzeigen.

(2) Es wird angenommen, dass neben der Zahlungsbereitschaft für eine verkürzte Reisezeit zusätzlich die Zuverlässigkeit einen Nutzen hat. Unter der Zuverlässigkeit wird hier eine Bewertung der Abweichung von der erwarteten Reisezeit verstanden.

Grundlagen

(1) Ungewisse Reisezeiten erzeugen in den meisten Untersuchungen generalisierte Kosten, die sich in einer „Schlupfzeit“ (*Gaver, 1968*) oder in einer „Sicherheitszeit“ (*Knight, 1974*) zeigen. Um diese Zeiten treten Personen eine Fahrt früher respektive später an als die Abfahrtszeit, die gewählt würde, wenn die mittlere Reisezeit zugrunde gelegt würde.

(2) Es wird davon ausgegangen, dass jede Person bestrebt ist, die gesamten Reisekosten (Zeitkosten und Out-of-Pocket-Kosten) zu minimieren. Diese Kosten sind als generalisierte Kosten zu verstehen, so dass beispielsweise eine komfortable Reiseform einen Nutzen bringt und somit auch einen Wert hat. Hier wird nur auf die Reisezeit, Verfrühungen und Verspätungen eingegangen. Es existiert eine Zahlungsbereitschaft für die Reduktion sowohl der Reisezeit als auch der Fahrzeitunsicherheiten.

(3) Verfrühungen und Verspätungen entstehen durch nicht systematische Reisezeitschwankungen um den Mittelwert, wobei angenommen wird, dass die Schwankungen für die einzelnen Verkehrsteilnehmer nicht vorhersagbar sind, deren Ausmass jedoch im Mittel abgeschätzt werden kann. Allgemein entstehen durch unsichere Reisezeiten auf einer Etappe Nachteile, die in Form von generalisierten Kosten ausgedrückt werden können. Begründet liegen diese Kosten in der Planungsunsicherheit und dem entgangenen Nutzen, diese Zeiten evtl. besser nutzen zu können. Eine besondere Bedeutung kommt einer Verspätung zu. Untersuchungen haben erge-

ben (z. B. König, 2004), dass in der Regel Verspätungen grössere Nachteile, d. h. höhere generalisierte Kosten, erzeugen als Verfrühungen.

(4) Ermittelt werden Kosten infolge Verfrühung oder Verspätung in der Regel durch *stated preference*-Befragungen, in denen die Befragten sich für Fahrtalternativen mit unterschiedlichen Eigenschaften bezüglich Reisezeit und Verfrühungs- bzw. Verspätungshäufigkeit bei unterschiedlichen Kosten entscheiden sollen. Auswertungen mit geeigneten Modellen ergeben die Zahlungsbereitschaft für pünktliches Ankommen oder anders ausgedrückt die generalisierten Kosten, die einer Person für zu frühes oder zu spätes Ankommen entstehen.

(5) Auf *Gaver, 1968* und *Knight, 1974* und auf das Modell von *Vickrey, 1969* aufbauend zeigte *Small, 1982* ein elementares Modell zur Beschreibung des Nutzens der Abfahrtszeitwahl. Es werden hier Parameter für die Fahrzeit (α), zu frühes Ankommen (β) und zu spätes Ankommen (γ) berücksichtigt (vgl. Abbildung 2.1-2). Es ist zu beachten, dass für eine gegebene einzelne Fahrt SDE (schedule delay early) und SDL (schedule delay late) den Wert 0 oder den Zeitwert annehmen kann, falls eine Verfrühung bzw. Verspätung vorliegt. Das folgende Modell von *Small, 1982* arbeitet mit mittleren Fahrzeiten und mittleren Verfrühungen / Verspätungen:

$$U = \alpha * T + \beta * (SDE) + \gamma * (SDL) + \theta * D_L \quad (\text{Formel 1})$$

mit	U:	Generalisierte Kosten
	T:	mittlere Reisezeit
	SDE:	schedule delay early – zu frühes Ankommen
	SDL:	schedule delay late – zu spätes Ankommen
	D_L :	Wahrscheinlichkeit für zu spätes Ankommen (θ), extra Kosten (D_L)
	α :	Parameter für die Fahrzeit
	β :	Parameter für zu frühes Ankommen
	γ :	Parameter für zu spätes Ankommen

(6) Ein anderer Ansatz zielt auf die Beschreibung der Varianz der Reisezeiten als Kostenfaktor. *Noland, Small et al., 1995* stellten dazu ein umfassendes Modell auf, das die ermittelte Log-Normalverteilung der zufälligen Reisezeitverteilung mit einer Exponentialverteilung approximiert. *Polak, 1996* stellt hierzu eine vereinfachte Variante vor, die sich linear in Bezug auf den Wert der Standardabweichung (b) der Reisezeit verhält:

$$U = \alpha * T + b * \beta * \ln(1 + \gamma / \beta) \quad (\text{Formel 2})$$

(7) Es wird ferner angenommen, dass keine zusätzlichen Kosten (zu SDE und SDL) für zu spätes Ankommen entstehen ($\theta=0$). Diese beiden Modelle erlauben die Schätzung der generalisierten Kostenverhältnisse zwischen den einzelnen Parametern.

(8) Neben den linearen Faktoren, wie beim Modell nach Formel 2, sind auch andere Formen denkbar, wie sie beispielsweise in *De Palma, Fontan, Picard, 2003* für verschiedene Wegezwecke analysiert wurde. Für die untersuchten Zwecke Einkauf, Schule und andere Zwecke ergaben sich folgende Kosten gegenüber der Abweichung von der mittleren Fahrzeit:

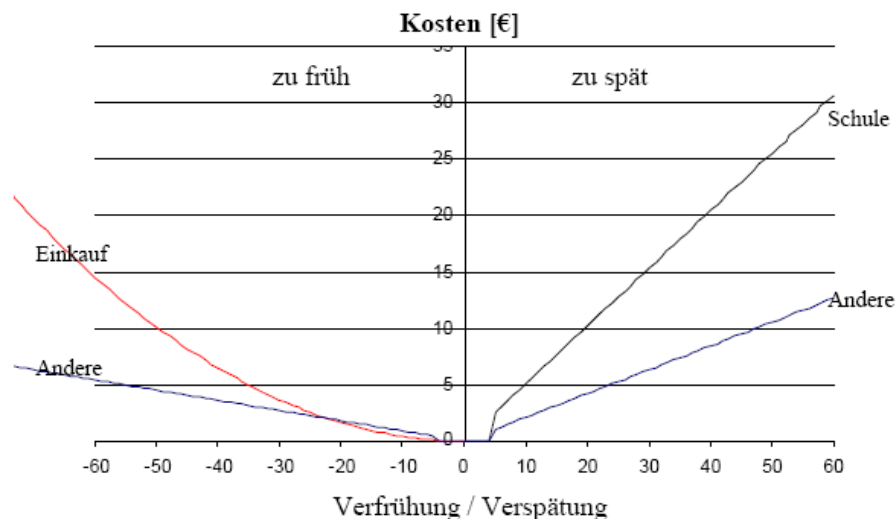


Abbildung 5.1.1-1: *Verschiedene Kostenfunktionen nach Wegezweck (Quelle: König, 2004 nach De Palma, Fontan, Picard, 2003); Verfrühung/Verspätung in Minuten*

Es zeigte sich, dass sich die Verfrühungskosten des Wegezwecks „Einkauf“ mit einer exponentiellen Funktion besser abbilden lassen, wohingegen die Zwecke „Schule“ und „Andere“ sich linear abbilden lassen. In diesem Modell werden zudem kleine Verfrühungen oder Verspätungen nicht montarisiert. Detaillierte Modelle dieser Art können für repräsentative Werte für die Schweiz nur innerhalb von eigens angelegten Studien erfolgen.

(9) Im folgenden wird deshalb hier das von *Small, 1982* abgeleitete Modell in folgender Form verwendet:

$$U = \alpha \cdot T + \beta \cdot (SDE) + \gamma \cdot (SDL) \quad (\text{Formel 3})$$

- mit U: Generalisierte Kosten
 T: mittlere Reisezeit
 SDE: schedule delay early – zu frühes Ankommen
 SDL: schedule delay late – zu spätes Ankommen
 α : Parameter für die Fahrzeit
 β : Parameter für zu frühes Ankommen
 γ : Parameter für zu spätes Ankommen

Ausgewertet werden aus den Studien die Verhältnisse α/β und γ/β , um unabhängig von unterschiedlichen absoluten Zahlungsbereitschaften zu werden, die beispielsweise auf unterschiedliche Einkommensverhältnisse oder Transportkosten zurückzuführen sind.

(10) In der Praxis lässt sich das hier verwendete einfache Modell gut anwenden, da keine extremen Werte infolge exponentieller Funktionsform auftreten können. Die Bewertung von kleinen Verfrühungen und Verspätungen geben in der Regel nur einen kleinen Beitrag zu den gesamten generalisierten Kosten über alle Verkehrsteilnehmer, so dass der eventuell entstehende Fehler klein sein sollte. Weiterführende Behandlungen dieses Themas mit Bezug auf schweizerische Auswertungen von Zeitkostensätzen finden sich in *König, 2004*.

Auswertungen

(1) Für die hier vorgenommene Analyse wurden nur die Parameter zur Reisezeit (α), zu frühes Ankommen (β) und zu spätes Ankommen (γ) betrachtet. Andere Untersuchungen berücksichtigen in einigen Fällen zusätzliche Variablen. Es wird in diesem Fall davon ausgegangen, dass diese Variablen nicht mit den Variablen für Reisezeit, zu frühes Ankommen und zu spätes Ankommen korrelieren und somit die Parameter α , β und γ auch aus diese Modellen verwendet werden können.

(2) Um die Studien von *Gaver, 1968; Knight, 1974; Vickrey 1969* und *Noland, Small, 1995* vergleichbar zu machen, wurde der Wert für zu frühes Ankommen (β) gleich eins gesetzt, so dass Werte für folgende Verhältnisse bestimmt werden können:

- α/β : Reisezeitkostensatz / Kostensatz für zu frühes Ankommen
- γ/β : Kostensatz für zu spätes Ankommen / Kostensatz für zu frühes Ankommen

Für die hier vorgenommene Auswertung werden nur die Ergebnisse der genannten Studien ausgewertet, bei denen die generalisierten Kosten für zu spätes Ankommen grösser sind als die für die Reisezeit. Dies ist eine elementare Annahme bei der Anwendung des Modells.

(3) Aus den Auswertungen ergibt sich ein mittleres Verhältnis von $\beta : \alpha : \gamma$ von etwa 1 : 2 : 3 (zu frühes Ankommen : mittlere Reisezeit : zu spätes Ankommen), vgl. Tabelle 5.1.1-1. Es wurden für die Auswertungen nur solche Schätzungen für α/β und γ/β verwendet, bei denen die Verhältnisse $\alpha/\beta \leq \gamma/\beta$ sind. Es zeigt sich, dass der Durchschnitt für α/β bei 2.06 liegt. Der Median liegt mit 1.82 etwas darunter, so dass ein Wert von 2 für das Verhältnis α/β vorgeschlagen wird. Mittelwert und Median für das Verhältnis γ/β liegen beide bei 2.83, womit ein Wert von rund 3 angenommen werden kann.

statistische Kenngrösse	α/β	γ/β
Minimum	0.94	1.48
Maximum	3.68	4.18
Durchschnitt	2.06	2.83
Median	1.82	2.83

Tabelle 5.1.1-1: Verhältnisse der Zeitkostenparameter α (Kostensatz für mittlere Fahrzeit), β bzw. γ (Kostensatz einer Verfrühung bzw. Verspätung gegenüber der mittleren Fahrzeit)

(4) Das vorgeschlagene Verhältnis von $\alpha : \beta : \gamma$ von 2 : 1 : 3 beruht auf einer Datenbasis, die Arbeits- und Ausbildungswege stärker gewichtet als Fahrten für Freizeitaktivitäten. Diese Wege sind in der Regel stark an Anfangszeiten gebunden, wohingegen Freizeit- und Einkaufsaktivitäten im Rahmen der vorgegebenen Öffnungszeiten freier gewählt werden können. Bei den Arbeitswegen ist zudem der höchste Zeitkostensatz (König, 2004) auszumachen, so dass eine stärkere Gewichtung sinnvoll erscheint. Häufig kann die Zeit bei einem zu frühen Ankommen am Zielort sinnvoll genutzt werden, wohingegen dies während der Fahrt im Allgemeinen nicht der Fall ist. Ein niedrigerer Zeitkostensatz für zu frühes Ankommen (β) im Verhältnis zur Fahrzeit ($\alpha - \beta$) : $\alpha = 1 : 2$ ist somit plausibel. Ein zu spätes Ankommen erzeugt höhere Kosten als eine längere Fahrzeit, auf die sich der Nutzer im Mittel einstellen kann.

(5) Anhand der vorliegenden Untersuchungen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass die Verhältnisse der drei Zeitkostensätze für die mittlere Reisezeit, eine Verfrühung bzw. eine Verspätung mit 2 : 1 : 3 angenommen werden können. Hier werden entsprechend der empirischen Befunde auch Verfrühungen berücksichtigt. Dem liegt die Überlegung zugrunde, dass die Opportunitätskosten der zu frühen Ankunft in einer späteren Abfahrt liegen und damit Zeit am Quellort der Fahrt positiv nutzbar gewesen wäre. Hiermit können im Anwendungsfall projektspezifische Zeitkostensätze ermittelt werden. Dazu wird allein ein durchschnittlicher Wertansatz für die mittlere Reisezeit benötigt, in welchem unterschiedliche Fahrtzwecke berücksichtigt werden. Dieser kann der VSS-Norm SN 641 822 entnommen werden.

(6) Gemäss der SN 641 822 beträgt der Zeitkostensatz für die mittlere Fahrzeit in der Schweiz 19.37 CHF/Pers-h. Darauf können die obigen Verhältnisse angewendet werden (vgl. Abbildung 5.1.1-2).

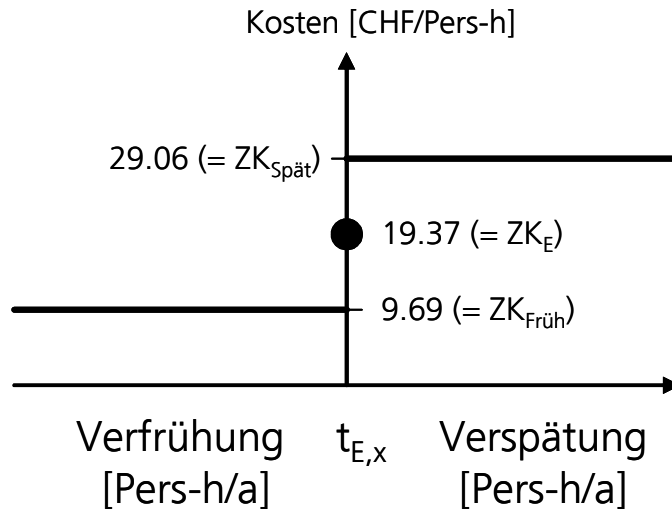


Abbildung 5.1.1-2: Darstellung der Zeitkosten in Abhängigkeit der Abweichung von der mittleren Fahrzeit (gemäss SN 641 822, Preisstand 2003)

(7) Die Konstanz der Zeitkostensätze für Verspätung und Verfrühung (jede Verspätungsminute kostet gleich viel, unabhängig davon, ob es sich um die 1. oder 100. handelt) hat zur Folge, dass im Zusammenhang mit Massnahmenbeurteilungen nur Fahrzeitverteilungen auf Abschnitten berücksichtigt werden müssen, auf denen sich die Fahrzeitverteilung infolge der Massnahme verändert. Für Massnahmen, die sich nur lokal auswirken, stellt dies eine grosse Vereinfachung dar, da keine Fahrzeitverteilungen über eine Vielzahl möglicher Routen von Verkehrsteilnehmern ermittelt werden müssen.

5.1.2 Gemessene Fahrzeitverteilungen beim Individualverkehr

(1) Daten zu gemessenen Fahrzeiten beim Individualverkehr liegen in erster Linie für Strecken vor, für die benutzungsabhängige Abgaben für alle motorisierten Verkehrsteilnehmer eingezogen werden (Li, 2004). Für die Schweiz liegen nur Datensätze für einzelne Testfahrzeuge vor, welche einen beschränkten Umfang aufweisen.

(2) Für den Raum Zürich liegt ein im Folgenden als „floating-car-Daten“ bezeichneter Datensatz vor, welcher folgende Merkmale aufweist:

- Über einen Zeitraum von 17 Tagen (3. bis 22.11.2004 ohne Sonntage) wurde zwischen 06:00 und 21:00 Uhr mit drei Fahrzeugen eine Strecke von insgesamt 33'000 km auf dem Strassennetz im Kanton Zürich abgefahren und in Abständen von 1 Sekunde die Standortkoordinaten gespeichert. Die Fahrgeschwindigkeit orientierte sich an der Geschwindigkeit des Verkehrsflusses (gleich viele Überholmanöver, wie Testfahrzeuge selber überholt wurden). Jede Route wurde mindestens zwölf Mal abgefahren.
- Den gemessenen zeitabhängigen Standortkoordinaten wurde die Streckennummer im kantonalen Verkehrsmodell zugeordnet. Jede dieser Streckennummern entspricht einer der fol-

genden vier Strassentypen: Hochleistungsstrassen, Haupt- und Verbindungsstrassen, Sammelstrassen, Erschliessungsstrassen.

(3) Aus den erfassten und den dem kantonalen Verkehrsmodell zugeordneten Daten lassen sich beispielsweise folgende Auswertungen machen:

- Verteilung der Fahrzeit sowie aus der bekannten Abschnittslänge die Verteilung der mittleren Geschwindigkeit pro Abschnitt in Abhängigkeit der Zeit
- aggregierte Verteilungen, z.B. mittlere Geschwindigkeit pro Strassentyp und Tagesstunde.
- räumliche Korrelationen, z.B. in Bezug auf die mittleren Geschwindigkeiten auf benachbarten Abschnitten (vgl. Anhang A4).

(4) Neben der beschränkten Datenmenge haben die floating-car-Daten die Eigenschaft, dass es nicht möglich ist, die Fahrzeit auf einem Streckenabschnitt systematisch mit der jeweils geltenden Verkehrsstärke auf diesem Abschnitt in Bezug zu setzen. Es wurde festgestellt, dass bei solchen Messungen die aus dem Verkehrsmodell resultierenden Angaben zu Verkehrsbelastungen und hiervon abhängigen Geschwindigkeiten nicht in der gleichen Weise modellmässig verfügbar waren. Insofern konnte für die zufälligen Verteilungen der Reisezeiten nicht festgestellt werden, ob diese aus unterschiedlichen Belastungszuständen des Verkehrsnetzes oder nur aus zufälligen Schwankungen resultierten, d.h. es fehlte die eigentliche Bezugsgrösse, an der die zufälligen Schwankungen gemessen bzw. rechnerisch erst ermittelt werden konnten. Allenfalls ein impliziter Bezug über den Tageszeitbereich der Fahrt, welcher Rückschlüsse (z.B. anhand des Verkehrsmodells) auf die mittlere Verkehrsstärke zulässt, ist möglich.

(5) Ein individueller Verhaltensansatz ist möglicherweise auch quantifizierbar, jedoch innerhalb des hier gegebenen Zeit- und Budgetrahmens aufgrund der hierfür notwendigen langjährigen Messreihen und insbesondere der Verdichtung der Einzelmessergebnisse zu charakteristischen Gruppen oder Grundgesamtheiten nicht durchführbar.

(6) Als Fazit kann festgehalten werden, dass für die Zwecke der vorliegenden Arbeit kein geeigneter Datensatz mit gemessenen Fahrzeiten aus der Schweiz zur Verfügung steht, welcher einen Bezug zu den massgeblichen Einflussgrössen (insbes. Verkehrsstärke) erlaubt. Als zweckmässige Alternative werden deshalb hier ortsspezifische Daten zu Momentangeschwindigkeiten herangezogen, welche an zahlreichen Zählstellen systematisch erhoben werden (vgl. das nachfolgende Kapitel 5.1.3).

5.1.3 Aus Geschwindigkeitsdaten abgeleitete Fahrzeitverteilungen beim Individualverkehr

(1) Fahrzeiten für homogene Streckenabschnitte können aus gemessenen Geschwindigkeiten an Zählstellen (im Folgenden als Zählstellendaten bezeichnet) abgeleitet werden, solange angenommen werden kann, dass die Messwerte näherungsweise der Durchschnittsgeschwindigkeit

entsprechen. Für Abschnitte eines homogenen Strassentyps von einigen Kilometern Länge können so Fahrzeitverteilungen ermittelt werden, welche für praktische Zwecke hinreichend genau sind. Für die Ermittlung von Fahrzeitverteilungen über längere Streckenabschnitte, auf denen die Durchschnittsgeschwindigkeiten signifikant variieren (z.B. infolge unterschiedlicher Strassentypen oder zulässigen Höchstgeschwindigkeiten), ist eine Aggregation der Fahrzeitverteilungen auf einzelnen Teilabschnitten notwendig. Eine solche Aggregation lässt sich ohne zusätzliche Informationen nur vornehmen, wenn die Annahme zulässig ist, dass die einzelnen Geschwindigkeits- bzw. Fahrzeitverteilungen auf den Teilabschnitten als unabhängig voneinander betrachtet werden können. Im Anhang A4 wird beispielhaft darauf eingegangen, wie weit diese Annahme gerechtfertigt ist.

(2) Geschwindigkeitsdaten von Zählstellen als Basis für die Ermittlung von Fahrzeitverteilungen haben den Vorteil, dass sie an einer Vielzahl von Strassenquerschnitten seit längerer Zeit systematisch für alle Fahrzeuge, welche den Querschnitt passieren, erfasst werden. Da alle Fahrzeuge erfasst werden, stehen zudem Daten zur zeitabhängigen Verkehrsstärke zur Verfügung, welche mit der errechneten Fahrzeit korreliert werden können. Die Fahrzeitverteilungen, die im Folgenden verwendet werden, wurden alle aus Zählstellendaten zur Geschwindigkeit abgeleitet.

(3) Für die Analysen lagen Daten von 76 Zählstellen an 38 unterschiedlichen Standorten (jeweils 1 Zählstelle pro Fahrtrichtung) vor. Die verfügbaren Zählstellen liegen mehrheitlich an Autobahnen mit 2, 3 oder 4 Richtungsfahrspuren; es sind jedoch auch einzelne Hauptstrassen mit 2 bzw. 1 Richtungsfahrspuren vertreten. Da für die vorliegende Fragestellung die Geschwindigkeit des Verkehrsflusses von primärem Interesse ist und nicht die Geschwindigkeit einzelner Fahrzeuge, werden 5-Minuten-Mittelwerte für die Geschwindigkeit gebildet; eine Mittelung über 5-Minuten-Intervalle ist in der Literatur für vergleichbare Untersuchungen üblich. Für jedes 5-Minuten-Intervall wird zudem die Verkehrsstärke ermittelt, welche im Folgenden immer als stündliche Verkehrsstärke dargestellt wird.

(4) In Tabelle 5.1.3-1 sind wichtige Kenndaten zu den für Auswertungen verfügbaren Zählstellen festgehalten. In der grossen Mehrzahl der Fälle liegen Mittelwerte für die Geschwindigkeit für mehrere 100'000 5-Minuten-Intervalle entsprechend einem Zeitraum von mehreren Jahren vor, während denen in der Mehrzahl der Fälle insgesamt mehrere Dutzend Millionen Fahrzeuge verkehrten. Die Datenbasis ist somit ausgesprochen breit.

Nr.	Name	Kanton	Auto- bahn	Strasse	Richtungs- bezeichnung	Richtung	Anzahl Spuren	Startdatum	Enddatum	Anzahl 5-Min- Intervalle	Anzahl Fahrzeuge	mittlere Geschwin- digkeit [km/h] *)	Varianz Geschwin- digkeit [km/h ² *)	max. zulässige Geschwindigkeit
11	Rapperswil Seedamm	SG	nein	H 8	0	Rapperswil	1	29.08.2002	10.05.2005	256'309	10'544'615	44	10.9	80
11	Rapperswil Seedamm	SG	nein	H 8	1	Pfäffikon	1	29.08.2002	10.05.2005	256'332	11'187'696	58	3.3	80
16	TWANN, WINGREIS (AS)	BE	ja	A 5	0	BIEL	1	17.01.2002	10.05.2005	319'215	7'487'837	79	4.0	100
16	TWANN, WINGREIS (AS)	BE	ja	A 5	1	NEUCHÂTEL	1	17.01.2002	10.05.2005	319'215	7'417'380	75	3.6	100
23	MATTSTETTEN (AB)	BE	ja	A 1	0	ZUERICH	2	17.01.2002	10.05.2005	326'031	41'348'401	111	10.6	120
23	MATTSTETTEN (AB)	BE	ja	A 1	1	BERN	2	17.01.2002	10.05.2005	326'031	41'413'916	107	10.2	120
32	DEITINGEN (AB)	SO	ja	A 1	0	ZUERICH	2	17.01.2002	10.05.2005	333'088	45'027'756	109	12.1	120
32	DEITINGEN (AB)	SO	ja	A 1	1	BERN	2	17.01.2002	10.05.2005	333'088	45'283'815	110	8.1	120
33	DEITINGEN N (AB)	BL	ja	A 2	0	HAERKINGEN	3	18.12.2002	10.05.2005	233'616	20'137'143	91	16.2	120
33	DEITINGEN N (AB)	BL	ja	A 2	1	AUGST	2	18.12.2002	10.05.2005	233'616	14'698'361	105	7.2	120
42	UMF. BERN OST (AB)	BE	ja	A 6	0	FREUDENBERGERPL.	2	12.02.2002	10.05.2005	296'831	35'514'120	86	7.7	100
42	UMF. BERN OST (AB)	BE	ja	A 6	1	WANKDORF	2	12.02.2002	10.05.2005	296'831	35'546'908	81	5.1	100
59	TRAV. DE NEUCHÂTEL E (AR)	NE	ja	A 5	0	ST-BLAISE	2	17.01.2002	10.05.2005	323'992	18'207'300	97	3.2	100
59	TRAV. DE NEUCHÂTEL E (AR)	NE	ja	A 5	1	YVERDON	2	17.01.2002	10.05.2005	323'992	18'061'193	95	3.7	100
60	GUNZGEN (AB)	SO	ja	A 1	0	ZUERICH	2	11.04.2002	10.05.2005	250'595	32'216'370	113	11.0	120
60	GUNZGEN (AB)	SO	ja	A 1	1	BERN	2	11.04.2002	10.05.2005	250'595	32'970'186	111	9.2	120
72	HUNZENSCHWIL (AB)	AG	ja	A 1	0	ZUERICH	2	17.01.2002	10.05.2005	281'035	27'856'821	119	6.5	120
72	HUNZENSCHWIL (AB)	AG	ja	A 1	1	BERN	2	17.01.2002	10.05.2005	281'035	28'451'831	111	6.6	120
81	MUTTENZ, HARD (AB)	BL	ja	A 2	0	AUGST	3	18.12.2002	10.05.2005	183'138	37'499'812	106	9.0	120
81	MUTTENZ, HARD (AB)	BL	ja	A 2	1	BASEL	3	18.12.2002	10.05.2005	183'138	35'964'108	103	15.7	120
83	VILLENEUVE	VD	ja	A 9	0	MARTIGNY	2	24.05.2002	10.05.2005	298'190	18'341'820	111	10.5	120
83	VILLENEUVE	VD	ja	A 9	1	VEVEY	2	24.05.2002	10.05.2005	298'190	24'241'743	98	19.9	120
97	BADEN, BAREGGTUNNEL (AB)	AG	ja	A 1	0	ZUERICH	4	15.02.2002	10.05.2005	312'182	74'261'387	78	8.0	100
97	BADEN, BAREGGTUNNEL (AB)	AG	ja	A 1	1	BERN	3	15.02.2002	10.05.2005	312'182	30'654'259	83	5.5	100
106	ZUERICH, ROSENGARTENSTR.	ZH	nein	S	0	BLÜCHERPLATZ	2	25.02.2003	10.05.2005	223'271	25'372'705	41	6.8	50
106	ZUERICH, ROSENGARTENSTR.	ZH	nein	S	1	ESCHER-WYSSPL.	2	25.02.2003	10.05.2005	223'271	22'151'090	45	7.6	50
112	POINT DE THIELLE	NE	nein	H 10	0	INS	1	17.01.2002	10.05.2005	309'005	7'578'225	66	5.0	80
112	POINT DE THIELLE	NE	nein	H 10	1	NEUCHÂTEL	1	17.01.2002	10.05.2005	309'005	7'567'171	77	4.5	100
116	GRANDVALX N (AR)	VD	ja	A 9	0	VEVEY	2	03.02.2002	10.05.2005	302'936	27'055'364	99	6.3	100
116	GRANDVALX N (AR)	VD	ja	A 9	1	LAUSANNE-VENNES	2	03.02.2002	10.05.2005	302'936	26'802'733	104	5.3	100
118	BERN, FELSENAVIADUKT (AB)	BE	ja	A 1	0	WANKDORF	3	17.01.2002	10.05.2005	319'268	51'966'722	86	5.1	100
118	BERN, FELSENAVIADUKT (AB)	BE	ja	A 1	1	WEYERMANNSHAUS	3	17.01.2002	10.05.2005	319'268	51'182'633	88	4.7	100
121	COLOMBIER, AREUSE (AR)	NE	ja	A 5	0	NEUCHÂTEL	2	14.05.2002	10.05.2005	300'423	16'385'655	98	6.5	120
121	COLOMBIER, AREUSE (AR)	NE	ja	A 5	1	YVERDON	2	14.05.2002	10.05.2005	300'423	15'659'570	96	11.1	120

Tabelle 5.1.3-1: Kenngrößen der 76 Zählstellen als Basis für die Berechnung der Fahrzeitverteilungen

(*): Fahrzeug-, nicht Intervall-bezogener Mittelwert

Quelle: Zählstellendaten

(Fortsetzung nächste Seite)

Nr.	Name	Kanton	Auto- bahn	Strasse	Richtungs- bezeichnung	Richtung	Anzahl Spuren	Startdatum	Enddatum	Anzahl 5-Min- Intervalle	Anzahl Fahrzeuge	mittlere Geschwin- digkeit [km/h] *)	Varianz Geschwin- digkeit [km/h ² *)	max. zulässige Geschwindigkeit
139	LUTERBACH (AB)	SO	ja	A 5	0	VERZWEIG. A5/A1	2	17.01.2002	10.05.2005	335'634	17'108'341	79	4.1	100
139	LUTERBACH (AB)	SO	ja	A 5	1	SOLOTHURN	2	17.01.2002	10.05.2005	335'634	16'562'214	87	3.1	100
149	IMEX (AR)	VD	ja	A 1	0	YVERDON	2	30.01.2002	10.05.2005	320'786	28'960'201	114	5.4	120
149	MEX (AR)	VD	ja	A 1	1	LAUSANNE	2	30.01.2002	10.05.2005	320'786	29'229'029	108	7.7	120
165	MARTIGNY N (AR)	VS	ja	A 9	0	SION	2	16.06.2004	10.05.2005	86'152	4'789'073	114	4.9	120
165	MARTIGNY N (AR)	VS	ja	A 9	1	LAUSANNE	2	16.06.2004	10.05.2005	86'152	4'714'570	115	5.1	120
166	BIASCA S (AS)	TI	ja	A 2	0	BELINZONA	2	26.02.2003	10.05.2005	203'154	9'712'192	116	6.6	120
166	BIASCA S (AS)	TI	ja	A 2	1	AIROLO	2	26.02.2003	10.05.2005	203'154	9'724'076	113	8.5	120
172	AIIGLE, POINT GRANDE EAU	VD	nein	H 11	0	LE SEPEY	1	30.06.2004	10.05.2005	81'986	763'344	42	4.5	50
172	AIIGLE, POINT GRANDE EAU	VD	nein	H 11	1	AIIGLE	1	30.06.2004	10.05.2005	81'986	801'406	44	3.2	50
175	CONT. DE FRIBOURG (AR)	FR	ja	A 12	0	FLAMATT	2	30.01.2002	10.05.2005	323'536	16'296'790	111	5.1	120
175	CONT. DE FRIBOURG (AR)	FR	ja	A 12	1	BULLE	2	30.01.2002	10.05.2005	323'536	15'859'400	109	4.9	120
182	KIRCHBERG N (AB)	BE	ja	A 1	0	ZUERICH	2	17.01.2002	10.05.2005	285'868	30'497'767	118	8.3	120
182	KIRCHBERG N (AB)	BE	ja	A 1	1	BERN	2	17.01.2002	10.05.2005	285'868	31'022'078	113	11.0	120
186	ST-GINGOLPHE	VS	nein	H 21	0	VIONNAZ	1	01.07.2004	10.05.2005	87'195	11'742'211	57	3.2	60
186	ST-GINGOLPHE	VS	nein	H 21	1	ST-GINGOLPH	1	01.07.2004	10.05.2005	87'195	11'933'319	55	3.7	60
195	ERSTFELD S (AB)	UR	ja	A 2	0	GOESCHENEN	2	25.01.2003	10.05.2005	224'217	8'293'657	106	12.0	120
195	ERSTFELD S (AB)	UR	ja	A 2	1	LUZERN	2	25.01.2003	10.05.2005	224'217	8'447'969	110	7.1	120
206	YVERDON, EPEANDES (AR)	VD	ja	A 1	0	YVERDON	2	30.01.2002	10.05.2005	316'123	22'267'255	117	6.0	120
206	YVERDON, EPEANDES (AR)	VD	ja	A 1	1	ORBE	2	30.01.2002	10.05.2005	316'123	22'522'285	118	6.5	120
208	BIRRHARD, BIRRFELD (AB)	AG	ja	A 1	0	ZUERICH	2	15.02.2002	10.05.2005	298'163	33'102'253	92	18.8	120
208	BIRRHARD, BIRRFELD (AB)	AG	ja	A 1	1	BERN	2	15.02.2002	10.05.2005	298'163	34'390'133	102	5.6	120
214	BERN, BRUENNENTUNNEL (AB)	BE	ja	A 1	0	WEYERMANNSHAUS	2	19.04.2002	10.05.2005	306'908	13'623'104	97	7.8	100
214	BERN, BRUENNENTUNNEL (AB)	BE	ja	A 1	1	KERZERS	2	19.04.2002	10.05.2005	306'908	17'413'603	94	8.2	100
220	BIRRHARD, VERZW. A3/A1 (AB)	AG	ja	A 3	0	VERZWEIG. A3/A1	3	15.02.2002	10.05.2005	289'618	17'671'059	82	11.7	100
220	BIRRHARD, VERZW. A3/A1 (AB)	AG	ja	A 3	1	FRICK	3	15.02.2002	10.05.2005	289'618	18'103'772	97	4.1	120
222	PAYERNE N (AR)	FR	ja	A 1	0	AVENCHES	2	17.01.2002	10.05.2005	241'695	6'719'877	123	6.2	120
222	PAYERNE N (AR)	FR	ja	A 1	1	YVERDON	2	17.01.2002	10.05.2005	241'695	6'535'767	114	6.7	120
225	EGERKINGEN, VERZW. N2 (AB)	SO	ja	A 2	0	HAERKINGEN	4	17.01.2002	10.05.2005	331'938	29'960'910	94	7.8	120
225	EGERKINGEN, VERZW. N2 (AB)	SO	ja	A 2	1	AUGST	3	17.01.2002	10.05.2005	331'938	30'682'081	93	3.7	120
226	CRISSIER (AR)	VD	ja	A 1	0	YVERDON/VEVEY	4	08.02.2002	10.05.2005	298'963	48'087'019	90	4.1	120
226	CRISSIER (AR)	VD	ja	A 1	1	LAUSANNE/GENEVE	4	08.02.2002	10.05.2005	298'963	46'636'473	91	10.3	120
234	YVERDON, TUN. DE POMY (AR)	VD	ja	A 1	0	PAYERNE	2	19.02.2002	10.05.2005	319'226	10'194'798	106	5.3	120
234	YVERDON, TUN. DE POMY (AR)	VD	ja	A 1	1	YVERDON	2	19.02.2002	10.05.2005	319'226	10'487'207	112	6.5	120
235	PIETERLEN W (AB)	BE	ja	A 5	0	SOLOTHURN	2	17.01.2002	10.05.2005	334'318	8'325'429	108	4.5	120
235	PIETERLEN W (AB)	BE	ja	A 5	1	BIEL	2	17.01.2002	10.05.2005	334'318	8'308'811	99	4.2	120
238	ROTHENBRUNNEN S (AB)	GR	ja	A 13	0	THUISIS	2	25.02.2003	10.05.2005	214'069	5'593'022	103	4.0	120
238	ROTHENBRUNNEN S (AB)	GR	ja	A 13	1	REICHENAU	2	25.02.2003	10.05.2005	214'069	5'586'736	101	4.8	120
239	REIDEN S (AB)	LU	ja	A 2	0	LUZERN	2	26.02.2003	10.05.2005	174'355	11'886'660	114	5.7	120
239	REIDEN S (AB)	LU	ja	A 2	1	VERZWEIG. A1/A2	2	26.02.2003	10.05.2005	174'355	11'301'610	114	9.1	120
251	ERSTFELD N (AB)	UR	ja	A 2	0	GOESCHENEN	2	20.11.2003	10.05.2005	132'762	4'808'392	106	5.7	120
251	ERSTFELD N (AB)	UR	ja	A 2	1	LUZERN	2	20.11.2003	10.05.2005	132'762	4'860'306	105	7.3	120

Table 5. 1.3-1: (Fortsetzung) Kenngrößen der 76 Zählstellen als Basis für die Berechnung der Fahrzeitverteilungen

(*): fahrzeug-, nicht intervall-bezogener Mittelwert

Quelle: Zählstellendaten

5.1.4 Querschnittsbezogene Geschwindigkeitsverteilungen

(1) Die Geschwindigkeitsverteilung auf einem kurzen, homogenen Streckenabschnitt hängt von verschiedenen Einflussgrössen ab.²⁾ Die wichtigsten sind:

1. Zulässige Höchstgeschwindigkeit
2. Anzahl Richtungsfahstreifen
3. Strassentyp (Autobahn, Hauptstrasse etc.)
4. Verkehrsstärke bzw. Auslastungsgrad
5. Wetter- bzw. Witterungsbedingungen
6. Weitere Merkmale wie Steigungsverhältnisse, Schwerverkehrsanteil, Baustellenaktivität, Unfallhäufigkeit etc.

(2) Um anhand weniger, einfach zugänglicher Daten typische Geschwindigkeits- bzw. Fahrzeitverteilungen mit den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten ableiten zu können, muss man sich auf die wichtigsten Einflussgrössen beschränken. Im Folgenden wird deshalb angenommen, dass die Geschwindigkeitsverteilung näherungsweise in Funktion der Einflussgrössen 1. bis 4. dargestellt werden kann. Nachfolgend wird am Beispiel einer Autobahn mit zwei Richtungsfahstreifen und einer maximal zulässigen Geschwindigkeit 120 km/h aufgezeigt, wie die Geschwindigkeitsverteilung von der Verkehrsstärke abhängt.

(3) In Abbildung 5.1.4-1 ist der Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke Q (Anzahl Fahrzeuge pro 5-Minuten-Intervall ausgewiesen als Wert pro Std.) und der mittleren Geschwindigkeit V (innerhalb des 5-Minuten-Intervalls) dargestellt am Beispiel der Zählstelle Deitingen, welche sich auf der A1 zwischen Bern und Zürich befindet. Es zeigt sich der typische Verlauf mit einem oberen Ast, welcher das Regime des fließenden Verkehrs darstellt, und einem unteren Ast mit Zuständen, die im Folgenden summarisch als „stockender Verkehr“ bezeichnet werden.³⁾

2) Dasselbe gilt für die aus der Geschwindigkeitsverteilung abgeleitete Fahrzeitverteilung (bezogen auf eine feste Streckenlänge).

3) In Abbildung 5.1.4-1 sind die Daten zu ca. 333'000 5-Minuten-Intervallen dargestellt. Um die Datenmenge zu reduzieren sind gerundete Werte dargestellt (Geschwindigkeiten auf 1 km/h, Q -Werte auf Vielfache von 10 Fz./h). Die meisten Punkte, insbesondere im oberen Ast, sind deshalb mehrfach besetzt, was aus der Graphik optisch nicht zum Ausdruck kommt.

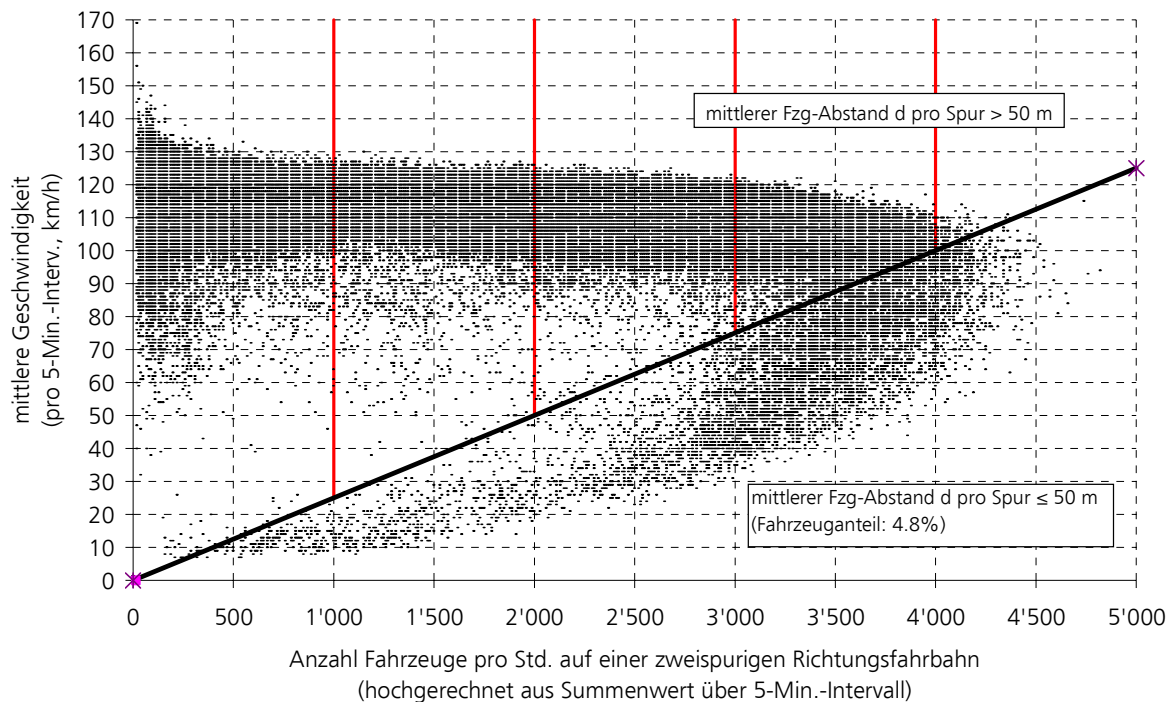


Abbildung 5.1.4-1: Q-V-Diagramm Zählstelle Deitingen (2-spurige Autobahn mit $v_{max} = 120$ km/h, Fahrtrichtung Zürich); Quelle: Zählstellendaten

(4) Um den Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke und der Geschwindigkeitsverteilung transparent zu machen, werden folgende Situationen unterschieden:

- Verkehrszustand „stockender Verkehr“⁴⁾ mit einem mittleren Fahrzeugabstand ≤ 50 m (entsprechend einer Fahrzeugdichte > 20 pro km und Fahrspur), unabhängig von der Verkehrsstärke Q .
- Verkehrszustand „fließender Verkehr“ mit einem mittleren Fahrzeugabstand > 50 m. Dieser Verkehrszustand wird weiter unterteilt in Q-Klassen der Breite 1'000 Fz./h (vgl. Abbildung 5.1.4-1).

Aus Abbildung 5.1.4-2 geht deutlich hervor, dass die Verkehrsstärke einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung hat. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die beiden unterschiedlichen Verkehrsregimes. Der Zustand "stockender Verkehr" ist durch eine sehr breite Verteilung charakterisiert, welche von annähernd 0 bis ca. 110 km/h reicht. Der Zustand "fließender Verkehr" ist durch wesentlich schmalere Verteilungen charakterisiert, deren Median mit zunehmendem Q hin zu tieferen Geschwindigkeiten verschoben ist. Diese Merkmale gelten grundsätzlich für die meisten Zählstellen.

4) Es ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff "stockender Verkehr" nicht jedem einzelnen Datenpunkt gerecht wird (z.B. gilt dies nicht bei einer Geschwindigkeit von 110 km/h). Der Begriff charakterisiert hingegen zutreffend die typischen Merkmale der gesamten Klasse von Zuständen, welche (im Falle von 2-spurigen Autobahnen mit $v_{max} = 120$ km/h) durch einen mittleren Fahrzeugabstand von ≤ 50 m charakterisiert sind.

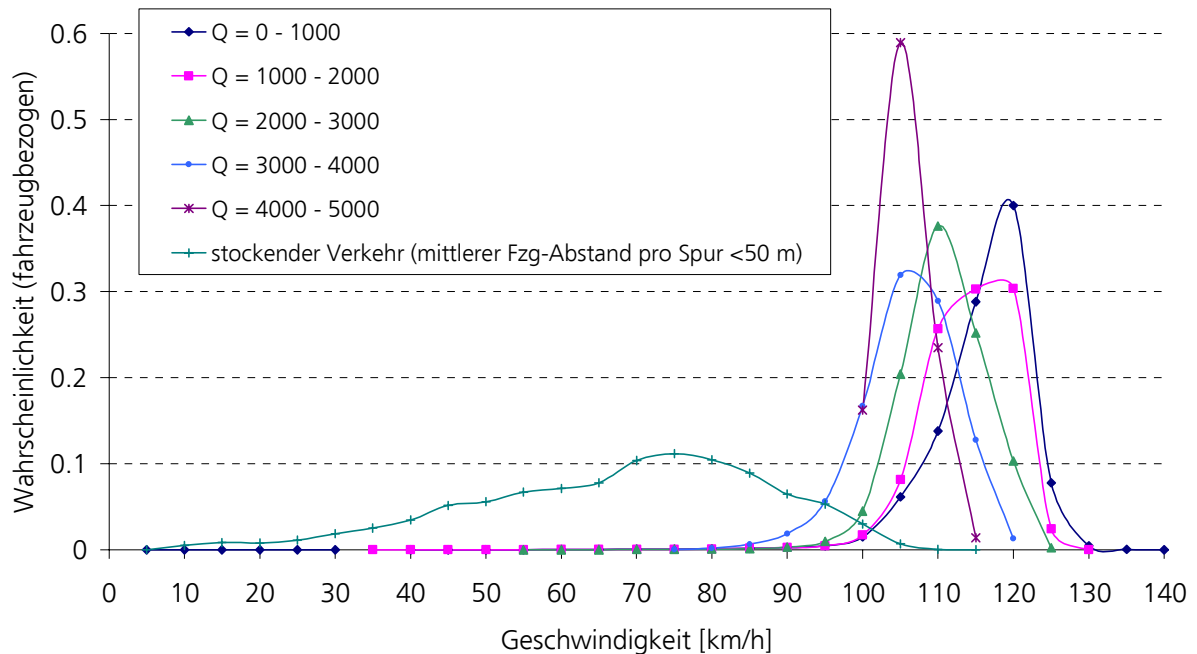
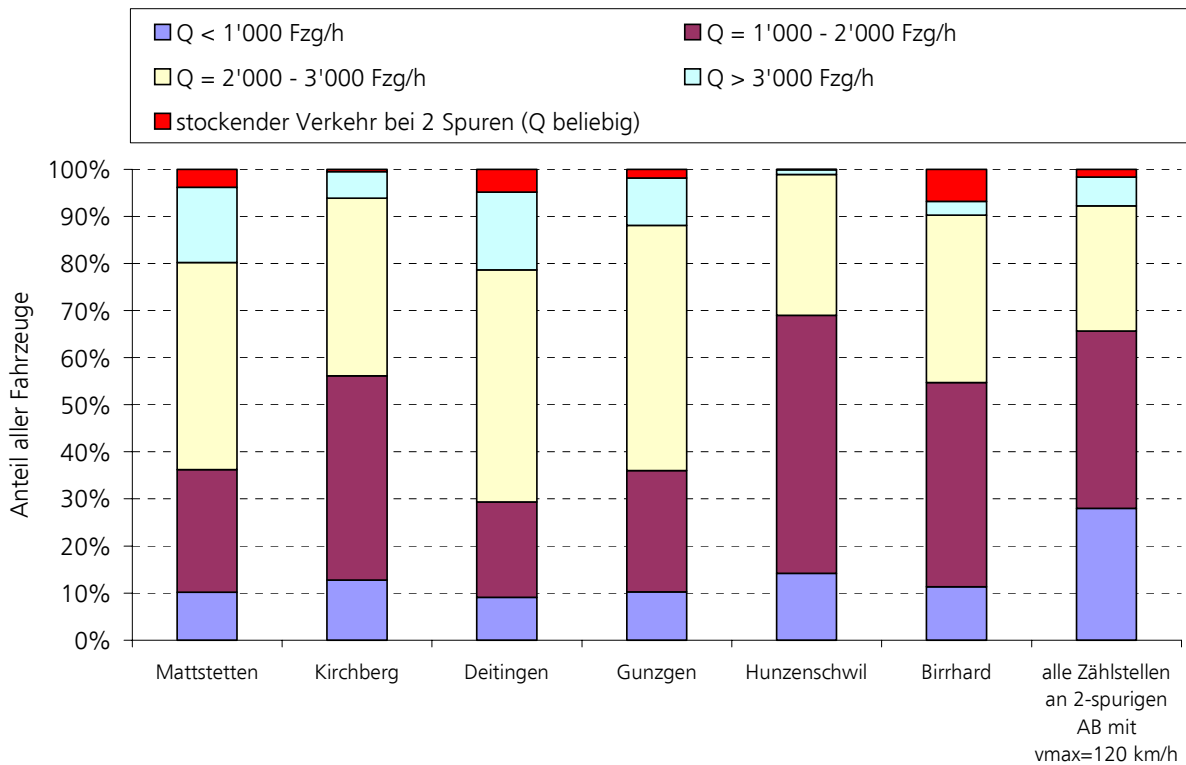


Abbildung 5.1.4-2: Geschwindigkeitsverteilung gegliedert nach Verkehrsregime bzw. Q-Klassen für die Zählstelle Deitingen (2-spurige Autobahn mit $v_{max} = 120$ km/h, Fahrtrichtung Zürich); Quelle: Zählstellendaten

(5) In der folgenden Abbildung 5.1.4-3 ist dargestellt, wie sich für die unterschiedlichen hier erhobenen Autobahnquerschnitte auf der A1 zwischen Bern und Zürich die prozentualen Anteile entsprechend dem jeweiligen Verkehrszustand und den Q-Klassen darstellen. Entsprechend dem gewählten Modellansatz ist hier die Grundgesamtheit der Verkehrsteilnehmer massgebend, nicht das möglichst genaue Modellieren eines einzelnen Verkehrsbelastungszustandes für einen einzelnen Verkehrsteilnehmer, was für die Prognose bedeuten würde, dass genau diese einzelnen Einflussfaktoren auch nachgebildet, bzw. prognostiziert werden müssten. Es zeigt sich beispielsweise, dass der Anteil der Fahrzeuge, die dem Zustand "stockender Verkehr" zuzuordnen sind, stark streut.

Werden die Geschwindigkeitsverteilungen gemäss Abbildung 5.1.4-2 mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten aus Abbildung 5.1.4-3 (für die Zählstelle Deitingen) gewichtet und anschliessend aggregiert, so ergibt sich die Geschwindigkeitsverteilung über die Gesamtheit aller Fahrzeuge, ungeachtet der momentanen Verkehrsstärke.



Anmerkung: „Alle Zählstellen“ umfasst das gesamte Datenset und nicht nur die hier beispielhaft dargestellten Zählstellen.

Abbildung 5.1.4-3: Prozentuale Verteilung der Zahl der Fahrzeuge auf die beiden Verkehrszustände bzw. die Verkehrsstärkeklassen für verschiedene Zählstellen auf der A1 zwischen Bern und Zürich (jeweils in Fahrtrichtung Zürich); Quelle: Zählstellendaten

(6) Es ist darauf hinzuweisen, dass die Geschwindigkeitsverteilungen auch bei festen Merkmalen in Bezug auf Strassentyp, zulässige Höchstgeschwindigkeit, Anzahl Richtungsfahrstreifen und Q-Klasse je nach den spezifischen Merkmalen des Streckenabschnitts recht unterschiedlich sein können, vgl. Abbildung 5.1.4-4. Im Hinblick auf das zu erarbeitende Beurteilungsverfahren bedeutet dies, dass für genauere Betrachtungen neben Strassentyp, zulässiger Höchstgeschwindigkeit, Anzahl Richtungsfahrstreifen und Verkehrsstärke zusätzliche Einflussgrößen auf die Geschwindigkeits- und damit Fahrzeitverteilung zu berücksichtigen sind, soweit dies aufgrund der verfügbaren Daten möglich ist.

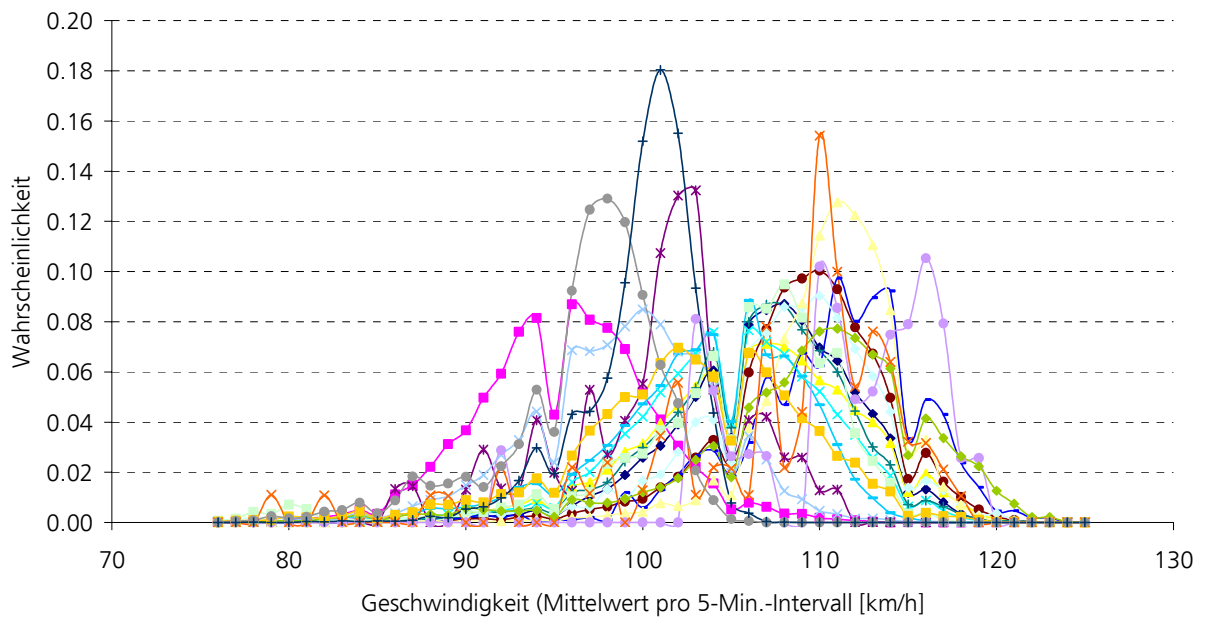


Abbildung 5.1.4-4: Geschwindigkeitsverteilung für eine Vielzahl von Zählstellen an 2-spurigen Autobahnen mit $v_{\max} = 120 \text{ km/h}$ für Verkehrsstärke $Q > 3'000 \text{ Fz./h}$; Quelle: Zählstellendaten

(7) Unter der Annahme, dass die gemessenen Geschwindigkeitsverteilungen pro Q-Klasse bzw. Verkehrsregime repräsentativ sind für eine Strecke der Länge Δl , kann die Fahrzeitverteilung als zur Geschwindigkeitsverteilung inverse Verteilung ermittelt werden. Ist beispielsweise die Wahrscheinlichkeit 0.15, dass die Geschwindigkeit zwischen 90 und 100 km/h liegt, so ist bezogen auf eine Strecke von 10 km Länge die Wahrscheinlichkeit ebenfalls 0.15, dass die Fahrzeit zwischen 6 (10 km / 100 km/h * 60 Min/h) und 6.7 Min. liegt.

In Abbildung 5.1.4-5 ist die zur Geschwindigkeitsverteilung in Abbildung 5.1.4-2 zugehörige Fahrzeitverteilung dargestellt.

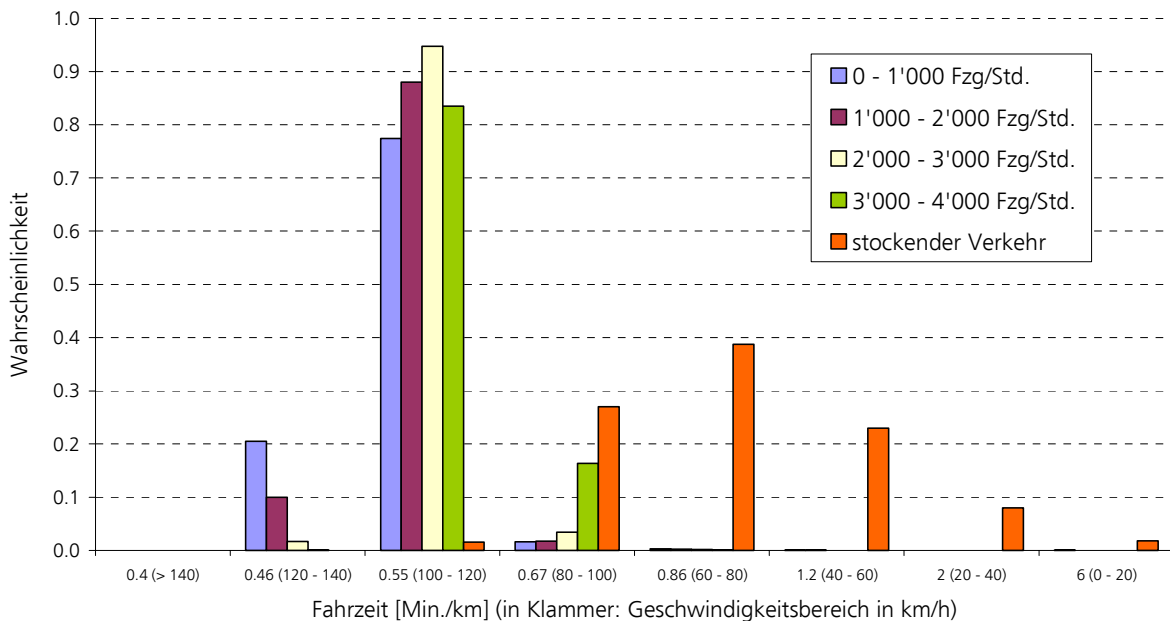


Abbildung 5.1.4-5: Fahrzeitverteilung gegliedert nach Verkehrszustand bzw. Q-Klassen für die Zählstelle Deitingen (2-spurige Autobahn mit $v_{max} = 120$ km/h, Fahrrichtung Zürich); Quelle: Zählstellendaten

(8) Anhand der gemessenen Geschwindigkeitsverteilung sowie der in Kapitel 5.1.1 dargestellten Zeitkostensätze zur Monetarisierung der Fahrzeitverteilung kann der monetäre Wert der Fahrzeitverteilung statistisch ermittelt werden. Dabei wurde ein mittlerer Zeitkostensatz von CHF 19.37 je Personenstunde entsprechende SN 641 822 und ein mittlerer Besetzungsgrad von 1.566 Personen je Fahrzeug zugrunde gelegt. In Abbildung 5.1.4-6 sind die zugehörigen Ergebnisse für verschiedene Zählstellen dargestellt, jeweils gegliedert nach dem Beitrag der mittleren Fahrzeit, der Verspätung (infolge unterdurchschnittlicher Geschwindigkeit) sowie der Verfrüherung (infolge überdurchschnittlicher Geschwindigkeit). Es zeigt sich, dass bei der Zählstelle Birrhard, bei welcher gemäss Abbildung 5.1.4-3 der Anteil des stockenden Verkehrs am grössten ist, auch der Anteil der Verspätungskosten im Vergleich zu den Kosten der mittleren Fahrzeit am höchsten ist.⁵⁾

5) Die Höhe der monetären Kosten der Fahrzeitverteilung ist zudem proportional zur jährlichen Zahl der Fahrzeuge auf der jeweiligen Zählstelle, vgl. Abbildung 5.1.4-6.

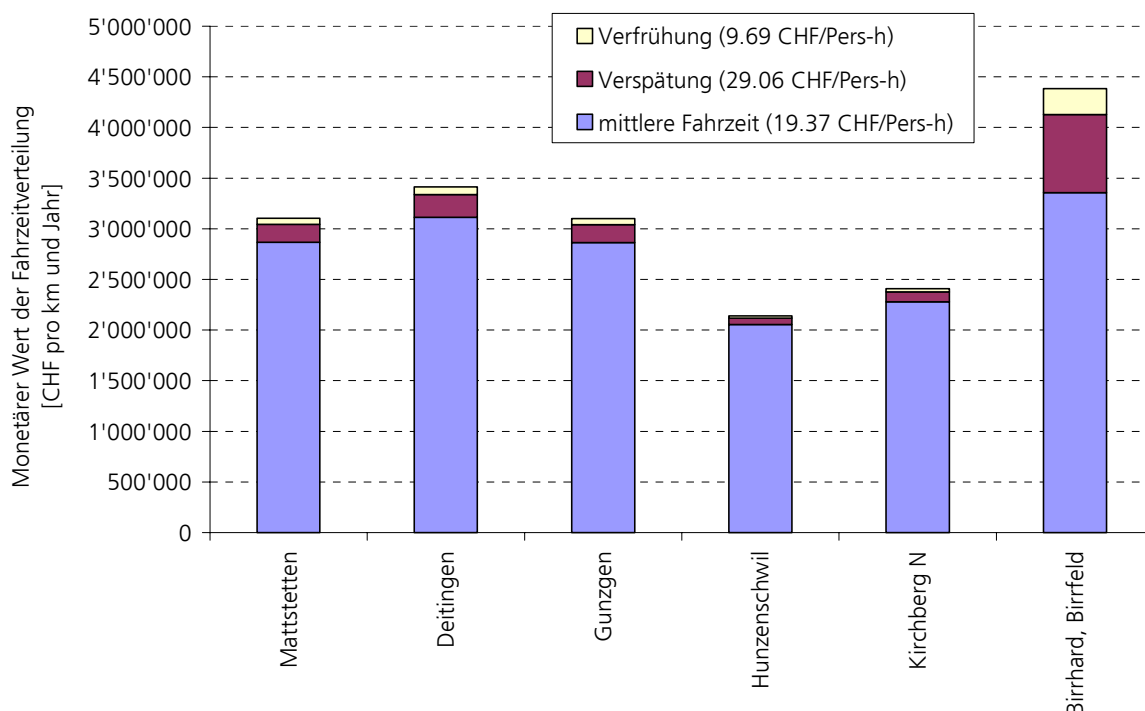


Abbildung 5.1.4-6: Monetärer Wert der Fahrzeitverteilung an verschiedenen Zählstellen auf der A1 zwischen Bern und Zürich (jeweils in Fahrtrichtung Zürich); Datenbasis: Zählstellendaten sowie Monetarisierungsansätze gemäss Kap. 5.1.1

(9) Aus dieser Darstellung sind folgende interessante Effekte zu entnehmen:

- Es verkehren nur wenige Prozent der Fahrzeuge mit einer stark unterdurchschnittlichen Geschwindigkeit im Zustand stockender Verkehr. Diese machen aber den grössten Anteil der ermittelten Verspätungen und einen massgeblichen Teil des monetären Wertes der Fahrzeitverteilung aus.
- Insbesondere die Verteilung der Fahrzeit im stockenden Verkehr (Schwanzverhalten der Verteilungsfunktion) zeigt den Unterschied zu einer reinen Mittelwertsbetrachtung der Fahrzeit, insbesondere für diejenigen Querschnitte wie beispielsweise im Bereich Birrfeld, bei denen die Verspätungen erhebliche Anteile am gesamten monetären Wert der Fahrzeitverteilung ausmachen (ca. 20%).

Fazit: Obwohl nur wenige Prozent der Fahrzeuge mit einer stark unterdurchschnittlichen Geschwindigkeit (z.B. im "stockenden Verkehr") verkehren und damit eine deutlich längere Reisezeit aufweisen, machen die anhand der oben beschriebenen Ansätze ermittelten Verspätungskosten einen massgeblichen Teil des monetären Werts der Fahrzeitverteilung aus. Dies zeigt die Wichtigkeit einer Betrachtung von Fahrzeitverteilungen und insbesondere von deren Schwanz-

verhalten im Vergleich zu einer reinen Mittelwertsbetrachtung der Fahrzeit, worauf sich traditionelle Verfahren beschränken.⁶⁾

5.1.5 Fazit

(1) Anhand der umfangreichen Zeitreihen mit gemessenen Geschwindigkeitsdaten (5-Minuten-Mittelwerte) an Zählstellen ist es möglich, die Fahrzeitverteilung auf hinreichend homogenen Streckenabschnitten im Bereich der Zählstelle rechnerisch zu ermitteln. Sieht man von komplexen örtlichen Situationen im Bereich von Knoten (inkl. deren Zufahrtsstrecken) ab, so sind die wichtigsten Einflussgrößen, welche die Fahrzeitverteilung beeinflussen

- zulässige Höchstgeschwindigkeit,
- Anzahl der Richtungsfahrspuren,
- Strassentyp,
- Verkehrsstärke sowie Gliederung in die beiden Zustände „stockender“ bzw. „fliessender“ Verkehr.

(2) Für jede Kombination dieser Einflussgrösse lässt sich eine typische Fahrzeitverteilung aufgrund der vorliegenden Daten angeben. Diese standardisierten Fahrzeitverteilungen bilden die Basis für das Verfahren zur Bewertung der Zuverlässigkeit eines Streckenabschnitts sowie deren massnahmenbedingte Veränderung, welches im folgenden Kapitel erläutert wird. Damit ist es möglich, ohne umfangreiches zusätzliches Datenmaterial (vgl. Kapitel 2.1) einen monetären Wert für die Fahrzeitverteilung bzw. dessen Veränderung zu errechnen.

5.2 Verfahren für den motorisierten Individualverkehr

5.2.1 Darstellung des Verfahrens

5.2.1.1 Übersicht zum Vorgehen

(1) Ziel des Bewertungsverfahrens ist es, unter Anwendung der in Kapitel 5.1.1 dargestellten Zeitkostensätze die Fahrzeitverteilung auf einem Strassenabschnitt anhand weniger, möglichst einfach verfügbarer Daten zu monetarisieren und massnahmenabhängige Unterschiede zu ermitteln. Um die Abgrenzung mit den bisherigen Verfahren zur Bewertung von Reisezeitveränderungen bestmöglich sicherzustellen, werden drei Beiträge unterschieden:

- Kosten für die mittlere Fahrzeit (analog zu herkömmlichen Verfahren)

6) Die Berechnung basiert dabei auf DTV-Werten und einer durchschnittlichen Reisezeit auf Tagesbasis. Die Verhältnisse durchschnittliche Reisezeit, Verspätung und Verfrühung sind anders, wenn die durchschnittliche Reisezeit für einzelne Stundengruppen ermittelt wird.

- Kosten für Verspätung in Relation zur mittleren Fahrzeit
- Kosten für Verfrühung in Relation zur mittleren Fahrzeit

Diese beiden letzten Punkte werden bisher bei Bewertungsverfahren nicht berücksichtigt.

(2) Um die Fahrzeitverteilung auf eine in der Praxis einfache Art ermitteln zu können, werden dem Rechenverfahren vorgegebene Geschwindigkeitsklassen zugrunde gelegt, für welche die Fahrzeit über einen homogenen Abschnitt einer gegebenen Länge ermittelt wird. Dabei wird auch der für die Ergebnisse wichtige Schwanz der Fahrzeitverteilung berücksichtigt.

(3) Das Verfahren ist in der Praxis einfacher anwendbar, wenn keine ortsspezifischen Geschwindigkeitsverteilungen ermittelt werden müssen, sondern standardisierte Fahrzeitverteilungen verwendet werden können. Es sind dann lediglich ortsspezifische Daten zur Zahl der Personen bzw. Fahrzeuge notwendig, welche pro Verkehrszustand bzw. pro Q-Klasse über den Streckenabschnitt verkehren. Im Folgenden wird vorausgesetzt, dass der betrachtete Streckenabschnitt in Bezug auf zulässige Höchstgeschwindigkeit, Anzahl der Richtungsfahrspuren und Strassentyp homogen ist. Sofern dies nicht der Fall ist, ist eine Aggregation über mehrere Fahrzeitverteilungen notwendig, bevor das nachfolgend beschriebene Verfahren angewendet werden kann. Im Anhang A4 finden sich Hinweise, wie diese Aggregation vorgenommen werden kann und welche vereinfachenden Annahmen dazu getroffen werden können bzw. müssen.

(4) Das Rechenverfahren zur Monetarisierung der Fahrzeitverteilung lässt sich für einen homogenen Abschnitt x wie folgt formelmässig beschreiben (die Anwendung des Verfahrens wird in Kapitel 5.2.2 an einem praktischen Beispiel erläutert):

$$K_{tot,x} = K_{E,x} + K_{spät,x} + K_{früh,x} \quad (\text{Formel 4})$$

wobei

$K_{E,x}$ wird aus dem Verkehrsmodell ermittelt

$$K_{spät,x} = n_{Pers\ spät,x} \cdot l_x \cdot k_{spät} \cdot \Delta t_{spät,x} \quad (\text{Formel 5})$$

$$K_{früh,x} = n_{Pers\ früh,x} \cdot l_x \cdot k_{früh} \cdot \Delta t_{früh,x} \quad (\text{Formel 6})$$

und

$$t_{E,x} = \sum_j w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot t_i \quad (\text{Formel 7})$$

$$\Delta t_{spät,x} = \sum_j \left[w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot (t_i - t_{E,x}) \right] \text{ für alle } t_i > t_{E,x} \quad (\text{Formel 8})$$

bzw. dazu äquivalent

$$\Delta t_{\text{früh},x} = \sum_j \left[w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot (t_{E,x} - t_i) \right] \text{ für alle } t_{E,x} > t_i$$

Dabei werden folgende Bezeichnungen verwendet (der Index x deutet an, dass die zugehörigen Grössen vom gewählten Abschnitt x abhängen, während alle anderen Grössen davon unabhängig sind):

$K_{\text{tot},x}$:	gesamter monetärer Wert für die Fahrzeitverteilung [Kosten/Jahr]
$K_{E,x} / K_{\text{spät},x} / K_{\text{früh},x}$:	Jahreskosten der mittleren Fahrzeit / der Verspätung / der Verfrühung
$t_{E,x}$:	mittlere Fahrzeit (bezogen auf einen Abschnitt der Länge 1 km) [h/Pers]
$\Delta t_{\text{spät},x}$:	zeitliches Mass für die Verspätung [h/Pers]
$\Delta t_{\text{früh},x}$	zeitliches Mass für die Verfrühung [h/Pers]
$n_{\text{Pers},x}$:	Anzahl Personen, welche pro Jahr in PW (Personenwagen) über den Abschnitt x verkehren (= Anzahl Fahrzeuge · mittlere Zahl der Personen pro Fahrzeug · PW-Anteil) [Pers/a]
$n_{\text{Pers spät},x}$:	Anzahl Personen, welche pro Jahr in PW (Personenwagen) über den Abschnitt x verspätet verkehren (= Anzahl Fahrzeuge · mittlere Zahl der Personen pro Fahrzeug · PW-Anteil) [Pers/a]
$n_{\text{Pers früh},x}$	Anzahl Personen, welche pro Jahr in PW (Personenwagen) über den Abschnitt x verfrüht verkehren (= Anzahl Fahrzeuge · mittlere Zahl der Personen pro Fahrzeug · PW-Anteil) [Pers/a]
$k_E / k_{\text{spät}} / k_{\text{früh}}$:	Zeitkostensätze [CHF/Pers-h] für mittlere Fahrzeit (gem. SN 641 822), Verspätung bzw. Verfrühung
l_x :	Länge des Abschnitts x [km]
Q_j :	Verkehrsstärkeklasse [Kfz/h]
$w_x(Q_j)$:	Anteil der Personen bzw. Fahrzeuge, welche auf dem Abschnitt x in der Verkehrsstärkeklasse Q_j verkehren (als Wahrscheinlichkeit, d.h. $\sum_j w_x(Q_j) = 1$)
t_i :	Stützstellen der Fahrzeitverteilung (in Bezug auf eine feste Streckenlänge von 1 km) [h/km]
$p_m(t_i, Q_j)$:	Wahrscheinlichkeit, dass die Fahrzeit bezogen auf eine Strecke der Länge 1 km t_i beträgt, wenn die Verkehrsstärkeklasse Q_j ist. Der Index m bezeichnet die Situation des Abschnitts x in Bezug auf zulässige

Höchstgeschwindigkeit, die Anzahl Richtungsfahrbahnen sowie den Strassentyp. Es gilt:

$$\sum_i p_m(t_i, Q_j) = 1 \text{ für alle } j, m$$

(5) Die Eingabegrößen für die Ermittlung des gesamten monetären Werts der Fahrzeitverteilung $K_{tot,x}$ können wie folgt ermittelt werden:

- Für die Zeitkostensätze $k_E / k_{spät} / k_{früh}$ können die Werte gemäss Kapitel 5.1.1 eingesetzt werden (19.37 / 29.06 / 9.69 CHF/Pers-h). Anpassungen oder Änderungen des durchschnittlichen Satzes können entsprechend Kapitel 5.1.1 vorgenommen werden.
- In Kapitel 5.2.1.2 wird die Festlegung des „homogenen Streckenabschnitts“ erläutert, für den die Berechnungen durchgeführt werden.
- In Kapitel 5.2.1.3 finden sich Hinweise, wie der streckenspezifische Wert $w_x(Q_j)$ für den Anteil der Personen bzw. Fahrzeuge pro Verkehrsstärkeklasse bzw. Verkehrsregime Q_j abgeschätzt werden kann.
- Als Werte für $p_m(t_i, Q_j)$ können standardisierte, auf eine Streckenlänge von 1 km bezogene Fahrzeitverteilungen, welche von den Zählstellendaten abgeleitet sind, eingesetzt werden. Zur Charakterisierung der Verkehrsstärke Q_j wird zunächst unterschieden zwischen den beiden Verkehrszuständen fließender und stockender Verkehr. Beim fließenden Verkehr wird weiter differenziert nach Klassen, deren Breite von der Zahl der Richtungsfahrbahnen abhängt. Die Stützstellen für t_i , die Klassen für Q_j und die Werte $p_m(t_i, Q_j)$ sind im Kapitel 5.2.1.4 anhand von Abbildungen dokumentiert. Die Zahlenwerte sind zudem in Anhang A3 tabelliert.
- Der Wert für $n_{Pers,x}$ beruht auf den im Verkehrsmodell enthaltenen Kraftfahrzeugen, dem PW-Anteil davon und dem mittleren Besetzungsgrad der Fahrzeuge (Personen je Fahrzeug). Der mittlere Besetzungsgrad kann ebenfalls der Norm SN 641 822 entnommen werden. Im Folgenden werden hier 1.566 Personen je Fahrzeug zugrunde gelegt.

(6) Indem eine Reduktion der Abweichungen von der mittleren Fahrzeit in Bezug auf die Gesamtheit aller Fahrten mit einem positiven Betrag monetarisiert wird, werden implizit folgende Annahmen getroffen:

- Es kann nicht berücksichtigt werden, ob eine Verfrühung oder eine Verspätung durch die Wahl einer entsprechenden Geschwindigkeit gewollt ist oder ob sie weitgehend fremdbestimmt ist. Inhaltlich gibt es keinen Grund, eine selbstbestimmte Verfrühung bzw. Verspätung durch einen Aufschlag im Vergleich zur mittleren Fahrzeit zu bewerten. Allerdings wird das Bewertungsverfahren dank dieser Annahme einfacher. Da vermutlich nur ein kleiner Prozentsatz aller Verkehrsteilnehmer bewusst eine längere als die mittlere Fahrzeit anstrebt und da die Verfrühung zudem nur wenig Prozent zum monetären Wert beiträgt, ist der durch diese Vereinfachung gemachte Fehler gering.
- Es wird vereinfachend angenommen, dass die erwartete Fahrzeit, worauf sich die Monetarisierung bezieht, dem Mittelwert aller Fahrzeiten entspricht (Tages- oder Stundenmittel, je nach verfügbarem Verkehrsmodell).

5.2.1.2 Festlegung homogener Streckenabschnitte

(1) Für die Festlegung derjenigen Streckenabschnitte, die im Sinne des hier dargestellten Verfahrens zur Bestimmung der Zuverlässigkeit im motorisierten Individualverkehr zugrunde zu legen sind, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Streckencharakteristika des zu untersuchenden Netzes (Referenz- und Planfall)
- Zur Verfügung stehende Verkehrsmodellldaten

Solange das Verfahren für die Bewertung der Veränderung der Zuverlässigkeit durch Massnahmen verwendet wird, sind nur Abschnitte zu betrachten, auf denen infolge der Massnahmen eine spürbare Veränderung der Fahrzeitverteilung (Parameter $p_m(t_i, Q_j)$ gemäss Kapitel 5.2.1.1) zu erwarten ist.

(2) Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Rechenaufwand dann stark steigt, wenn die Anzahl der zu untersuchenden Streckenabschnitte gross ist oder zusätzliche Unterteilungen im Netz vorgenommen werden müssen, welche so nicht im Verkehrsmodell enthalten sind. Im Hinblick auf die praktische Anwendung empfehlen wir, zur Unterteilung von homogenen Streckenabschnitten folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Strassentyp
- Zugrunde zu legende Anzahl der Richtungsfahrspuren
- Die zulässige Höchstgeschwindigkeit, wobei entsprechend den Auswertungen für Abschnitte die geringste zulässige Höchstgeschwindigkeit angenommen werden kann (beispielsweise bei Geschwindigkeitsbeschränkungen infolge Tunnel).
- Abbildungsgenauigkeit der Verkehrsmodelle:
 - Definition der Abschnitte von Knoten zu Knoten
 - Mindestlänge von Abschnitten: nicht kleiner als die Abschnittslängen der Verkehrsmodelle

(3) Bei EDV- bzw. Modell-gestützter Auswertung ist somit die Abbildungsgenauigkeit des Verkehrsmodells für die Bestimmung der zuverlässigkeitsbedingten Veränderungen bei zu untersuchenden Massnahmen ausschlaggebend.

5.2.1.3 Abschätzung des Anteils der Fahrzeuge pro Q-Klasse bzw. Verkehrszustand

(1) Zur Festlegung des Anteils der Fahrzeuge pro Q-Klasse bzw. Verkehrszustand müssen entsprechend den ausgewerteten Daten 5-Minuten-Intervalle betrachtet werden.

(2) Um die Anteile der Fahrzeuge pro Q-Klasse bzw. Verkehrszustand abzuschätzen, gibt es grundsätzlich folgende Möglichkeiten:

- Der zu beurteilende homogene Streckenabschnitt weist eine ähnliche Verkehrsverteilung wie eine repräsentativen Zählstelle in der Nähe auf: Auswertung der Anteile der Q-Klassen aus den Daten zu den Q-Werten für 5-Minuten-Intervalle.

- Sonstige Abschnitte: Es können Erfahrungswerte von anderen Abschnitten herangezogen werden, die in Bezug auf die Verteilung der Q-Werte ähnliche Merkmale aufweisen. In Tabelle 5.2.1-1 sind solche Verteilungen über eine Vielzahl von Zählstellen mit mehreren Fahrstreifen pro Fahrtrichtung dargestellt. Dabei sollten zunächst Daten von Zählstellen verwendet werden, die in einer siedlungsstrukturell ähnlichen Lage wie das Projekt situiert sind. Als Behelf können die ausgewiesenen gewichteten Mittel je Strassen- und Auslastungstyp verwendet werden.

Da nicht für alle Kategorien Zählstellendaten vorliegen, mussten auf Basis der vorhandenen Daten Annahmen für einzelne Kategorien getroffen werden. Die Annahmen sind in Tabelle 5.2.1-1 dokumentiert. Vergleicht man die gewichteten Mittelwerte bzw. angenommene Werte zwischen den Strassenkategorien und Auslastungsklassen untereinander, so zeigt sich folgendes:

- Für Autobahnen mit gleicher Spurzahl und zulässiger Geschwindigkeit: Mit zunehmenden DTV steigt der Anteil stockender Verkehr
- Für Autobahnen mit gleicher zulässiger Geschwindigkeit und je DTV-Klasse: Mit zunehmender Anzahl Richtungsfahrstreifen sinkt der Anteil stockender Verkehr
- Für Autobahnen mit gleicher Anzahl Richtungsfahrstreifen und je DTV-Klasse: Mit Zunahme der Geschwindigkeit steigt der Anteil stockender Verkehr

In Tabelle 5.2.1-2 finden sich die entsprechenden Werte für verschiedene Strassen mit einer Richtungsfahrspur

- Weitere Möglichkeiten:
 - Bei Vorliegen eines Verkehrsmodells können der DTV und der PW (Personenwagen)-Anteil mittels Tagesganglinien auf Stundenwerte bezogen werden (z.B. gemäss [4]). Diese Werte sind den Erfahrungswerten (gewichtete Mittel) vorzuziehen.
 - Basierend auf stündlichen Werten kann die Berechnung der Verteilung der 5-Minuten-Intervalle auf Basis empirischer Verteilungen berechnet werden (*Bernard, Axhausen, 2006*).

Auto- bahn	Anzahl Spuren	max. zulässige Ge- schwindigkeit [km/h]	DTV je Richtung	Nr.	Name	Strasse	Richtung	Anteil der Fahrzeuge im Zustand fliessender Verkehr in Q-Klasse [Fz./h]							Anteil Fahrzeuge im Zu- stand stockender Verkehr	PW-Anteil 2005
								0 - 1'000	1'000 - 2'000	2'000 - 3'000	3'000 - 4'000	4'000 - 5'000	5'000 - 6'000	6'000 - 7'000		
ja	2	120	0-20'000		Gewichtetes Mittel			60.08%	36.49%	3.05%	0.25%				0.14%	80%
ja	2	120	7'158	235	PIETERLEN W (AB)	A 5	BIEL	99.83%	0.17%						0.00%	84%
ja	2	120	7'172	235	PIETERLEN W (AB)	A 5	SOLOTHURN	99.36%	0.64%						0.00%	83%
ja	2	120	7'516	238	ROTHENBRUNNEN S (AB)	A 13	REICHENAU	87.08%	12.67%	0.16%					0.09%	83%
ja	2	120	7'525	238	ROTHENBRUNNEN S (AB)	A 13	THUSIS	93.84%	6.15%	0.01%					0.00%	82%
ja	2	120	7'788	222	PAYERNE N (AR)	A 1	YVERDON	96.55%	3.39%	0.05%					0.01%	74%
ja	2	120	8'007	222	PAYERNE N (AR)	A 1	AVENCHES	94.59%	5.38%	0.02%					0.00%	81%
ja	2	120	9'198	234	YVERDON, TUN. DE POMY (AR)	A 1	PAYERNE	93.20%	6.78%	0.02%					0.00%	79%
ja	2	120	9'461	234	YVERDON, TUN. DE POMY (AR)	A 1	YVERDON	96.06%	4.89%	0.05%					0.00%	77%
ja	2	120	10'431	251	ERSTFELD N (AB)	A 2	GOESCHENEN	84.80%	15.12%	0.08%					0.00%	74%
ja	2	120	10'543	251	ERSTFELD N (AB)	A 2	LUZERN	80.05%	19.48%	0.47%					0.00%	79%
ja	2	120	10'653	195	ERSTFELD S (AB)	A 2	GOESCHENEN	84.27%	15.17%	0.21%	0.01%				0.35%	72%
ja	2	120	10'851	195	ERSTFELD S (AB)	A 2	LUZERN	76.63%	22.46%	0.91%					0.00%	71%
ja	2	120	13'785	166	BIASCA S (AS)	A 2	BIELINZONA	69.52%	29.94%	0.53%	0.00%				0.01%	79%
ja	2	120	14'117	175	CONT. DE FRIBOURG (AR)	A 12	BULLE	67.18%	31.61%	1.11%	0.01%				0.09%	76%
ja	2	120	14'507	175	CONT. DE FRIBOURG (AR)	A 12	FLAMATT	61.34%	38.38%	0.28%					0.00%	82%
ja	2	120	15'012	121	COLOMBIER, AREUSE (AR)	A 5	YVERDON	56.17%	42.31%	0.67%					0.85%	93%
ja	2	120	15'708	121	COLOMBIER, AREUSE (AR)	A 5	NEUCHÂTEL	48.35%	50.33%	1.31%					0.00%	92%
ja	2	120	16'010	165	MARTIGNY N (AR)	A 9	LAUSANNE	50.14%	46.22%	3.40%	0.22%				0.03%	84%
ja	2	120	17'715	83	VILLENEUVE	A 9	SION	48.16%	48.59%	3.18%	0.08%				0.00%	86%
ja	2	120	18'120	33	EPTINGEN N (AB)	A 2	AUGST	22.78%	53.49%	18.68%	3.72%				1.13%	84%
ja	2	120	18'668	239	REIDEN S (AB)	A 2	VERZWEIG. A1/A2	26.97%	66.05%	6.90%	0.02%				0.06%	75%
ja	2	120	19'634	239	REIDEN S (AB)	A 2	LUZERN	24.88%	69.99%	5.11%					0.01%	75%
ja	2	120	20' - 40'		Gewichtetes Mittel			13.43%	38.97%	36.95%	8.47%				2.18%	79%
ja	2	120	20'286	206	YVERDON, EPENDES (AR)	A 1	YVERDON	27.65%	61.47%	10.76%	0.11%				0.02%	83%
ja	2	120	20'519	206	YVERDON, EPENDES (AR)	A 1	ORBE	27.84%	64.56%	7.54%	0.04%				0.03%	82%
ja	2	120	23'413	83	VILLENEUVE	A 9	VEVEY	20.89%	49.62%	20.90%	2.83%				5.97%	84%
ja	2	120	26'000	149	MEX (AR)	A 1	YVERDON	17.69%	53.95%	21.04%	7.15%				0.17%	84%
ja	2	120	26'242	149	MEX (AR)	A 1	LAUSANNE	16.37%	57.01%	18.24%	5.63%				2.75%	84%
ja	2	120	28'547	72	HUNZENSCHWIL (AB)	A 1	ZUERICH	14.16%	54.82%	29.95%	0.99%				0.09%	78%
ja	2	120	29'157	72	HUNZENSCHWIL (AB)	A 1	BERN	14.19%	52.39%	30.13%	3.07%				0.23%	79%
ja	2	120	30'725	182	KIRCHBERG N (AB)	A 1	ZUERICH	12.75%	43.39%	37.74%	5.61%				0.50%	78%
ja	2	120	31'253	182	KIRCHBERG N (AB)	A 1	BERN	12.60%	43.53%	37.77%	4.63%				1.47%	78%
ja	2	120	31'974	208	BIRRHARD, BIRRFELD (AB)	A 1	ZUERICH	11.32%	43.39%	35.57%	2.89%				6.83%	84%
ja	2	120	33'218	208	BIRRHARD, BIRRFELD (AB)	A 1	BERN	12.10%	40.40%	40.52%	6.37%				0.61%	84%
ja	2	120	36'525	23	MATTSTETTEN (AB)	A 1	ZUERICH	10.15%	26.08%	44.01%	15.96%				3.80%	80%
ja	2	120	36'583	23	MATTSTETTEN (AB)	A 1	BERN	10.18%	27.37%	45.83%	12.89%				3.74%	80%
ja	2	120	37'025	60	GUNZGEN (AB)	A 1	ZUERICH	10.25%	25.77%	52.11%	10.05%				1.82%	65%
ja	2	120	37'891	60	GUNZGEN (AB)	A 1	BERN	9.89%	23.19%	49.26%	13.46%				1.20%	68%
ja	2	120	38'933	32	DEITINGEN (AB)	A 1	ZUERICH	9.08%	20.29%	52.28%	16.53%				4.82%	81%
ja	2	120	39'154	32	DEITINGEN (AB)	A 1	BERN	9.14%	21.28%	49.28%	19.05%				1.25%	81%
ja	2	120	> 40'000		Annahme ¹⁾			11.32%	43.39%	35.57%	2.89%				6.83%	84%

Tabelle 5.2.1-1: Verteilung des DTV (Werte pro Fahrtrichtung) auf die Verkehrszustände bzw. Q-Klassen für verschiedene Zählstellen an Strassen mit mehreren Richtungsfahrspuren; Quelle: Zählstellendaten (Fortsetzung nächste Seite)

Auto- bahn	Anzahl Spuren	max. zulässige Ge- schwindigkeit [km/h]	DTV je Richtung	Nr.	Name	Strasse	Richtung	Anteil der Fahrzeuge im Zustand fließender Verkehr in Q-Klasse [Fz./h]							Anteil Fahrzeuge im Zu- stand stockender Verkehr	PW-Anteil 2005
								0 - 1'000	1'000 - 2'000	2'000 - 3'000	3'000 - 4'000	4'000 - 5'000	5'000 - 6'000	6'000 - 7'000		
ja	3	120	0-20'000		Annahme ²⁾			60.08%	36.49%	3.05%	0.29%				0.09%	80%
ja	3	120	20' - 40'		Gewichtetes Mittel			18.96%	56.95%	22.29%	0.53%				1.27%	75%
ja	3	120	> 40'000	33	EPTINGEN N (AB)	A 2	HAERKINGEN	4.70%	9.96%	13.79%	35.65%	23.30%	7.04%	5.56%	84%	84%
ja	3	120		81	Gewichtetes Mittel	A 2	BASEL	4.93%	9.38%	12.99%	35.94%	24.23%	4.88%	7.65%	84%	84%
ja	3	120	58972	81	MUTTENZ, HARD (AB)	A 2	AUGST	4.47%	10.52%	14.56%	35.37%	22.41%	9.12%	3.56%	84%	84%
ja	2	100	0-20'000		Gewichtetes Mittel			48.39%	47.21%	4.37%	0.01%				0.02%	87%
ja	2	100	12764	214	BERN, BRUENNETUNNEL (AB)	A 1	WEYERMANNSHAUS	55.02%	43.16%	1.80%					0.03%	-
ja	2	100	16055	59	TRAV. DE NEUCHATEL E (AR)	A 5	YVERDON	46.12%	44.07%	9.76%	0.02%				0.04%	87%
ja	2	100	16185	59	TRAV. DE NEUCHATEL E (AR)	A 5	ST-BLAISE	41.63%	54.48%	3.87%	0.01%				0.01%	88%
ja	2	100	16341	214	BERN, BRUENNETUNNEL (AB)	A 1	KERZERS	52.14%	46.25%	1.58%	0.01%				0.01%	-
ja	2	100	20' - 40'		Gewichtetes Mittel			16.70%	52.37%	21.41%	8.96%	0.31%			0.23%	87%
ja	2	100	25481	116	GRANDVAUX N (AR)	A 9	LAUSANNE-VENNES	16.59%	52.96%	21.43%	8.49%	0.43%			0.10%	87%
ja	2	100	25721	116	GRANDVAUX N (AR)	A 9	VEVEY	16.82%	51.79%	21.38%	9.45%	0.20%			0.36%	88%
ja	2	100	>40'000		Annahme ³⁾			6.65%	12.70%	37.14%	27.00%	14.80%			1.77%	86%
ja	3	100	20' - 40'		Annahme ⁴⁾			48.39%	47.21%	4.37%	0.01%				0.02%	87%
ja	3	100	> 40'000		Annahme ⁵⁾			16.70%	52.37%	21.41%	8.96%	0.39%			0.15%	87%
ja	3	100			Gewichtetes Mittel			6.65%	12.70%	37.14%	27.00%	14.32%	1.73%	0.01%	0.44%	86%
ja	3	100	46170	118	BERN, FELSENAUADUKT (AB)	A 1	WEYERMANNSHAUS	6.96%	12.54%	38.66%	25.53%	14.86%	1.21%	0.01%	0.20%	86%
ja	3	100	46877	118	BERN, FELSENAUADUKT (AB)	A 1	WANKDORF	6.34%	12.66%	36.65%	28.44%	13.77%	2.25%	0.01%	0.68%	85%
ja	4	120	0-20'000		Annahme ⁶⁾			7.96%	11.60%	36.50%	25.04%	9.12%	7.37%	2.41%	0.00%	84%
ja	4	120	20' - 40'		Annahme ⁷⁾			7.96%	11.60%	36.50%	25.04%	9.12%	7.37%	2.41%	0.00%	84%
ja	4	120	> 40'000		Gewichtetes Mittel			7.96%	11.60%	36.50%	25.04%	9.12%	7.37%	2.41%	0.00%	84%
ja	4	120	44926	226	CRISSIER (AR)	A 1	LAUSANNE/GENEVE	8.46%	10.87%	39.49%	25.20%	8.33%	4.00%	0.43%	3.22%	86%
ja	4	120	46324	226	CRISSIER (AR)	A 1	YVERDON/VEVEY	7.47%	12.31%	33.59%	24.89%	9.90%	10.64%	1.12%	0.09%	82%

Anmerkungen:

- 1) Entsprechend maximalem Zählstellenwert für zwei Spuren, 120 km/h, 20'-40' DTV (Zählstelle 208 Richtung Zürich)
- 2) Entsprechend zwei Spuren, 120 km/h, 0-20'000 DTV: 2/3 des Anteils stockender Verkehr, übrige Fahrzeuge in Q-Klasse 3'000-4'000 [Fz/h]
- 3) Entsprechend drei Spuren, 100 km/h, > 40'000 DTV; Anteil stockender Verkehr erhöht um Differenz stockender Verkehr von zwei auf drei Spuren bei 100 km/h (0.44+6.83-5.56=1.71). Q-Klassen > 5'000 = 0; Anpassung Q-Klasse 4'000-5000 auf in Summe 100%.
- 4) Entsprechen zwei Spuren, 100 km/h, 0-20'000 DTV.
- 5) Entsprechend zwei Spuren, 100 km/h, 20'-40' DTV: 2/3 des Anteils stockender Verkehr, übrige Fahrzeuge in Q-Klasse 3'000-4'000 [Fz/h]
- 6) Entsprechend vier Spuren, 120 km/h, >40' DTV; Annahme Anteil stockender Verkehr ist Null, übrige Fahrzeuge in Q-Klasse 6'000-7'000 [Fz/h]
- 7) Entsprechend vier Spuren, 120 km/h, >40' DTV; Annahme Anteil stockender Verkehr ist Null, übrige Fahrzeuge in Q-Klasse 6'000-7'000 [Fz/h]

Tabelle 5.2.1-1: Verteilung des DTV (Werte pro Fahrtrichtung) auf die Verkehrszustände bzw. Q-Klassen für verschiedene Zählstellen an Strassen mit mehreren Richtungsfahrs Spuren; Quelle: Zählstellendaten (Fortsetzung)

Auto- bahn	Anzahl Spuren	max. zulässige Geschwindigkeit [km/h]	DTV je Richtung	Nr.	Name	Strasse	Richtung	Kanton	Anteil der Fahrzeuge im Regime fließender Verkehr in Q-Klasse [Fzg./Std.]			Anteil Fahrzeuge im Zustand stockender Verkehr	Anteil PW 2005
									0 - 500	500 - 1'000	1'000 - 1'500		
ja	1	100	6'692	16	TWANN, WINGREIS (AS)	A 5	NEUCHÂTEL	BE	64.84%	34.90%	0.24%	0.02%	88%
ja	1	100	6'756	16	TWANN, WINGREIS (AS)	A 5	BIEL	BE	64.28%	35.39%	0.27%	0.07%	89%
nein	1	50	2'681	172	AIGLE, PONT GRANDE EAU	H 11	LE SEPEY	VD	93.74%	5.30%	0.83%	0.14%	89%
nein	1	50	2'815	172	AIGLE, PONT GRANDE EAU	H 11	AIGLE	VD	97.53%	2.47%	0.00%	0.00%	86%
nein	1	60	3'878	186	ST-GINGOLPHE	H 21	VIONNAZ	VS	90.29%	9.67%	0.04%	0.00%	93%
nein	1	60	3'941	186	ST-GINGOLPHE	H 21	ST-GINGOLPH	VS	82.64%	17.16%	0.06%	0.13%	93%
nein	1	60	11'848	11	RAPPERSWIL SEEDAMM	H 8	RAPPERSWIL	SG	19.55%	72.38%	5.38%	2.68%	85%
nein	1	80	7'053	112	PONT DE THIELLE	H 10	NEUCHÂTEL	NE	56.22%	43.29%	0.48%	0.01%	87%
nein	1	80	12'570	11	RAPPERSWIL SEEDAMM	H 8	PFÄFFIKON	SG	16.90%	67.51%	15.53%	0.06%	90%
nein	1	100	7'063	112	PONT DE THIELLE	H 10	INS	NE	54.11%	45.54%	0.34%	0.00%	85%

Tabelle 5.2.1-2: Verteilung des DTV (Werte pro Fahrtrichtung) auf die Verkehrszustände bzw. Q-Klassen für verschiedene Zählstellen an Strassen mit einer Richtungsfahrspur; Quelle: Zählstellendaten

5.2.1.4 Fahrzeitverteilungen nach Strassentypen

(1) In Tabelle 5.2.1-3 sind die Parameter dargestellt, welche die einzelnen Fahrzeitverteilungen charakterisieren. In der Spalte „Grenzwert Fahrzeugdichte“ ist angegeben, ab welcher Fahrzeugdichte (Fahrzeuganzahl pro km und Fahrspur) ein Zustand dem Zustand „stockender Verkehr“ zugeordnet wird.

zulässige Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Anz. Richtungsfahrs Spuren	Strassentyp	Grenzwert Fahrzeugdichte [Fzg/km/Spur]	Breite Q-Klassen [Fzg/h]	höchste Q-Klasse [Fzg/h] (Summe der Richtungsfahrs Spuren)
120	2	Autobahn	20	1000	3000 - 4000
120	3	Autobahn	20	1000	5000 - 6000
100	1	Autobahn	25	500	1000 - 1500
100	2	Autobahn	25	1000	3000 - 4000
100	3	Autobahn	25	1000	5000 - 6000
100	1	Hauptstrasse	25	500	1000 - 1500
80	1	Hauptstrasse	40	500	1000 - 1500
60	1	Hauptstrasse	40	500	1000 - 1500
50	2	Hauptstrasse	40	1000	3000 - 4000
50	1	Hauptstrasse	40	500	1000 - 1500

Tabelle 5.2.1-3: Parameter zur Charakterisierung der Fahrzeitverteilungen (Spalte 1 – 3), Abgrenzung der beiden Verkehrszustände (Spalte 4) und Festlegung der betrachteten Q-Klassen (Spalten 5 und 6)

(2) Für einen Parametersatz gemäss den Spalten 1 – 3 aus Tabelle 5.2.1-3, zu dem Daten aus mehreren unterschiedlichen Zählstellen zur Verfügung stehen, wird eine repräsentative Zählstelle anhand folgender Kriterien ausgewählt:

- Zählstelle liegt nicht in unmittelbarer Nähe von Knoten oder Verzweigungen,
- Plausible Abhängigkeit zwischen der mittleren Geschwindigkeit und der Q-Klasse,
- mittlere Geschwindigkeit über alle 5-Minuten-Intervalle liegt im Vergleich zu den entsprechenden Werten anderer Zählstellen in einem mittleren Bereich,
- Grosse Zahl an erfassten Fahrzeugen,
- Varianz der Geschwindigkeit über alle 5-Minuten-Intervalle liegt im Vergleich zu den entsprechenden Werten anderer Zählstellen in einem mittleren Bereich.

(3) In Abbildung 5.2.1-1 bis Abbildung 5.2.1-10 sind die zu den einzelnen Zeilen in Tabelle 5.2.1-3 gehörigen Fahrzeitverteilungen graphisch dargestellt. Die dargestellten Werte entsprechen weitgehend der angegebenen Zählstelle, wobei in Fällen von unplausiblen Werten Anpassungen an den statistisch ermittelten Daten vorgenommen wurden. Um das Schwanzverhalten der Fahrzeitverteilung angemessen abzubilden, werden auch tiefe Geschwindigkeitsklassen (je nach zulässiger Höchstgeschwindigkeit 0 bis 10 / 15 / 20 km/h) berücksichtigt.

(4) Ist eine kleinräumige Betrachtung vorzunehmen oder ist der zu beurteilende Streckenabschnitt unter Berücksichtigung der Zahl der Richtungsfahrtstreifen, des Strassentyps sowie der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in Bezug auf Steigungsverhältnisse, Kurvigkeit oder Verkehrszusammensetzung (insbesondere der Anteil Schwerverkehr) besonders gekennzeichnet, so ist dies bei der Fahrzeitverteilung geeignet zu berücksichtigen; die nachfolgend dargestellten Fahrzeitverteilungen können dann nur mit Korrekturen für das Verfahren gemäss Kapitel 5.2.1 verwendet werden.

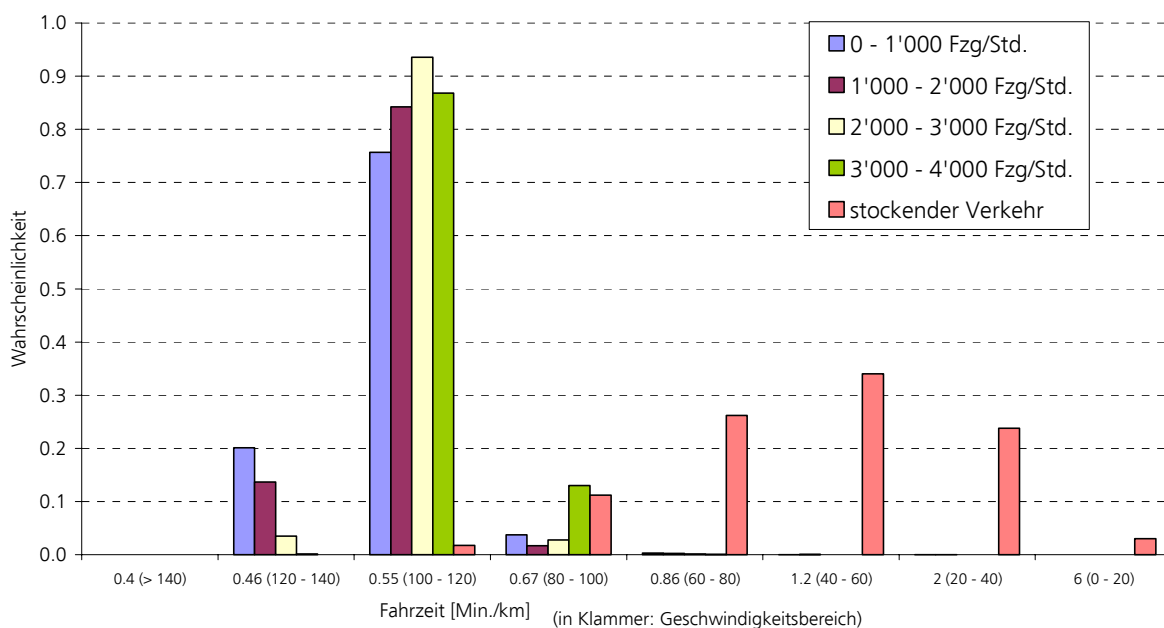


Abbildung 5.2.1-1: Typische Fahrzeitverteilung für eine 2-spurige Autobahn mit $v_{max} = 120$ km/h (Basis: Zählstelle 60 „Gunzgen“, Fahrtrichtung Bern); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

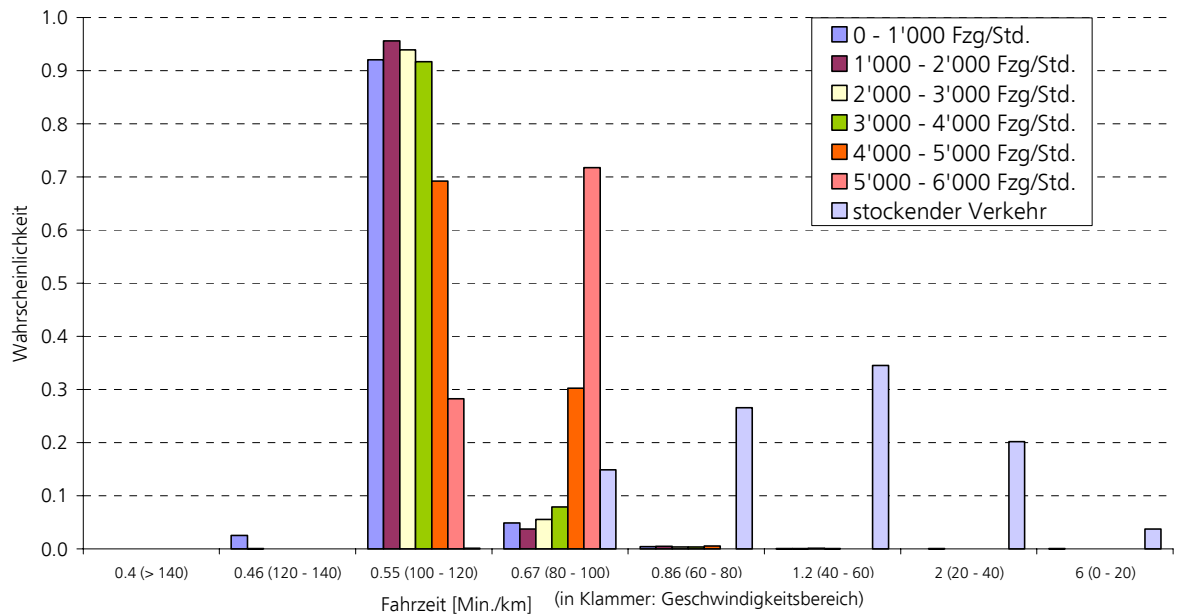


Abbildung 5.2.1-2: Typische Fahrzeitverteilung für eine 3-spurige Autobahn mit $v_{max} = 120$ km/h (Basis: Zählstelle 81 „MuttENZ Hard“, Fahrtrichtung Basel); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

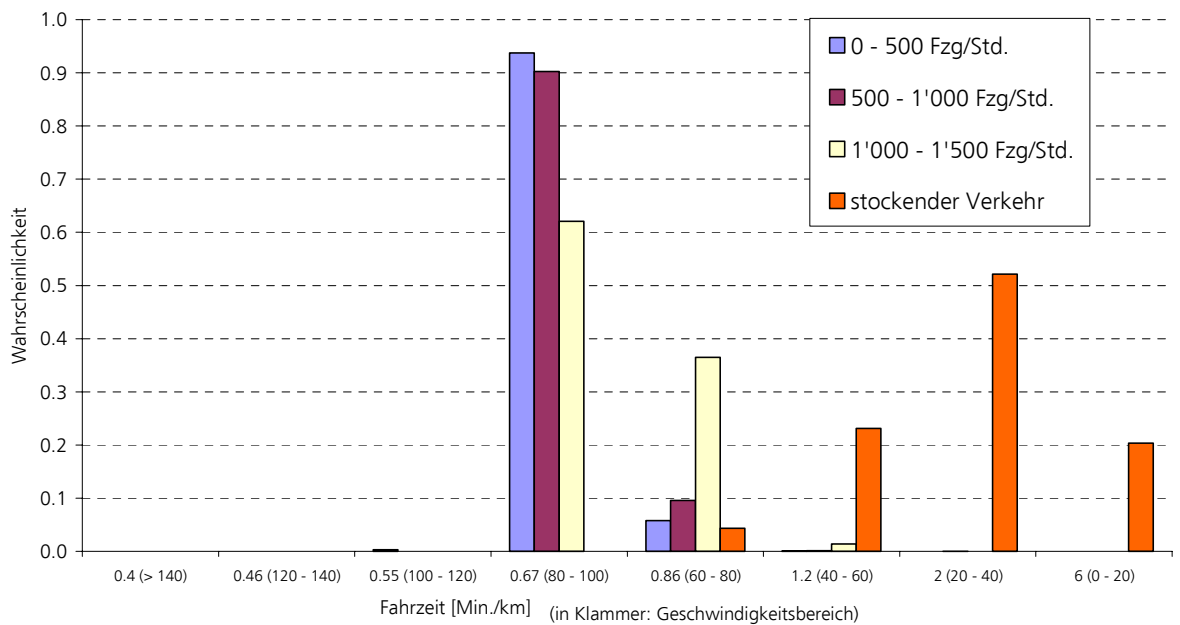


Abbildung 5.2.1-3: Typische Fahrzeitverteilung für eine 1-spurige Autobahn mit $v_{max} = 100$ km/h (Basis: Zählstelle 16 „Twann Wingreis“, Fahrtrichtung Biel); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

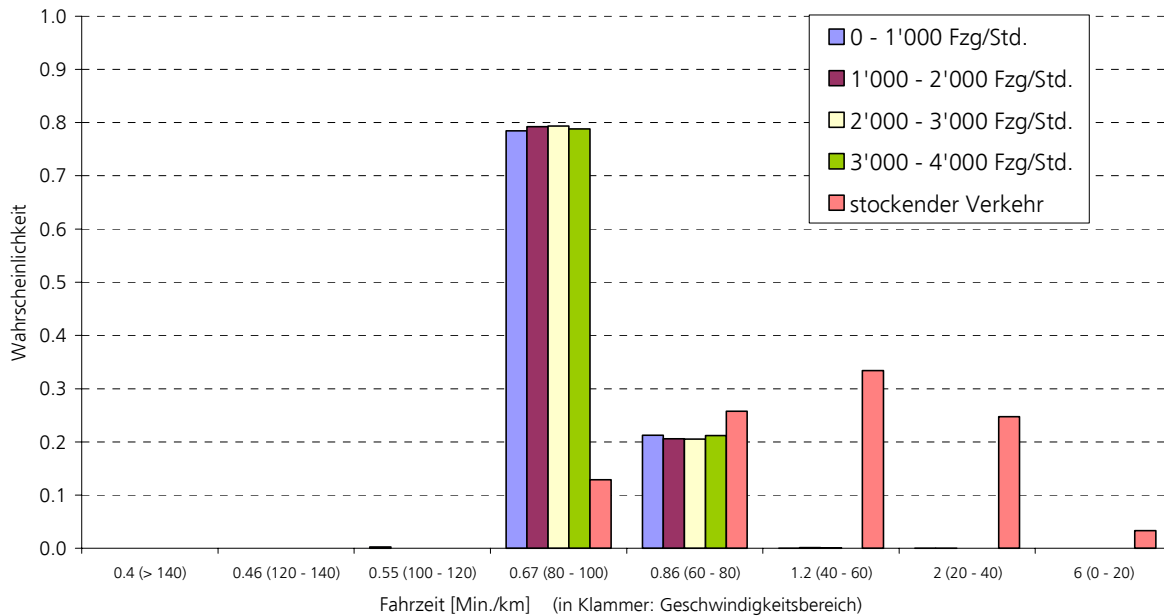


Abbildung 5.2.1-4: Typische Fahrzeitverteilung für eine 2-spurige Autobahn mit $v_{max} = 100$ km/h (Basis: Zählstelle 42 „Umfahrung Bern Ost“, Fahrtrichtung Freudenbergerplatz); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

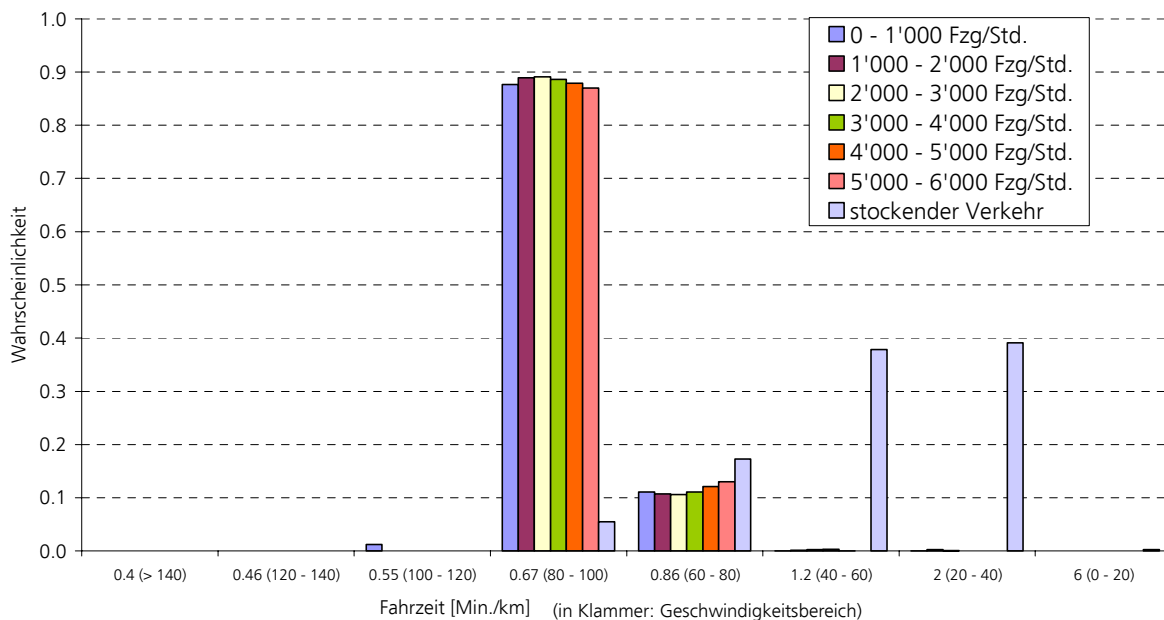


Abbildung 5.2.1-5: Typische Fahrzeitverteilung für eine 3-spurige Autobahn mit $v_{max} = 100$ km/h (Basis: Zählstelle 118 „Bern Felsenauviadukt“, Fahrtrichtung Wankdorf); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

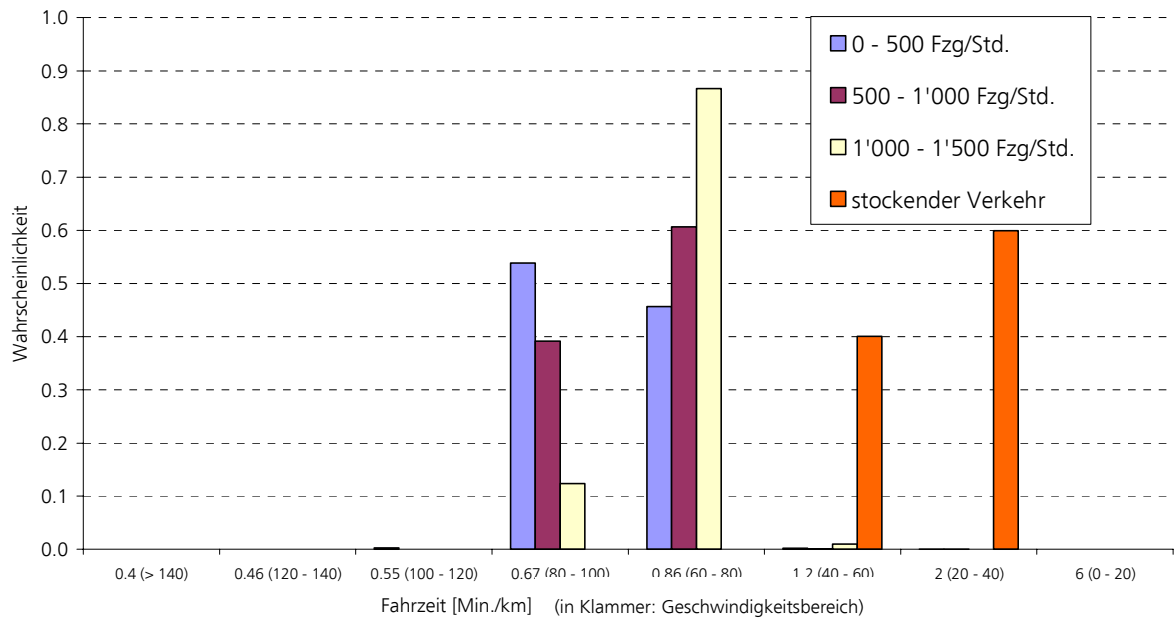


Abbildung 5.2.1-6: Typische Fahrzeitverteilung für eine 1-spurige Hauptstrasse mit $v_{max} = 100$ km/h (Basis: Zählstelle 112 „Pont de Theille“, Fahrtrichtung Neuchâtel); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

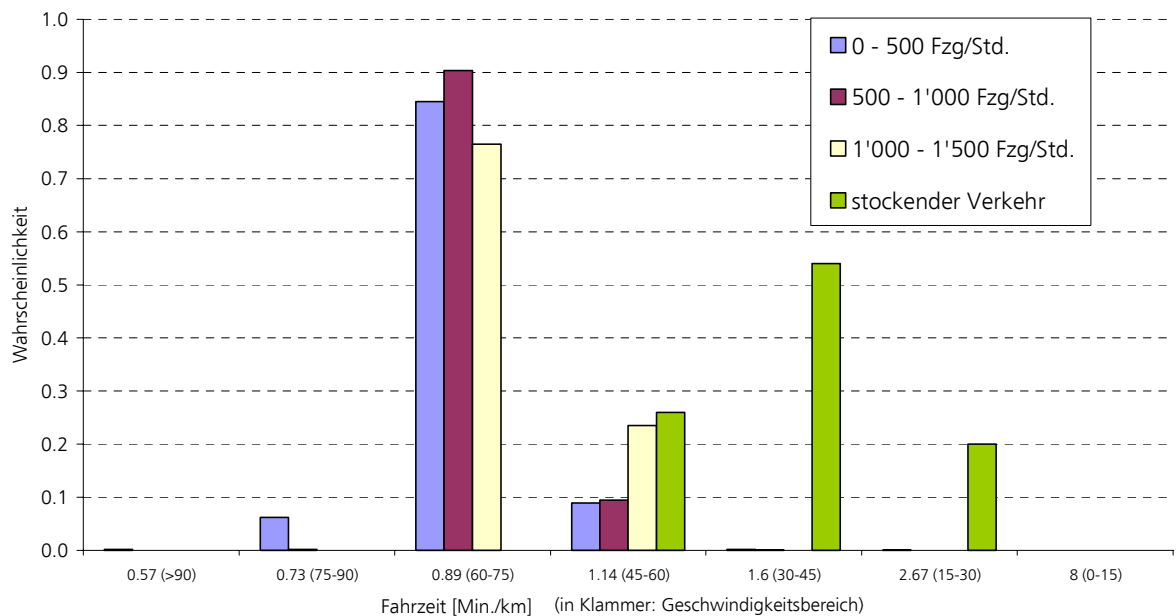


Abbildung 5.2.1-7: Typische Fahrzeitverteilung für eine 1-spurige Hauptstrasse mit $v_{max} = 80$ km/h (Basis: Zählstelle 112 „Pont de Theille“, Fahrtrichtung Ins); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

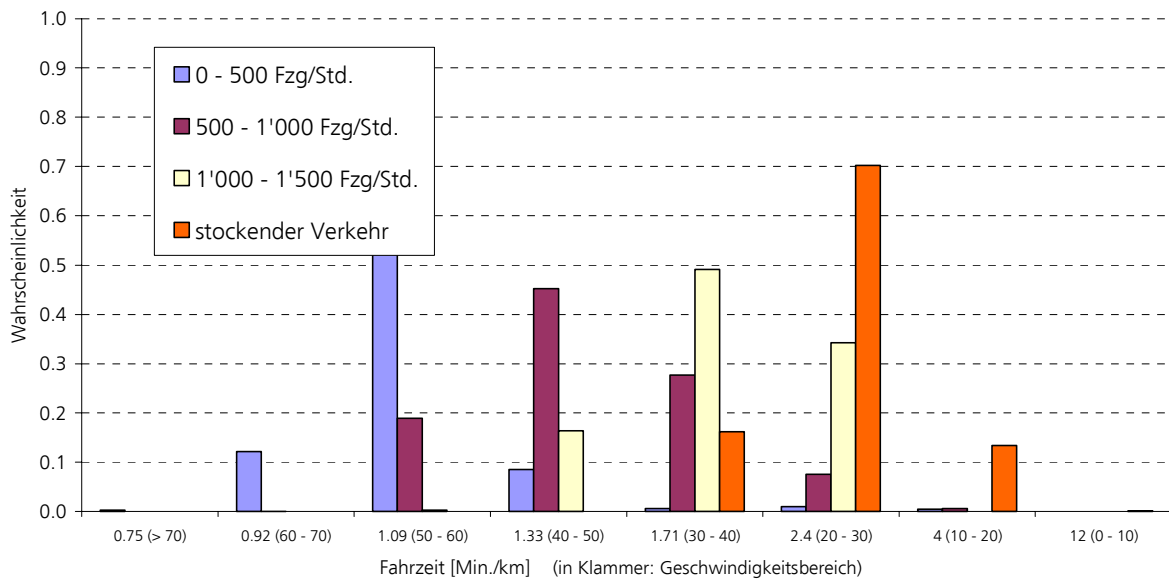


Abbildung 5.2.1-8: Typische Fahrzeitverteilung für eine 1-spurige Hauptstrasse mit $v_{max} = 60$ km/h (Basis: Zählstelle 11 „Rapperswil Seedamm“, Fahrtrichtung Rapperswil); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

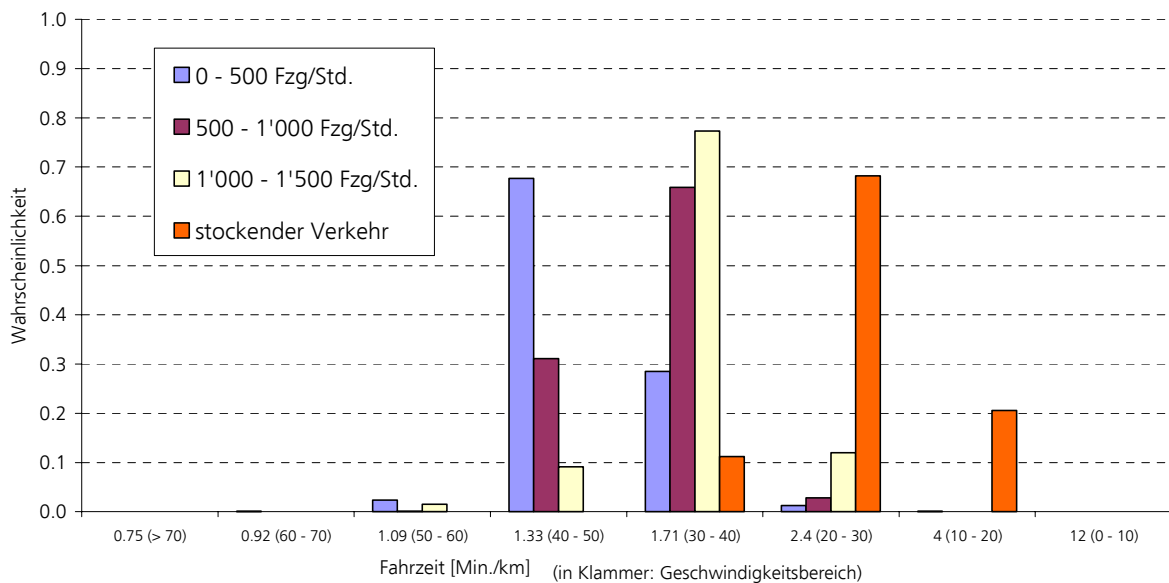


Abbildung 5.2.1-9: Typische Fahrzeitverteilung für eine 1-spurige Hauptstrasse mit $v_{max} = 50$ km/h (Basis: Zählstelle 172 „Aigle Pont Grand Eau“, Fahrtrichtung Le Sepey); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

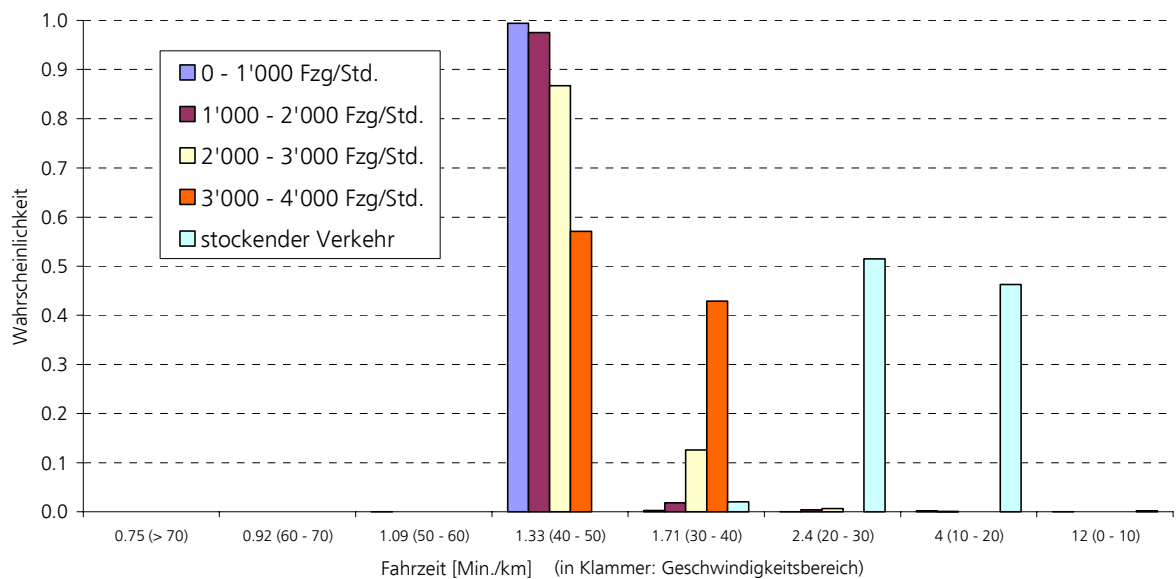


Abbildung 5.2.1-10: Typische Fahrzeitverteilung für eine 2-spurige Hauptstrasse mit $v_{max} = 50$ km/h (Basis: Zählstelle 106 „Zürich Rosengartenstrasse“, Fahrtrichtung Bucheggplatz); Quelle: Zählstellendaten (eigene Auswertung)

5.2.2 Anwendungsbeispiel

(1) Im Folgenden wird anhand eines Beispiels die Anwendung des Verfahrens zur Berücksichtigung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit erläutert. Das Beispiel lautet wie folgt:

- Referenzfall: 2-spurige Autobahn mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h, PW-Anteil: 79%
- Planfall: Infolge von häufigem Stau soll ein Streckenabschnitt von $l_x = 10$ km Länge in einer Fahrtrichtung von zwei auf drei Richtungsfahrspuren ausgebaut werden. Der PW-Anteil sinkt auf 75%.
- Die Verkehrstärke in der massgeblichen Fahrtrichtung sei durch folgende Werte charakterisiert:
 - DTV: 36'200 Fz./Tag im Referenzfall, 38'900 Fz./Tag im Planfall; bei 1.566 Insassen pro Fahrzeug (Stand 2003 gemäss SN 641 822) entspricht dies 16.3 Mio. Pers./Jahr bzw. 16.7 Mio. Pers./Jahr.
 - Verteilung auf Q-Klassen im Referenzfall: Entsprechend Tabelle 5.2.1-1, gewichtetes Mittel für 2 Spuren/ 120 km/h bei DTV 20-40'000 [Anteil Fz./h]:

0 – 1'000:	13.43%
1'000 – 2'000:	38.97%
2'000 – 3'000:	36.95%
3'000 – 4'000:	8.47%
stockender Verkehr:	2.18%

- Verteilung auf Q-Klassen im Planfall:
Entsprechend Tabelle 5.2.1-1, gewichtetes Mittel für 3 Spuren/ 120 km/h bei DTV 20-40'000 [Anteil Fz./h]:
 - 0 – 1'000: 18.96%
 - 1'000 – 2'000: 56.95%
 - 2'000 – 3'000: 22.29%
 - 3'000 – 4'000: 0.53%
 - stockender Verkehr: 1.27%

(2) Die Berechnung der Fahrzeitverteilung unter Berücksichtigung obiger Prozentsätze und basierend auf den standardisierten Verteilungen für Autobahnen mit 2 Fahrspuren und Höchstgeschwindigkeit 120 km/h (Tabelle A3-1) ist in Tabelle 5.2.2-1 wiedergegeben. Die resultierende Fahrzeitverteilung ist in Abbildung 5.2.2-1 graphisch dargestellt, zusammen mit den analog berechneten Werten für eine Autobahn mit 3 Spuren. Der Anteil der kurzen Fahrzeiten erhöht sich bei steigender Anzahl Fahrspuren.

Verkehrsstärke- klasse Q_j	Anteil	Fahrzeit t_i [Min./km]						
		0.46	0.55	0.67	0.86	1.20	2.00	6.00
0 - 1'000 Fz./h	13%	0.0270	0.1016	0.0051	0.0004	0.0001	0.0001	0.0000
1'000 - 2'000 Fz./h	39%	0.0533	0.3282	0.0068	0.0010	0.0003	0.0001	0.0000
2'000 - 3'000 Fz./h	37%	0.0130	0.3457	0.0103	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
3'000 - 4'000 Fz./h	8%	0.0001	0.0735	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
stockender Verkehr	2%	0.0000	0.0004	0.0024	0.0057	0.0074	0.0052	0.0007
$\sum_j w_x(Q_j) p_m(t_i, Q_j)$	100%	0.0934	0.8494	0.0356	0.0079	0.0078	0.0054	0.0007

Tabelle 5.2.2-1: Ermittlung der Fahrzeitverteilung unter Berücksichtigung der Verteilung der jeweiligen Anteile der verschiedenen Verkehrsstärkekassen für den Referenzfall

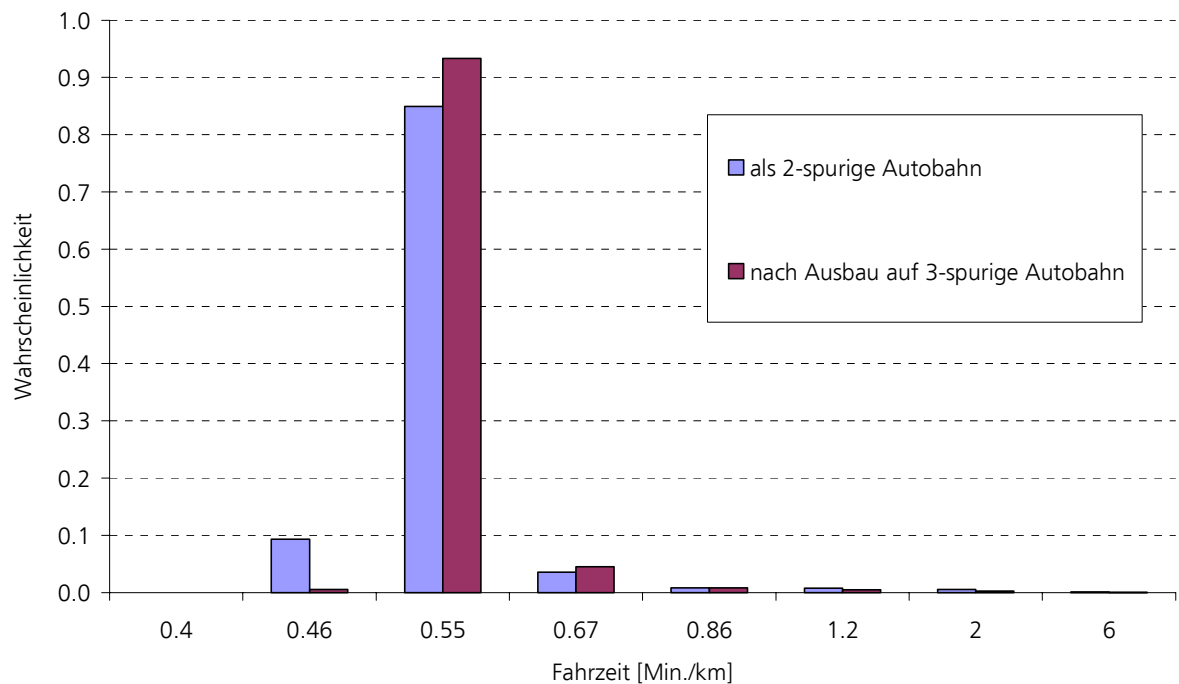


Abbildung 5.2.2-1: Fahrzeitverteilung vor und nach dem Spurausbau

(3) Unter Anwendung der Formeln gemäss Kapitel 5.2.1 kann nun die mittlere Fahrzeit bestimmt und anschliessend die Jahreskosten der mittleren Fahrzeit, der Verspätung und der Verfrühung berechnet werden. Nachfolgend werden die Formeln aus Kapitel 5.2.1 der leichteren Nachvollziehbarkeit halber wiederholt:

$K_{E,x}$ wird aus dem Verkehrsmodell ermittelt

$$K_{spät,x} = n_{Pers\ spät,x} \cdot l_x \cdot k_{spät} \cdot \Delta t_{spät,x} \quad (\text{Formel 5})$$

$$K_{früh,x} = n_{Pers\ früh,x} \cdot l_x \cdot k_{früh} \cdot \Delta t_{früh,x} \quad (\text{Formel 6})$$

wobei

$$\Delta t_{spät,x} = \sum_j \left[w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot (t_i - t_{E,x}) \right]$$

für alle $t_i > t_{E,x}$ bzw. dazu äquivalent

$$\Delta t_{\text{früh},x} = \sum_j \left[w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot (t_{E,x} - t_i) \right]$$

für alle $t_{E,x} > t_i$

$$t_{E,x} = \sum_j w_x(Q_j) \cdot \sum_i p_m(t_i, Q_j) \cdot t_i$$

(4) Der Rechengang für den Referenzfall (2 Richtungsfahrstreifen) ist in der nachfolgenden Tabelle 5.2.2-2 anschaulich dargestellt:

- Für die Berechnung der mittleren Fahrzeit $t_{E,x}$ [Min/km] wird jede Wahrscheinlichkeit in der Tabelle 5.2.2-2, Teil „Inputdaten“, mit der jeweiligen Fahrzeit (Spaltenüberschrift) und dem jeweiligen Fahrzeuganteil (Zeilenbezeichnung) multipliziert. Die Ergebnisse sind in der mittleren Tabelle „Berechnung $t_{E,x}$ “ als Matrix von Zwischenergebnissen dargestellt.
Bsp. (grau markiert): $0.0124 = 0.2014 \cdot 0.46 \cdot 13.4\%$.
Die mittlere Fahrzeit (0.56 Min. für 1 km, grün dargestellt) entspricht der Summe über alle Werte in der Tabelle „Inputdaten“.
- Die Zeit Δt_x [Min] wird ähnlich berechnet. Anstelle der Zeit gemäss Spaltenüberschrift wird vom Absolutbetrag der Differenz dieser Zeit mit der mittleren Fahrzeit $t_{E,x}$ ausgegangen. Die entsprechenden Ergebnisse sind in der untersten der drei Tabellen dargestellt. Der gelb markierte Bereich bezieht dabei auf Verfrühungen (Fahrzeit unterdurchschnittlich), der blau markierte auf Verspätungen (Fahrzeit überdurchschnittlich).
Bsp.: $0.0028 = 0.2014 \cdot 13.4\% \cdot (0.56 - 0.46)$
Durch Summation der Werte (wahlweise über die gelb (Verfrühung gegenüber Mittelwert) bzw. blau dargestellten Zellen) ergibt sich der gesuchte Werte für Δt_x .

			Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit t_i [Min./km]: $p_m(t_i, Q_j)$							
			>120	100 - 120	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20	[km/h]
			0.46	0.55	0.67	0.86	1.20	2.00	6.00	[Min/km]
	Q-Klasse bzw. Verkehrszustand Q_j	Fahrzeuganteil $w_x(Q_j)$								
Input- daten	0 - 1'000 Fz/h	13.4%	0.2014	0.7567	0.0376	0.0033	0.0005	0.0004	0.0001	[-]
	1'000 - 2'000 Fz/h	39.0%	0.1367	0.8421	0.0174	0.0027	0.0008	0.0003		[-]
	2'000 - 3'000 Fz/h	37.0%	0.0350	0.9355	0.0278	0.0017				[-]
	3'000 - 4'000 Fz/h	8.5%	0.0010	0.8679	0.1305	0.0006				[-]
	stockender Verkehr	2.2%		0.0174	0.1123	0.2619	0.3403	0.2376	0.0305	[-]
Summe										
Berechnung der mittleren Fahrzeit $t_{E,x}$	0 - 1'000 Fz/h	13.4%	0.0124	0.0559	0.0034	0.0004	0.0001	0.0001	0.0000	0.0723
	1'000 - 2'000 Fz/h	39.0%	0.0245	0.1805	0.0046	0.0009	0.0004	0.0003		0.2111
	2'000 - 3'000 Fz/h	37.0%	0.0060	0.1901	0.0069	0.0005				0.2035
	3'000 - 4'000 Fz/h	8.5%	0.0000	0.0404	0.0074	0.0000				0.0479
	stockender Verkehr	2.2%		0.0002	0.0016	0.0049	0.0089	0.0104	0.0040	0.0300
	Summe	100%	0.0429	0.4671	0.0239	0.0068	0.0093	0.0107	0.0040	0.5648
			Verfrühung		Verspätung					
Berechnung der Fahrzeit- veränderung Dt_x	0 - 1'000 Fz/h	13.4%	0.0028	0.0015	0.0005	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000	
	1'000 - 2'000 Fz/h	39.0%	0.0056	0.0049	0.0007	0.0003	0.0002	0.0002	0.0000	
	2'000 - 3'000 Fz/h	37.0%	0.0014	0.0051	0.0011	0.0002				
	3'000 - 4'000 Fz/h	8.5%	0.0000	0.0011	0.0012	0.0000				
	stockender Verkehr	2.2%		0.0000	0.0003	0.0017	0.0047	0.0074	0.0036	
	Summe	100%	0.0098	0.0126	0.0037	0.0023	0.0049	0.0077	0.0037	
			0.0224		0.0224					

Tabelle 5.2.2-2: Darstellung des Rechenganges im Referenzfall (I)

(5) Die abschliessende Umrechnung der Zeiten in Zeitkosten (Tabelle 5.2.2-3, rechte Spalte) erfolgt durch Multiplikation der Werte in den vier Spalten links davon:

Kosten für	Pers./Jahr	Länge [km]	Zeitkostensatz [Fr./Min.]	Δt [Min.]	Zeitkosten [Mio. Fr./Jahr]
Verspätung $K_{\text{spät}}$	16'300'000	10	0.48	0.0224	1.77
Verfrühung $K_{\text{früh}}$			0.16		0.59
Total K_{tot}					2.36

Tabelle 5.2.2-3: Darstellung des Rechenganges im Referenzfall (II)

(6) Die gleichen Rechenschritte mit den zugehörigen Fahrzeitverteilungen werden für den Planfall durchgeführt. Die Kostenkomponenten vor und nach dem Spurausbau sind in der nachfolgenden Tabelle 5.2.2-4 dargestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Ermittlung der Kosten für die mittlere Fahrzeit grundsätzlich analog geschieht wie in herkömmlichen Bewertungsverfahren bzw. die mittels Verkehrsmodell ermittelten Daten im Anwendungsfall verwendet werden können.

Reisezeitkomponente	Formel gemäss Kap. 5.2.1	mit 2 Richtungs-fahrspuren [Mio. CHF/a]	mit 3 Richtungs-fahrspuren [Mio. CHF/a]
$K_{\text{spät},x}$ [Mio. Fr./Jahr]	Formel 5	1.77	1.35
$K_{\text{früh},x}$ [Mio. Fr./Jahr]	Formel 6	0.59	0.45
Veränderung in $K_{\text{tot},x}$ infolge Spurausbau			0.56

1) Zeitkostensatz Verspätung 29.06 CHF/Pers-h; Zeitkostensatz Verfrühung 9.69 CHF/Pers-h; 1.566 Pers/Fahrzeug

Tabelle 5.2.2-4: Ergebnisse der Bewertung der Zuverlässigkeit für ein Anwendungsbeispiel

(7) Hinsichtlich der Reagibilität des Verfahrens gelten folgende Überlegungen: Der monetäre Wert der Fahrzeitverteilung (Zeitkosten) ist proportional zu den Zeitkostensätzen k_E , $k_{\text{spät}}$ bzw. $k_{\text{früh}}$. Dasselbe gilt in Bezug auf die Länge l des untersuchten homogenen Abschnitts sowie die Zahl der darauf verkehrenden Fahrzeuge (bzw. Personen). Interessanter ist jedoch die Abhängigkeit vom Anteil des stockenden Verkehrs. In Tabelle 5.2.2-5 ist dargestellt, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn im obigen Beispiel der Anteil des stockenden Verkehrs im Ausgangszustand (Autobahn mit 2 Richtungsfahstreifen) zu 2.2%, 5% bzw. 10% angenommen wird. Die zugehörigen Werte für den Zustand nach dem Ausbau (Autobahn mit 3 Richtungsfahstreifen) werden mit 1.3% bzw. 2.9% bzw. 5.8% gewählt. Es zeigt sich, dass die Differenz in den Zeitkosten zwischen dem Zustand vor bzw. nach dem Spurausbau stark ansteigt, wenn der Anteil des stockenden Verkehrs im Referenzfall zunimmt. Beträgt die Differenz der gesamten monetarisierten Kosten zwischen Referenz- und Planfall bei 5% stockendem Verkehr (Referenzfall) 1.4 Mio.

CHF/a, so beträgt er für 2.2% stockenden Verkehr lediglich 0.6 Mio. CHF/a, bei 10% jedoch bereits 2.8 Mio. CHF/a. Der Anteil des stockenden Verkehrs ist somit eine Grösse, welche die Kosten der Zuverlässigkeit massgeblich beeinflusst. Die Berechnung basiert hier auf DTV-Werten und einer durchschnittlichen Reisezeit auf Tagesbasis. Die Verhältnisse durchschnittliche Reisezeit, Verspätung und Verfrühung sind anders, wenn die durchschnittliche Reisezeit für einzelne Stundengruppen ermittelt wird.

Autobahn mit 2 Richtungs- fahrspuren	Kosten für	Zeitkosten [Mio. CHF/a] bei Anteil stockendem Verkehr von		
		2.2%	5.0%	10.0%
	Verspätung $K_{\text{spät}}$	1.8	3.4	6.1
	Verfrühung $K_{\text{früh}}$	0.6	1.1	2.0
	Total K_{tot}	2.4	4.5	8.1

Autobahn mit 3 Richtungs- fahrspuren	Kosten für	Zeitkosten [Mio. CHF/a] bei Anteil stockendem Verkehr von		
		1.3%	2.9%	5.8%
	Verspätung $K_{\text{spät}}$	1.4	2.3	4.0
	Verfrühung $K_{\text{früh}}$	0.5	0.8	1.3
	Total K_{tot}	1.8	3.1	5.3

Tabelle 5.2.2-5: Ergebnis einer Sensitivitätsbetrachtung mit 3 verschiedenen Fahrzeuganteilen für den stockenden Verkehr

5.2.3 Verfahrensanwendung für unterschiedliche Massnahmenarten

(1) Um das Verfahren zur Bewertung von Massnahmen entsprechend Kapitel 5.2.1 anwenden zu können, müssen die technischen Voraussetzungen wie folgt erfüllt sein:

- Es besteht ein netzbasiertes Verkehrsmodell, welches je Streckenabschnitt Geschwindigkeiten und Belastungen für einen Referenzfall und für einen Planfall enthält. Hier wird von Tagesbelastungsmodellen ausgegangen.
- Ferner sind je Streckenabschnitt die Strassenkategorien erfasst.
- Mit dem Verkehrsmodell werden die massnahmenabhängigen Veränderungen der Belastungen ermittelt.

(2) Auf dieser Basis können nun unterschiedliche Massnahmenarten bewertet werden. Zu betrachten sind dabei vor allem diejenigen Massnahmenarten, die mit der Norm 641 820 für Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenbereich bewertet werden sollen. Die Norm hat die folgenden Anwendungsbereiche (SN 641 820, *ecoplan/Metron 2005*):

„Diese Norm gilt für die Bewertung der volkswirtschaftlichen Effizienz von Infrastrukturinvestitionen im Strassenverkehr.“ Der Anwendungsbereich umfasst die „Beurteilung hauptsächlich von

Infrastrukturprojekten, jedoch auch von verkehrsorganisatorischen oder verkehrspolitischen Massnahmen z.B. Geschwindigkeitslimiten oder Abgaben)“.

(3) Die Tabelle 5.2.3-1 zeigt verschiedene Massnahmenarten und wie diese mit dem Verfahren hinsichtlich ihres Einflusses auf die Veränderung der Zuverlässigkeit bewertet werden können. Dabei ist festzuhalten, dass das hier entwickelte Verfahren aufgrund der Datenverfügbarkeit allein auf Autobahnen und Hauptstrassen angewendet werden kann und auf DTV-Modellen beruht, wie sie üblicherweise bei der Bewertung von Infrastrukturinvestitionen (dem Hauptzweck der Grundnorm) vorliegen. Unabhängig von der Frage der Zuverlässigkeit werden für die Bewertung von Massnahmen, die in Abhängigkeit von der Auslastung in ihrer Ausgestaltung variieren, wie z.B. Road Pricing oder Geschwindigkeitslimite, Stundenmodelle benötigt. Die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit können hier ebenfalls ermittelt werden, indem die Fahrzeitverteilungen auf die Q-Klassen nach Stundengruppen separat ermittelt werden. Für jede Stundengruppe kann das Verfahren einzeln angewendet werden (in Tabelle 5.2.2-3 sind dann die Personen und Fahrzeiten je Stundengruppe zu erfassen). Anschliessend werden die benötigten Jahreswerte durch Addition der Stundengruppen entsprechend der Häufigkeit der jeweiligen Stundengruppen im Jahr berechnet.

Massnahmenart	Umsetzung in Verfahren
Neubauten	<ul style="list-style-type: none"> ○ Belastungsermittlung für alle Netzelemente im Referenz- und im Planfall mittels Verkehrsmodell ○ Auswahl homogener Abschnitte im Bestandsnetz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilung Referenzfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilungen Planfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung <p>⇒ Anwendung Formel Kapitel 5.2.1</p>
Ausbauten, inkl. Spurerweiterungen	<ul style="list-style-type: none"> ○ Belastungsermittlung für alle Netzelemente im Referenz- und im Planfall mittels Verkehrsmodell ○ Auswahl Ausbauabschnitte <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilung Referenzfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilungen Planfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung <p>⇒ Anwendung Formel Kapitel 5.2.1</p>

Tabelle 5.2.3-1: Vorgehen zur Modellierung unterschiedlicher Massnahmen im Verfahren zur Zuverlässigkeit (Fortsetzung nächste Seite)

Massnahmenart	Umsetzung in Verfahren
Abgabenerhöhung (Road-Pricing ¹⁾) auf National- und Hauptstrassen, Kraftstoffpreiserhöhung etc.)	Einfluss auf die Nachfrage <ul style="list-style-type: none"> ○ Belastungsermittlung für alle Netzelemente im Referenz- und im Planfall mittels Verkehrsmodell ○ Auswahl homogener Abschnitte im Bestandsnetz <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilung Referenzfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung ▪ Ermittlung Fahrzeitverteilungen Planfall aufgrund Q-Klasse-Verteilung <p>⇒ Anwendung Formel Kapitel 5.2.1</p>
Verkehrsorganisatorische Massnahmen	
<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeitslimite¹⁾ 	Anwendung unterschiedlicher Fahrzeitverteilungen mit und ohne Massnahme (Geschwindigkeit) zur Anwendung Formel in Kapitel 5.2.1
<ul style="list-style-type: none"> • von der Verkehrsstärke abhängige Signalisation der zulässigen Höchstgeschwindigkeit¹⁾ 	Anwendung unterschiedlicher Fahrzeitverteilungen mit und ohne Massnahme (Geschwindigkeit) zur Anwendung Formel in Kapitel 5.2.1
<ul style="list-style-type: none"> • Richtungs-Fahrstreifen-Nutzung (Wechselspur) 	Anwendung unterschiedlicher Fahrzeitverteilungen mit und ohne Massnahme (Spuranzahl) zur Anwendung Formel in Kapitel 5.2.1
<ul style="list-style-type: none"> • Temporäre Nutzung von Standstreifen 	Anwendung unterschiedlicher Fahrzeitverteilungen mit und ohne Massnahme (Spuranzahl) zur Anwendung Formel in Kapitel 5.2.1
<ul style="list-style-type: none"> • Lkw-Überholverbote 	Hier nicht darstellbar: ggfs. über Erhöhung der Kapazität.
1) Bei auslastungsabhängiger Ausgestaltung sind Stundengruppen zu untersuchen und auf Jahreswerte hochzurechnen.	

Tabelle 5.2.3-1: Vorgehen zur Modellierung unterschiedlicher Massnahmen im Verfahren zur Zuverlässigkeit (Fortsetzung)

(4) Alle Massnahmen, die einen Einfluss auf die Kapazität oder auf die Geschwindigkeit haben, können somit mit dem Verfahren abgebildet werden. Hinsichtlich der Massnahmenarten ist wie folgt vorzugehen:

- Infrastrukturprojekte: Neu- und Ausbauten von Strassen

Im Planfall werden die neuen hinzukommenden Anlagenteile im Verkehrsmodell ergänzt. und die Belastungen mittels des Verkehrsmodells je Streckenabschnitt im Planfall ermittelt. Die unterschiedlichen Fahrzeitverteilungen entsprechend der Q-Klassen-Verteilung können ermittelt und die Fahrzeiten aufgrund der Zuverlässigkeit zwischen Referenzfall und Planfall miteinander verglichen werden.
- Abgabenerhöhungen

Abgabenerhöhungen reduzieren die Nachfrage. Damit ändern sich die Q-Klassen und somit die zugrunde zulegenden Fahrzeitverteilungen im Planfall. Für homogene Abschnitte mit grösseren Änderungen der Belastung (>20%) kann das Verfahren entsprechend Kapitel 5.2.1 angewendet werden.

- Verkehrsorganisatorische Massnahmen: Hier ist wie folgt zu unterscheiden:
 - Massnahmen, die die zulässige Geschwindigkeit verändern:

Hier werden für die Abschnitte, auf denen die Geschwindigkeit verändert wird, die Fahrzeitverteilungen je für die unterschiedlichen zulässigen Geschwindigkeiten entsprechend der Massnahme verwendet. Werden wechselnde Geschwindigkeiten signalisiert, sind die Fahrzeitverteilungen für die unterschiedlichen Zustände (z.B. 80 km/h, 100 km/h, 120 km/h), entsprechend ihrem Anteil an der Jahresstundenzahl zu berücksichtigen.
 - Massnahmen, die die Kapazität verändern:

Hier werden im Planfall die Fahrzeitverteilungen für die unterschiedlichen Spuranzahlen entsprechend der Massnahme verwendet. Werden zeitlich flexible Massnahmen (z.B. Standstreifennutzung in hoch belasteten Zeiten) bewertet, sind die Fahrzeitverteilungen für die unterschiedlichen Zustände (z.B. 2-spurig, 3-spurig etc), entsprechend ihrem Anteil an der Jahresstundenzahl zu berücksichtigen.

LKW-Überholverbote gehören an sich auch in diese Kategorie: Sie dienen zur Erhöhung der Kapazität und müssten somit in Spuranzahlen umgerechnet werden. Ein solcher Ansatz ist im Anwendungsfall zu entwickeln.

(5) Bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich ist auch der routen- und verkehrsträgerverlagerte Verkehr und der Neuverkehr (veränderte Zielwahl, massnahmenbedingt neu generierte Fahrten) zu berücksichtigen, da sich aufgrund dieser Wirkungen die Q-Klasse ändern kann. Diese Wirkungen können mit den üblichen Verkehrsmodellen und Verfahren in der Q-Klassen-Ermittlung berücksichtigt werden. Zur Bewertung der Veränderung der Zuverlässigkeit ist jeweils die Nachfrage des Referenzfalls und des Planfalls zu betrachten (ggfs. führt massnahmenbedingter Neuverkehr zu keiner Veränderung der Zuverlässigkeit im Planfall gegenüber dem Referenzfall).

6 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

(1) In den bisher angewendeten Verfahren zur Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich wurde lediglich eine Veränderung der belastungsabhängigen durchschnittlichen Reisezeit berücksichtigt. Dabei wurden Verteilungen der Fahrzeit nicht berücksichtigt. Diese Vorgehensweise führte dazu, dass verschiedene Massnahmenarten, wie zum Beispiel verkehrsorganisatorischer Art, mit den Verfahren nicht adäquat abgebildet werden konnten.

(2) Mit dem hier entwickelten Verfahren ist es nun möglich, Veränderungen der Zuverlässigkeit bei der Bewertung von Massnahmen im Verkehrsbereich zu berücksichtigen:

- Das Verfahren ist anwendbar für National- bzw. Hauptstrassen im motorisierten Individualverkehr. Dabei können Neu- und Ausbaumassnahmen (inkl. Spurerweiterungen), preispolitische und verkehrsorganisatorische Massnahmen abgebildet werden.
- Für innerstädtische Strassen, die durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Betriebszuständen im Individualverkehr geprägt sind (Ampeln, Verkehrsbeschränkungen, Verkehrsregime mit Parkierungen etc.), gelten andere Mechanismen, weshalb die hier ermittelten Verteilungen im innerstädtischen Bereich so nicht anwendbar sind.

Veränderungen für den Öffentlichen Verkehr können mit dem Verfahren nicht ermittelt werden.

(3) Das Verfahren und die damit erzielten Ergebnisse sind wie folgt einzuschätzen:

- Es kann nicht berücksichtigt werden, ob eine Verfrühung oder eine Verspätung durch die Wahl einer entsprechenden Geschwindigkeit gewollt ist oder ob sie weitgehend fremdbestimmt ist. Inhaltlich gibt es keinen Grund, eine selbstbestimmte Verfrühung bzw. Verspätung durch einen Aufschlag im Vergleich zur mittleren Fahrzeit zu bewerten. Allerdings wird das Bewertungsverfahren dank dieser Annahme einfacher. Da vermutlich nur ein kleiner Prozentsatz aller Verkehrsteilnehmer bewusst eine längere als die mittlere Fahrzeit anstrebt und da die Verfrühung zudem nur wenig Prozent zum monetären Wert beiträgt, ist der durch diese Vereinfachung gemachte Fehler gering.
- Es wird vereinfachend angenommen, dass die erwartete Fahrzeit, worauf sich die Monetarisierung bezieht, dem Mittelwert aller Fahrzeiten entspricht (Tages- oder Stundenmittel, je nach verfügbarem Verkehrsmodell).
- Die vorliegenden Wertansätze würde eine Behandlung des Strassengüterverkehrs nur durch die Berücksichtigung des Fahrers mit dessen Zeitkostensatz (entsprechend Personenverkehr) ermöglichen. Der Nutzen einer Veränderung der Zuverlässigkeit z.B. auf die Logistik kann mit den vorliegenden Angaben nicht abgeschätzt werden. Aus diesem Grund wird auf die weitergehende Betrachtung des Güterverkehrs verzichtet.
- Als Fazit der Untersuchungen zu den vorhandenen Abhängigkeiten zwischen Fahrzeitverteilungen auf mehreren aufeinander folgenden Abschnitten ist festzuhalten, dass die effektiven Fahrzeitverteilungen breiter sind, als wenn die Summe der Abweichungen über die Teilabschnitte betrachtet wird. Dies bedeutet, dass hier die Verfrühungs- und Verspätungsrisiken unterschätzt werden, wenn bei einer Aggregation der Fahrzeitverteilungen auf Teilabschnitten von der vereinfachenden Annahme unabhängiger Fahrzeitverteilungen ausgegangen wird.

(4) Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich der folgenden Punkte:

- Behandlung von Knoten, den weiteren Strecken im untergeordneten Netz und der Berücksichtigung von hintereinander geschalteten Fahrzeitverteilungen.
- Hinsichtlich des Öffentlichen Verkehrs sind aufgrund der anderen Produktionscharakteristik Verfahren zu entwickeln, die vor allem auch die unternehmensbezogene betriebswirtschaftliche Sichtweise mit integrieren. Unserer Einschätzung nach ist dies nicht auf Ebene eines standardisierten Vorhabens möglich. Hier sind betreiberspezifische Verfahren notwendig.
- Die Wertgerüste zur monetären Bewertung einer Veränderung der Zuverlässigkeit sind auf eine breitere empirische Basis zu stellen. Dabei ist neben der absoluten Höhe der Wertansätze auch deren Verlauf in Abhängigkeit von der absoluten Verfrüfung oder Verspätung sowie fahrtzweckspezifische Differenzierung zu prüfen.
- Im Rahmen einer Befragung zur Ermittlung der Wertgerüste sind auch Angaben zur erwarteten Reisezeit zu erheben, wie dies im Forschungsantrag vorgesehen war.

A1 Literaturverzeichnis

A1.1 Im Bericht zitierte Literatur

- Abay, 1984:* Kosten - Nutzen - Analyse für Verkehrsinvestitionen, Administration und Druck AG, Zürich.
- Arroyo, Kornhauser, 2005:* Modeling Travel Time Distributions on a Road network, Washington, January 2005.
- Bates, Polka et al., 2001:* The valuation of reliability of personal travel, Transportation Research E 37(2-3), 191-229, zitiert nach Li (2004)
- Becker, 1965:* A theory of the allocation of time, Economic Journal, 75 (4) 493-517.
- Ben-Akiva, Lerman, 1985:* Discrete Choice Analysis, MIT Press, Cambridge.
- Bernard, Axhausen, 2006:* Proposal for a new design load concept for transport infrastructures (Main focus: highways), Conference Paper 86th Annual TRB Meeting, Washington D.C., January 2006.
- Blach, Bates, Fearon et al., 2004:* Research programme measures the variability of urban journey times, in: Traffic Engineering & Control (tec), December 2004, S. 409 – 415.
- Bolis, Maggi, 1999:* Modelling the transport und logistics choice of a shipper, Materialienband M8 des Nationalen Forschungsprogramms NFP41 Verkehr und Umwelt, Bern, 1999.
- Brilon, Regler, Geistefeldt, 2005:* Zufallscharakter der Kapazität von Autobahnen und praktische Konsequenzen, in: Strassenverkehrstechnik 3, 2005, S. 136-144 und 195-201.
- Bundesverkehrswegeplan Deutschland 2003:* Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Bundesverkehrswegeplan 2003, Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertungsmethodik, Berlin, Februar 2002.
- Clark, Watling, 2005:* Modelling network travel time reliability under stochastic demand, in: Transportation Research Part B 9 (2005), S. 119 – 140.

- Dasen, Bischofberger, 2005*: Wirkungsanalyse der Standstreifenumnutzung mit Hilfe einer Verkehrsflusssimulation, in: *strasse und verkehr* Nr. 1-2, Januar-Februar 2005, S. 28-31.
- De Jong, Kroes et al. 2004* : The value of Reliability, Proceedings of the European Transport Conference.
- De Palma, Fontana, Picard, 2003*: *Departure time choice: estimation results and simulation to Paris area*, 10th International Conference on Travel Behavior, Lucerne.
- De Serpa, 1971*: A theory of the economics of time, *Economic Journal*, 81 (6) 828-845.
- Dietrich, Rotach, Boppart, 1998*: Strassenprojektierung, IVT Zürich, 1998.
- ecoplan/Metron 2005*: Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, 8. Entwurf, Gutachten der Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute, Bern, Brugg, 9. Juni 2005.
- Engel, Brändli, 1990*: Grundlagen des Öffentlichen Verkehrs, Block II Betrieb, Thema E Betriebsführung, Kapitel 1 Schwachstellenanalyse.
- Ernst Basler + Partner AG, 2004*: Volkswirtschaftlicher Nutzen des Anreizsystems von Strassen, VSS-Forschungsauftrag 2001/101, Zürich, 2004.
- Ernst Basler + Partner AG, 2005*: Verlustzeitenanalyse Neue Jonastrasse, Gutachten im Auftrag der Stadt Rapperswil und der Gemeinde Jona, Zürich, 11. April 2005
- EWS, 1997* Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung: Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen (EWS), Kommentar zum Entwurf, Ausgabe 1997.
- Gajewski, Rilett, 2005*: Estimating Link Travel Time Correlation: An Application of Bayesian Smoothing Splines, in: *Journal of Transportation and Statistics* V7, N2/3 2003, S. 53- 70.
- Gaver, 1968*: Headstart strategies for combating congestion, *Transportation Science*, 2 (2) 172-181.
- Gottardi, 2000*: Der Wert der Zeit im Güterverkehr, SVI 1998/089, 2000.
- König, 2004*: Messung und Modellierung der Verlässlichkeit des Verkehrsangebots - Experimente mit Schweizer Befragten, Dissertation, ETH Zürich.
- König, Axhausen, 2002*: Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Endbericht für SVI 44/00, Zürich, Oktober/November 2002.

- Knight, 1974:* An approach to the evaluation of changes in travel unreliability: A 'safety margin' hypothesis, *Transportation*, 3, 393-408.
- Lam, Small, 2001:* The value of time and reliability: measurement from a value pricing experiment, *Transportation Research E* 37 (2-3), 231-251, zitiert nach Li (2004).
- Li, -2004:* Examining travel time variability using AVI data, Institute of Transport Studies, The Australian Key Centre in Transport Management.
- Meier-Eisenmann, Abay, 2001:* Zweckmässigkeitskriterien für Infrastruktureinrichtungen von Strassenverkehrstelematik-Systemen, Forschungsauftrag 10/00 (Aramis-Nummer 1999/257) auf Antrag des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), 12. Juni 2001.
- Noland, Small, 1995:* Simulating travel reliability, *Regional Science and Urban Economics*, 28, 535-564.
- Ortuzar, Willumsen, 1994:* Modelling Transport, John Wiley & Sons, Chichester.
- Polak, 1996:* An overview of recent literature on modelling effects travel time variability, Arbeitsbericht, Centre for Transport Studies, Imperial College London, London.
- RVS2.22, 2002:* Österreichische Forschungsgemeinschaft Strasse und Verkehr (FSV), Arbeitsgruppe „Grundlagen des Verkehrswesens“, Arbeitsausschuss „Wirtschaftlichkeit und Finanzierung“; Entscheidungshilfen Nutzen-Kosten-Untersuchungen im Verkehrswesen; RVS2.22 Merkblatt, Ausgabe November 2002.
- Scottish Guidance, 2003:* Scottish Transport Appraisal Guidance, Version 1.0, September 2003.
- Small, 1982:* The scheduling of consumer activities: Work trips, *American Economic Review*, 72 (3) 467-479.
- Sun, Arr et al., 2003:* Vehicle reidentification as method for deriving travel time and travel time distribution, *Transportation Research Record* (Nr. 1826), 25-31, zitiert nach Li (2004).
- Turochy, Smith, 2002:* Measuring variability in traffic conditions by using archived traffic data , *Transportation Research Record* (Nr. 1804), 168-172, zitiert nach Li (2004).
- Vickrey, 1969:* Congestion theory and transport investment, *American Economic Review*, 59 (2), 251-261.

VSS, 2006: Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr, Grundnorm, SN 641 820, Zürich, 2006.

A1.2 Weitere, in der Vorstudie zitierte Literatur

- Abay, G. und K.W. Axhausen (2000) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, 42/00, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Abdel-Aty, M.A., R. Kitamura und P.P. Jovanis (1995) Investigating the effect of travel time variability on route choice using repeated measurement stated preference data, *Transportation Research Record*, 1493, 39-45.
- Abkowitz, M.D. (1981) Understanding the Effect of Transit Service Reliability on Work-Travel Behavior, *Transportation Research Record*, 794, 33-41.
- Ackermann, T. (1998) Die Bewertung der Pünktlichkeit als Qualitätsparameter im Schienenpersonenverkehr auf Basis der direkten Nutzenmessung, *Forschungsarbeiten des Verkehrswissenschaftlichen Instituts an der Universität Stuttgart*, 21, Universität Stuttgart, Stuttgart.
- Alba, J.W. und J.W. Hutchinson (2000) Knowledge Calibration: What consumers know and what they think they know, *Journal of Consumer Research*, 27 (9) 123-156.
- Armstrong, P., R. Garrido und J.de D. Orthuzar (2001) Confidence intervals to bound the value of time, *Transportation Research E*, 37 (2-3) 143-161.
- Athanassiou (2000) Departure time choice and traffic equilibria with MNL and OGEV, Centre for Transport Studies, University of London, London.
- Axhausen, K.W. (1989) Direkte Nutzenmessung - Ein Ansatz zur Schätzung von Entscheidungsmodellen - Zwei Anwendungen, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, 60 (4) 323-344.
- Axhausen, K.W. (1995) Was sind die Methoden der Direkten Nutzenmessung, *Straßenverkehrstechnik*, 39 (5) 210-218.
- Axhausen, K.W., H. Köll und M. Bader (1998) Stated Preferences and Conjoint Analysis: A comparison using mode choice, Vortrag bei 4th NECTAR conference, Tel-Aviv, April 1998.
- Axhausen, K.W., T. Haupt, B. Fell und U. Heidl (2001) Searching for the rail bonus. Results from a panel SP/RP study, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1 (4) 20-29.
- Axhausen, K.W., W. Bogner, M. Herry, H. Verron, H. Volkmar, W. Wichmann und D. Zumkeller (1996) Hinweise zur Messung von Präferenzstrukturen mit Methoden der Stated Preferences, FGSV, Köln.
- Banfi, S. (1995) *Wo kaufen die Zürcherinnen und Zürcher ihre Lebensmittel?*, Verlag Rüegger, Zürich.
- Barth, M., P. Rüenaufener, M. Lamp, W. Salz und P. Hasenbach (1999) *IuK-Technologien und Verkehr*, Projektträger Informationstechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Köln.
- Bateman, I.J., T.C. Carson, B. Day, M. Hanemann, N. Hanley, T. Hett, M. Jones-Lee, G. Loomes, S. Mourato, E. Özdemiroglu, D.W. Pearce, R. Sudgen und J. Swanson (2002) *Economic valuation with stated preference techniques*, Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Bates, J.J. (1987) Measuring travel time values with a discrete choice model: A note, *Economic Journal*, 97 (2) 493-498.

- Bates, J.J. (1996) Time period choice modelling - Final report, Department of Transport - HETA Division, London.
- Bates, J.J. (2000) Reliability – The missing model variable, in D. Hensher (Hrsg.) *Travel Behavior Research - The Leading Edge*, 527-546, Elsevier, Oxford.
- Bates, J.J., P.M. Jones, J.W. Polak und X.-L. Han (1997) The investigation of punctuality and reliability: Re-analysis of some existing data sets, Transport Studies Group, University of Westminster, London.
- Bates, J.J., J.W. Polak, P.M. Jones und A.J. Cook (2001) The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research Part E*, 37 (2-3) 191-221.
- Batley, R.P. und R.G. Clegg (2003) Driver route and departure time choices: The evidence and the models, *Working paper*, Institute for Transport Studies, University of Leeds, Leeds.
- Bierlaire, M. (1995) Enquêtes de préférences révélées et déclarées concernant le choix modal des voyageurs du corridor Lisbonne - Porto - Braga, Groupe de recherche sur les transports, Département de mathématique, Facultés Universitaires ND de la Paix, Namur.
- Bierlaire, M., K.W. Axhausen und G. Abay (2001) The acceptance of modal innovations: The case of Swissmetro, Vortrag bei 1st Swiss Transportation Research Conference, Ascona.
- Black, I.G. und J.G. Towriss (1993) Demand effects of travel time reliability, Cranfield University, Cranfield.
- Blayac, T. (2002) Value of travel time: a theoretical legitimization of some Box-Cox transformations in discrete choice models, Vortrag bei 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Blayac, T. und A. Causse (2001) Value of time: a theoretical legitimization of some nonlinear representative utility in discrete choice models, *Transportation Research B*, 35 (4) 391-400.
- Bossel, H. (1994) *Modellbildung und Simulation*, Vieweg, Braunschweig.
- Bradley, M.A. und A.J. Daly (1997) Estimation of logit choice models using mixed stated-preference and revealed-preference information, in P. Stopher und M.L. Gosselin (Hrsg.) *Understanding Travel Behaviour in an Era of Chance*, 209-231, Pergamon, Oxford.
- Brownstone, D., D.S. Bunch und K. Train (2000) Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles, *Transportation Research B*, 34 (5) 315-338.
- Brownstone, D., A. Ghosh, T.F. Golob, C. Kazimi und D. Van Amelsfort (2003) Drivers' willingness-to-pay to reduce travel time: Evidence from the San Diego I-15 congestion pricing project, *Transportation Research A*, 37 (2) 373-387.
- Bundesamt für Raumentwicklung und Bundesamt für Statistik (2001) *Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2000 zum Verkehrsverhalten*, Bern and Neuenburg.
- Calfee, J. und C. Winston (1998) The value of automobile travel time: Implications for congestion policy, *Journal of Public Economics*, 69 (2) 83-102.
- Chaumet, R. und B. Erismann (1995) TGV Rhin-Rhône: Conséquences du système sur le trafic des voyageurs avec la suisse, Ernst Basler und Partner, Zollikon.
- Chaumet, R., P. Cerwenka, F. Bruns, B. Erismann, P. Kern und M. Stern (2000) Evaluation von Massnahmen zum Ausbau der Schieneninfrastruktur, Ernst Basler und Partner, Zürich.
- Chen, A. und J. Zhaowang (2002) Travel time reliability with risk-sensitive travellers, Vortrag bei 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Cherchi, E. und J. de D. Orthuzar (2003) On fitting mode specific constants in the presence of new options in RP/SP models, Vortrag bei 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Cho, J. R. (2003) Estimating confidence intervals of value of travel time, Vortrag bei 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.

- Committee, for a study for a future strategic highway research program (2001) Reliability: Providing a highway system with reliable travel times, in Transportation Research Board (Hrsg.) *Transportation Research Board Special Report 260*, National Research Council (U.S).
- Cook, A.J., P.M. Jones, J.J. Bates und M. Haight (2000) Improved methods of representing travel time reliability in SP experiments, Centre for Transportation Studies, Imperial College, London.
- Copley, G. und P. Murphy (2002) Understanding and valuing journey time variability, Vortrag bei European Transport Conference 2002, Cambridge.
- Daly, A., S. Hess, J. W. Polak, G. Hyman and C. Rohr (?) Modelling departure time and mode choice, not published yet.
- Domencich, T.A. und D. McFadden (1975) *Urban Travel Demand - A Behavioral Analysis*, Nord Holland, Amsterdam.
- Fermaud, Ch (1989) Können wir uns Verkehrsstaue leisten?, *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 107 (24) 638-643.
- Fowkes, T. und C. Nash (1987) Coping with errors and biases in data collection: Issues in the analysis of travel surveys, Vortrag bei 15th PTRC Summer annual meeting, Cambridge.
- Fujii, S. und R. Kitamura (2000) Framing uncertain travel times: A re-examination of departure time choice, Vortrag bei 9th IATBR Conference, Gold Coast.
- Gaver, D.P. (1968) Headstart strategies for combating congestion, *Transportation Science*, 2 (2) 172-181.
- Giuliano, G. (1989) Incident characteristics, frequency and duration on a high volume urban freeway, *Transportation Research A*, 23 (5) 387-396.
- Greene, W.H. (2002) *Limdep version 8.0 User's Manual*, Econometric Software, Bellport.
- Hague, Consulting Group (1990) The Netherlands value of time study: Final report, Dienst Verkeerskunde, Rijkswaterstaat, Leiden.
- Hague, Consulting Group (1999) The value of travel time, Department of Transport (UK), The Hague.
- Hague, Consulting Group, Halcrow Fox und Empirical College London (2000) Modelling peak spreading and trip retiming - Final report, Department of Environment, Transport and the Regions, London.
- Hall, R.W. (1993) Travel outcome and performance: The effect of uncertainty on accessibility, *Transportation Research B*, 17 (4) 275-290.
- Heggie, I.G., Hrsg. (1976) *Modal choice and the value of travel time*, Clarendon Press, Oxford.
- Hensher, D. (2000) The valuation of commuter travel time savings for car drivers: Evaluating alternative model specifications, *Working paper*, Institute of Transport Studies, University of Sydney, Sydney.
- Hensher, D. (2001) The behavioural valuation of travel time savings for car, light commercial and heavy vehicle travel in the Sydney Metropolitan Area: The Cross-City tunnel project, *Working paper*, Institute of Transport Studies, University of Sydney, Sydney.
- Hensher, D.A. (2001) The sensitivity of the valuation of travel time savings to the specification of unobserved effects, *Transportation Research E*, 37 (2-3) 129-142.
- Hensher, D. (2003) Revealing Differences in willingness to pay due to the dimensionality of stated choice designs: An initial assessment, *Working paper*, Institute of Transport Studies, University of Sydney, Sydney.
- Hensher, D.A. und W.H. Green (2001) The mixed logit model: The state of practice and warnings for the unwary, Institute of Transport Studies, University of Sydney, Sydney.
- Hensher, D.A. und W.H. Green (2002) Specification and estimation of the alternative normalisations, *Transportation Research Part B*, 36 (1) 1-17.

- Hultkrantz, L. und R. Mortazavi (2001) Anomalies in the value of travel-time changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, 35 (2) 285-300.
- Infras (1998) Staukosten im Strassenverkehr, Bundesamt für Strassenwesen, Bern.
- Jackson, B.W. und J.V. Jucker (1981) An empirical study of travel time variability and travel choice behaviour, *Transportation Science*, 16 (4) 460-475.
- Jara-Diaz, S. (2000) Allocation and valuation of travel time savings, in D.A. Hensher und K. Button (Hrsg.) *Handbook of Transportation*, 303-319, Pergamon Press, Oxford.
- Jara-Diaz, S. und C.A. Guevara (2003) Behind the subjective value of travel time savings, *Journal of Transport Economics and Policy*, 37 (1) 29-46.
- Jiang, M.L. und T. Morikawa (2003) Empirical analysis on variation of value of travel time savings, Vortrag bei 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Joong, R.C. und D.S. Sunduck (2003) Estimating confidence interval of value of travel time, Vortrag bei 82th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Jovicic, G. und C. O. Hansen (2003) A passenger travel demand model for Copenhagen, *Transportation Research A*, 37 (2) 333-349.
- Karasmaa, N. (2001) The spatial transferability of the Helsinki metropolitan area mode choice models, Vortrag bei 9th WCTR, Seoul.
- Kentner, W. (1970) Zeitbewertung im Personenverkehr, *Zeitschrift für Verkehrswissenschaft*, 41 (1) 93-119.
- Knurri, J. und M. Pursula (1995) Finnish preliminary value of time study, Helsinki University of Technology, Helsinki.
- König, A. und K.W. Axhausen (2003) Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable: Vorstudie, *SVI Forschungsberichte*, 44/00, Bundesamt für Strassen, Bern.
- Koskenoja, P.M. (1997) Punctual arrival, commuter behavior and willingness to pay, National Institute of Statistical Sciences, Research Triangle Park, NC.
- Koskenoja, P.M. (1997) Accounting for uncertain travel time: A logit model assuming a weighted utility function, National Institute of Statistical Sciences, Research Triangle Park, NC.
- Kraft, E.R. (1995) The link between demand variability and railroad service reliability, *Transportation Research Forum*, 34 (2) 27-42.
- Laager, F. (1978) *Entscheidungsmodelle*, Verlag Industrielle Organisation, Zürich.
- Lam, T.C. und K.A. Small (2001) The value of time and reliability: Measurement from a value pricing experiment, *Transportation Research Part E*, 37 (2-3) 231-251.
- Lo, H.K. und Y.K. Tung (2001) Network design for improving trip time reliability, Vortrag bei 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Loo, B.P.Y. (2002) Role of stated preference methods in planning for sustainable urban transportation: State of practice and further prospects, *Journal of Urban Planning and Development*, 128 (4) 210-224.
- Lüthi, W. (1980) *Monetäre Quantifizierung von Zeitgewinnen*, Lang Druck AG, Liebefeld.
- Maggi, R., M. Peter, J. Mägerle und M. Maibach (2000) Der Nutzen des Verkehrs, *Berichte des NFP 41 "Verkehr und Umwelt"*, D 10, Bern.
- Maier, G. und P. Weiss (1990) *Modelle diskreter Entscheidungen*, Springer-Verlag, Wien.
- McDonald, J. F. (1979) *Economic analysis of an urban housing market*, Academic Press, Inc., New York.
- Noland, R.B. (1999) Information in a two-route network with recurrent and non recurrent congestion, in R. Emmerink und P. Nijkamp (Hrsg.) *Behavioural and network impacts of driver information systems*, 129-144, Ashgate Publishing, Aldershot.

- Noland, R.B. (2000) Simulated relationships between highway capacity, transit ridership and service frequency, *Journal of Public Transportation*, 3 (1) 2-15.
- Noland, R.B. und K.A. Small (1995) Travel time uncertainty, departure time choice and the cost of morning commutes, *Transportation Research Record*, 1493, 150-158.
- Noland, R.B. und J.W. Polak (2002) Travel time variability: A review of theoretical and empirical Issues, *Transportation Reviews*, 22 (1) 39-54.
- Noland, R.B., K.A. Small, P. Koskenoja und X. Chu (1998) Simulating travel reliability, *Regional Science and Urban Economics*, 28 (5) 535-564.
- Norheim, B. (2001) Stated preference surveys - Do we have confident tests of the results?, Vortrag bei International Conference on Transport Survey Quality and Innovation, Kruger Park, South Africa.
- Pagliara, F. (2002) Residential location choice behaviour in Oxfordshire, Vortrag bei European Transport Conference 2002, Cambridge.
- Palma, A. de und R. Lindsey (2002) Private roads, completion and incentives to adopt time-based congestion tolling, *Journal of Urban Economics*, 52 (2) 217-241.
- Pells, S. (1987) The evaluation of reductions in the variability in travel times on the journey to work, Vortrag bei 15th PTRC Summer Annual Meeting, Brighton.
- Polak, J.W. (1987) Travel time variability and departure time choice: A utility theoretic approach, Transportation Studies Group, Polytechnic of Central London, London.
- Polak, J.W. (1996) An overview of recent literature on modelling effects travel time variability, Centre for Transport Studies, Imperial College London, London.
- Polak, J.W. (2000) Analysis of the LATS 2001 pilot household travel diary survey, Centre for Transportation Studies, Imperial College, London.
- Polak, J.W. (2002) Some reflections on the application of equilibrium scheduling theory, Centre for Transport Studies, Imperial College, London.
- Polak, J.W. und X.L. Han (2000) PATSI - Preferred arrival Times synthesised by imputation, *Working paper*, Centre for Transport Studies, Imperial College, London.
- Polak, J.W. und F. Oladeine (2002) An empirical model of travellers' day-to-day learning in the presence of uncertain travel times, *Working paper*, Centre for Transport Studies, Imperial College, London.
- Polydoropoulou, A. und M.E. Ben-Akiva (2001) Combined RP/SP nested logit access/mode choice model for multiple mass transit technologies, Vortrag bei 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Prasetyo, I., H. Yoshino, D Fukuda und Tetsuo Yai (2003) Analysis of travel time saving benefit by understanding individual needs and value of activity time, Vortrag bei, Washington, D.C.
- Prashker, J.N. (1979) Mode choice models with perceived reliability measures, *Transportation Engineering Journal*, 49 (3) 251-262.
- Préau, S. (2000) Imputation Methods for Long Distance Diaries: A Test on a Austrian Survey, Centre for Transportation Studies, Imperial College, London.
- Prüfungskommission (1981) Bericht zur Überprüfung von Nationalstrassenstrecken (NUP), Bern.
- Reinschmidt, K.F. (2002) Aggregate sozial discount rate derived from individual discount rates, *Management science*, 48 (2) 307-312.
- Richardson, A.J. (2002) A simulation study of the estimation of individual specific values of time using an adaptive stated preference survey, Vortrag bei 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Rietveld, P. (2003) Valuation of travel time reliability and on route traveller information in multi-modal personal travel, Vortrag bei Euroworkshop Behavioural Responses to ITS, Eindhoven.

-
- Saelensminde, K. (1999) Validation of non market goods for use in cost-benefit analysis, Institute of Transport Economics, Norwegian Centre for Transport Research, Oslo.
- Saelensminde, K. (2001) Inconsistent choices in Stated Choice data, *Transportation*, 28 (6) 269-296.
- Sandor, Z. und M. Wedel (2002) Profile constructions in experimental choice designs for mixed logit models, *Marketing Science*, 21 (4) 455-475.
- Senna, L. (1991) Valuing Travel Time Variability - A New Approach, Vortrag bei 23rd UTSG Annual Conference, Nottingham fehlt!
- Senna, L.A.D.S. (1994) The influence of travel time variability on the value of time, *Transportation*, 21 (2) 203-228.
- Small, K.A. (1982) The scheduling of consumer activities: Work trips, *American Economic Review*, 72 (3) 467-479.
- Small, K.A. und J. Yan (2000) Diversity in the valuation of travel time and reliability, University of California Transportation Center, Irvine.
- Small, K.A. und T.C. Lam (2001) The Value of Time and Reliability: Measurement from a Value Pricing Experiment, *Transportation Research Part E*, 37 (2-3) 231-251.
- Steierwald, G. und H.D. Künne (1994) *Stadtverkehrsplanung*, Springer-Verlag, Berlin.
- Strathman, J.G., K.J. Dueker, T. Kimpel, R.L. Gerhart, K. Turner, P. Taylor, S. Callas und D. Griffin (2000) Service Reliability Impacts of Computer-Aided Dispatching and Automatic Vehicle Location Technology: A Tri-Met Case Study, *Transportation Quarterly*, 54 (3) 85-102.
- Suter, S. (2000) Wettbewerb, Kostenwahrheit und Finanzierung im Verkehr, *Synthesen des NFP 41 "Verkehr und Umwelt"*, S4 Bern.
- Swait, J. (2001) A non-compensatory choice model incorporating attribute cutoffs, *Transportation Research B*, 35 (6) 903-928.
- Talati, A., A. König und K.W. Axhausen (2002) A set of quality controls for stated preference data, *Arbeitsberichte Verkehrs- und Raumplanung*, 125, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich, Zürich.
- Timmermans, H. (2003) Using values of travel time savings for toll roads: Avoiding some common errors, *working paper*, Urban Planning Group, University of Eindhoven, Eindhoven.
- van Exel, J. (2002) Off the beaten track - An evaluation of public transport commuting behaviour using network- and trip-based reliability information, *Transportation Reviews*, 22 (3) 3-35.
- van Exel, J. und P. Rietveld (2001) Inertia of travel behaviour – a stated preference analysis of commuting, Vortrag bei Nectar Conference No 6, Helsinki.
- Vrtic, M., K.W. Axhausen, R. Maggi und F. Rossera (2003) Verifizierung von Prognosemethoden im Personenverkehr Bericht an SBB und Bundesamt für Raumentwicklung (ARE): IVT, ETH Zürich and USI Lugano, Zürich und Lugano.
- Wardman, M. (1998) The value of travel time, *Journal of Transport Economics and Policy*, 32 (3) 285-316.
- Wardman, M. (2001) Advances in the valuation of travel time savings, *Transportation Research E*, 37 (2-3) 85-90.
- Zhang, J., A.M. Rufolo, K.J. Duecker und J.G. Strathmann (2002) The effects of roadway supply on peak narrowing, *Transportation Quarterly*, 56 (3) 129-145.

A2 Vertiefende Erörterung zum Öffentlichen Verkehr

A2.1 Schiene A2-2

A2.2 Strasse A2-8

A2.1 Schiene

A2.1.1 Einleitung

Im Rahmen dieses SVI-Projektes wurden unter anderem die Verspätungswahrscheinlichkeit und die Verspätungsverteilung für Züge im schweizerischen Schienennetz ermittelt. Anhand einer Typisierung der Strecke und der Bahnhöfe wurde geprüft, inwieweit allgemein gültige Charakteristiken zwischen Zuverlässigkeit und Typisierungen erfasst und beschrieben werden können. Dazu wurden hier mit dem an der ETH entwickelten Tool OpenTimeTable und den von der SBB zur Verfügung gestellten Daten aus dem Fahrplanjahr 2004 die gefahrenen Zugläufe analysiert. Ausgewählt zur Analyse wurden primär Schnellzüge/Inter-Regios in verschiedenen Beispielkorridoren.

A2.1.2 Typisierung der Strecken und Bahnhöfe

(1) Um eine allgemein gültige Beschreibung zu ermöglichen, wird eine Typisierung der Strecken und der Bahnhöfe vorgenommen.

(2) Um die Strecke zu typisieren, wären folgende Einflussgrößen zu bestimmen:

- Auslastung
- Mögliche Kapazität bei gegebenem Zugsmix
- Reserven (eines einzelnen Zuges und gegenüber den anderen Zügen)
- Zugsmix (Anteil Regional- und Güterverkehr)
- Fahrplangestaltung (Bündelung der Züge)
- Anzahl Gleise
- Art des Zielknotens (Engpässe vor dem Zielbahnhof)
- Anzahl Kreuzungsmöglichkeiten bei Einspurabschnitten
- Durchschnittliche und massgebende Blocklänge
- Fahrzeit

(3) Für die Bahnhöfe wären folgende Parameter zu bestimmen:

- Umsteigerelationen
- Minimale Wartezeit bei verspäteten Zügen
- Anzahl der Zuläufe
- Komplexität, Engpässe bei den Zuläufen
- Reservezeiten im Bahnhof
- Art des Bahnhofes (Knoten, einfacher Umsteigebahnhof, Haltepunkt)
- Vorgänge bei den Zügen (Vereinigung oder Trennung von Zügen)

- Weitere Umsteigerelationen

(4) **Es können jedoch nur wenige Einflussgrößen wirklich quantifiziert werden.** Etliche Unterlagen existieren gar nicht, oder die Parameter wären nur mit immensem Aufwand bestimmbar. **Vor allem die Reservezeiten und die Auslastung (im Verhältnis zur möglichen Kapazität, die sehr von der technischen Ausstattung einer Strecke abhängt) wären wichtige Einflussfaktoren für welche keine Daten vorliegen.**

A2.1.3 Ausgewählte Korridore

(1) Um erste grobe Abschätzungen zu erstellen, wurden folgende Korridore ausgewertet:

- Bern – Konolfingen – Langnau – Schüpfheim – Wolhusen – Luzern
- Lausanne – Yverdon – Neuenburg – Biel – Solothurn – Olten
- Zug – Arth-Goldau – Bellinzona – Lugano
- Lausanne- Vevey – Montreux – Aigle – Martigny – Sion

Für die Untersuchungen wurden alle Züge eines Korridors zwischen 7 und 19 Uhr analysiert.

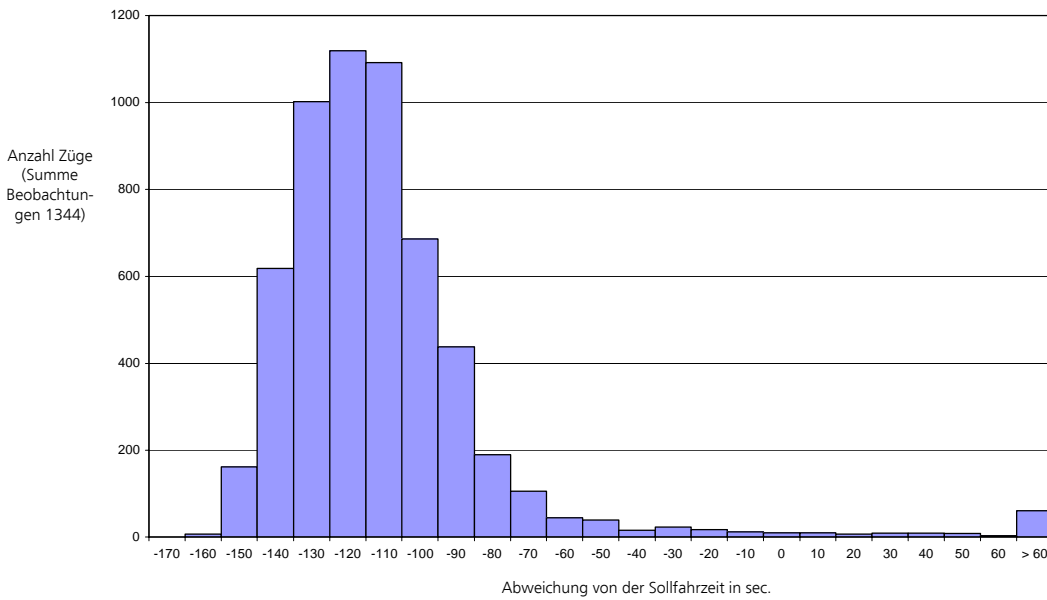
(2) Für unterschiedliche Strecken und Bahnhöfe werden im folgenden Beispielverteilungen der Fahr-, Halte- und Ankunftszeiten dargestellt. Als Referenz wird immer die vom Fahrplan vorgesehene Sollfahrzeit oder die Sollhaltezeit in den Bahnhöfen verwendet. Die Histogramme zeigen, wie viel Züge in der jeweiligen Klasse schneller oder langsamer als geplant fuhren, hielten bzw. ankamen.

(3) Die Untersuchungen an den bisherigen Beispielkorridoren haben gezeigt, dass die Log-Logistic Dichtefunktion (1) am besten geeignet ist, um sowohl die Verteilung auf der Strecke, die Ankunftsverteilung und bedingt auch die Haltezeitüberschreitung abzubilden.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta} \frac{\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha-1}}{\left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^\alpha\right]^2} & \text{für } x > \gamma \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (1)$$

Falls verschiedene Zugtypen (z.B. IR oder ICN zwischen Yverdon und Neuchatel) denselben Korridor benutzen, kann dies zu nicht-eindeutigen Kurvenformen führen (siehe beispielsweise Abbildung A2.1.3-3). Dasselbe kann wegen schwankenden Nachfragen und unterschiedlichen Auslastungen der Zuläufe auch während des Tagesverlaufes passieren.

Fahrzeitabweichungen auf der Strecke



Parameter:

$$\alpha = -168.00$$

$$\beta = 46.89$$

$$\gamma = 3.71$$

Ausgewählte

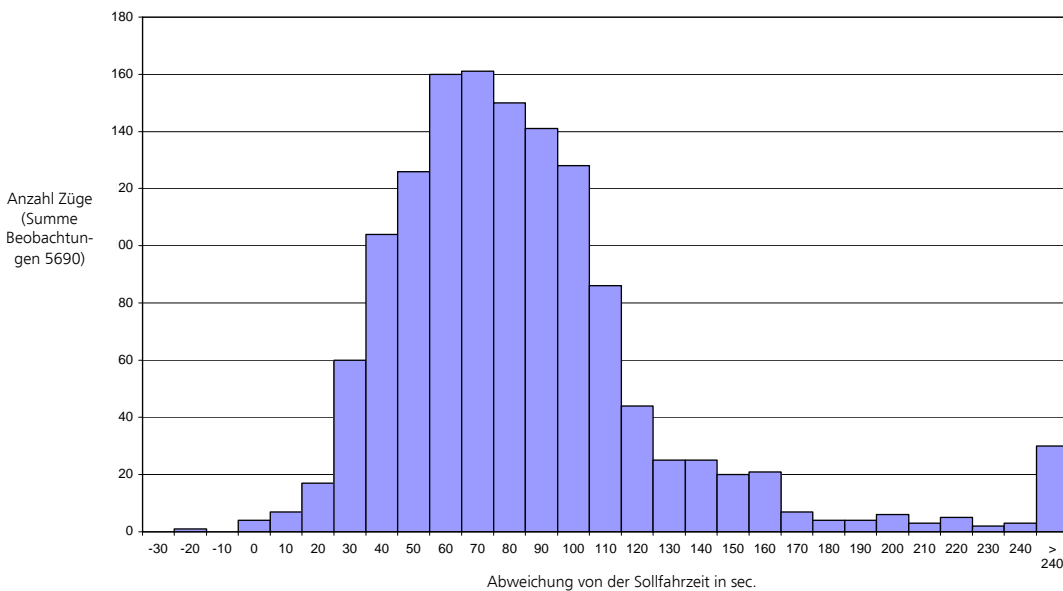
Züge:

IC 321 - 330

IR 1700 - 1749

IR 2100 - 2149

Abbildung A2.1.3-1: Abweichung von der geplanten Fahrzeit auf der Strecke Vevey - Lausanne (- = schneller als geplant; + = langsamer als geplant)



Parameter:

$$\alpha = -241.00$$

$$\beta = 203.59$$

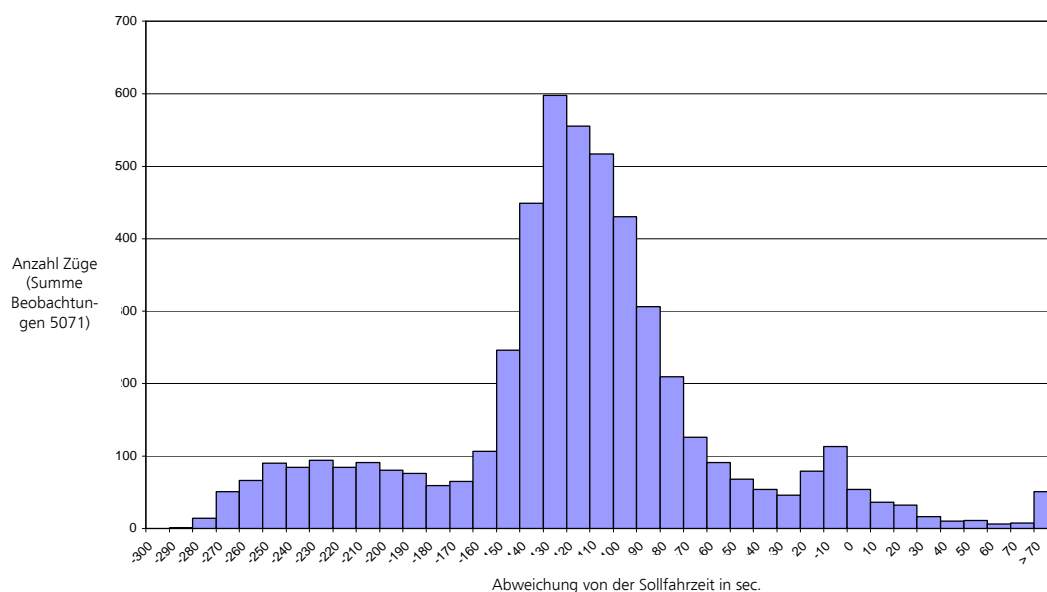
$$\gamma = 4.82$$

Ausgewählte

Züge:

IR 1800 - 1899

Abbildung A2.1.3-2: Abweichung von der geplanten Fahrzeit auf der Strecke Konolfingen - Bern (- = schneller als geplant; + = langsamer als geplant)

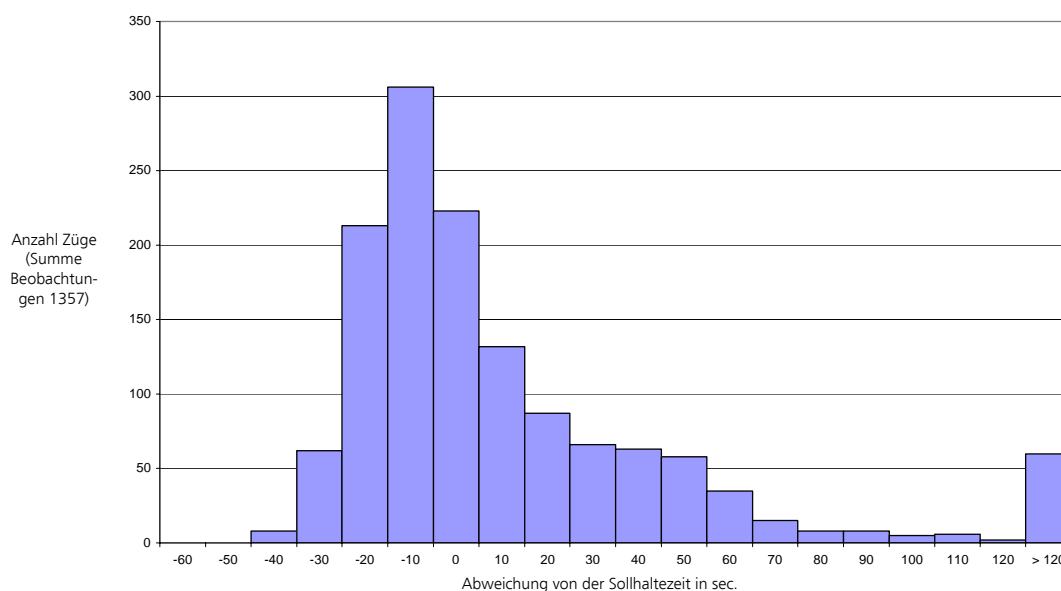


Am besten passende Dichtefunktion:
Johnson SU

Ausgewählte Züge:
ICN 500 – 549
IR 600 – 649

Abbildung A2.1.3-3: Abweichung von der geplanten Fahrzeit auf der Strecke Yverdon-Neuchatel (- = schneller als geplant; + = langsamer als geplant)

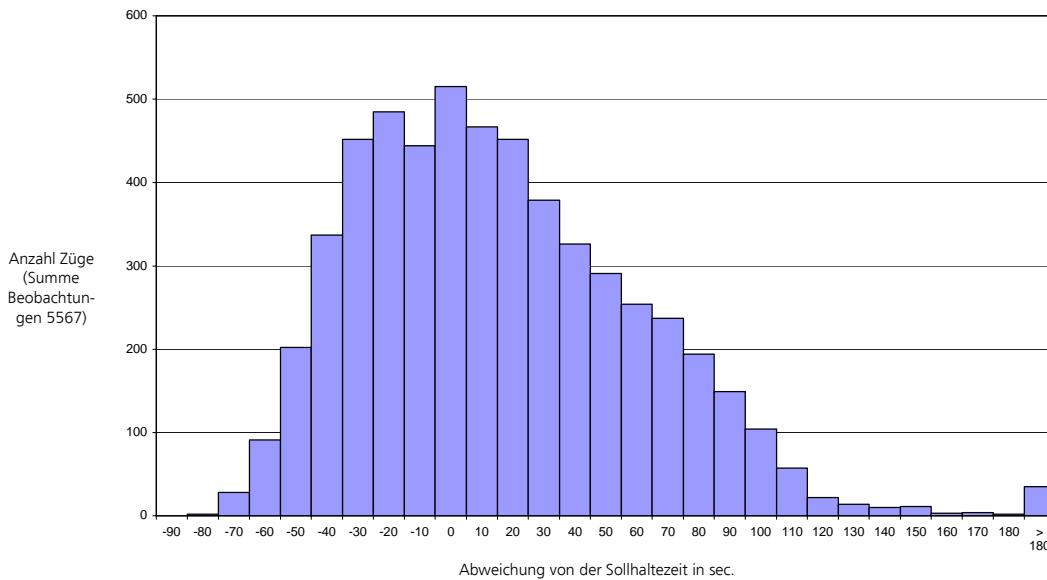
Haltezeit im Bahnhof



Parameter:
 $\alpha = -48.04$
 $\beta = 44.02$
 $\gamma = 2.77$

Ausgewählte Züge:
IR 1800 – 1899

Abbildung A2.1.3-4: Abweichung von der geplanten Sollhaltezeit in Wolhusen Richtung Luzern (- = kürzer als geplant; + = länger als geplant)

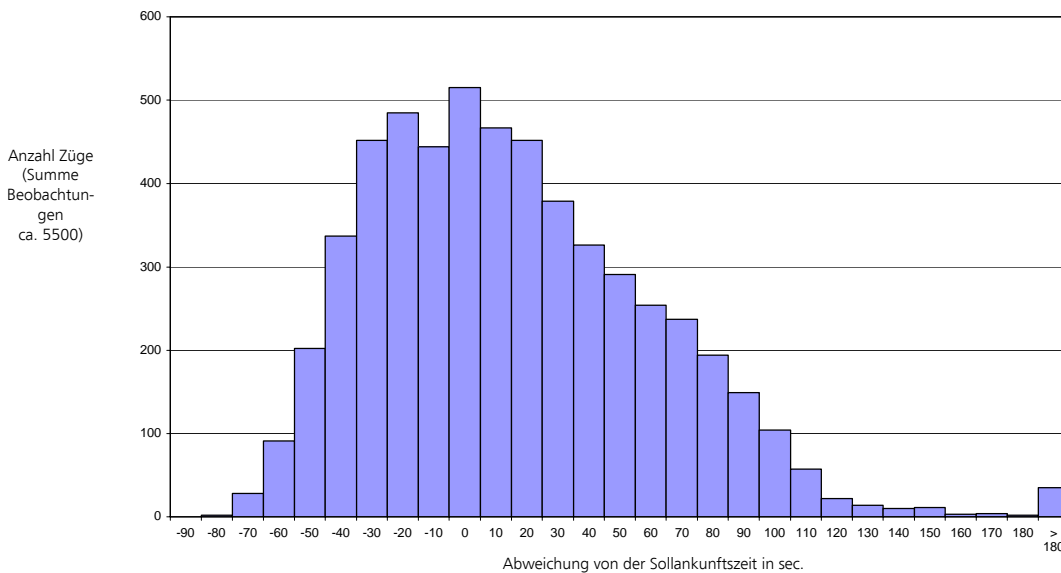


Am besten passende Dichtefunktion:
Gamma(E)

Ausgewählte Züge:
IR 1500 – 1549

Abbildung A2.1.3-5: Abweichung von der geplanten Sollhaltezeit in Solothurn Richtung Olten (- = kürzer als geplant; + = länger als geplant)

Abweichungen von der Ankunftszeit



Parameter:
 $\alpha = -138.02$
 $\beta = 132.11$
 $\gamma = 2.18$

Ausgewählte Züge:
IR 1800 – 1899

Abbildung A2.1.3-6: Abweichung von der geplanten Ankunftszeit in Schüpfheim Richtung Bern (- = kürzer als geplant; + = länger als geplant)

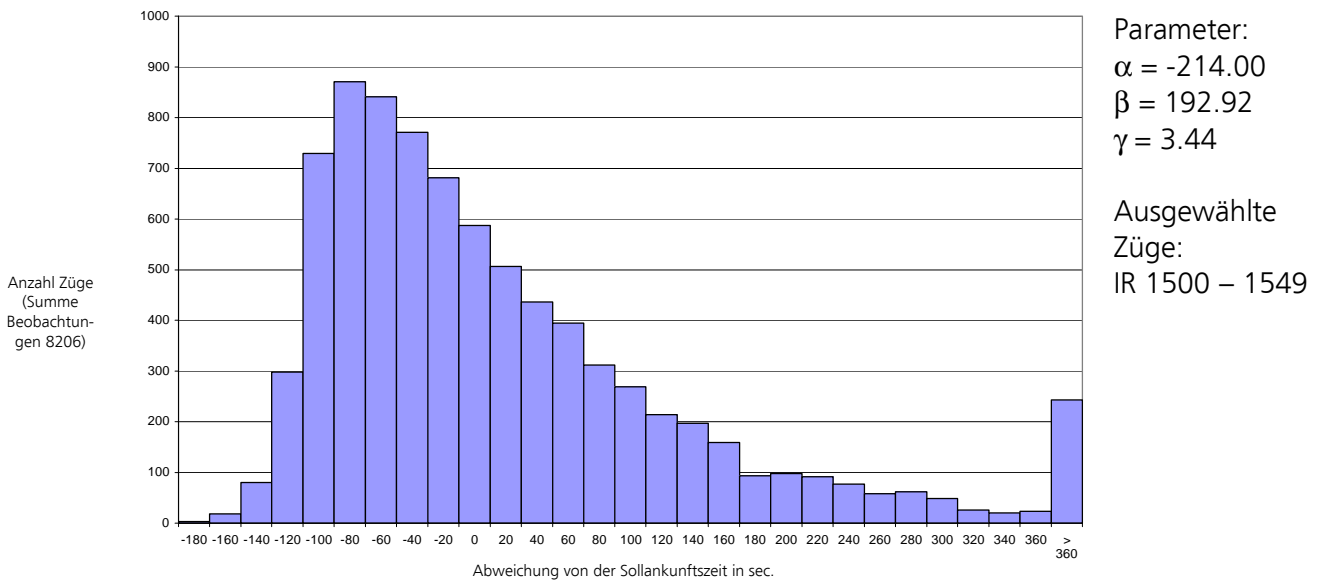


Abbildung A2.1.3-7: Abweichung von der geplanten Ankunftszeit in Biel Richtung Neuchatel (- = früher als geplant; + = später als geplant)

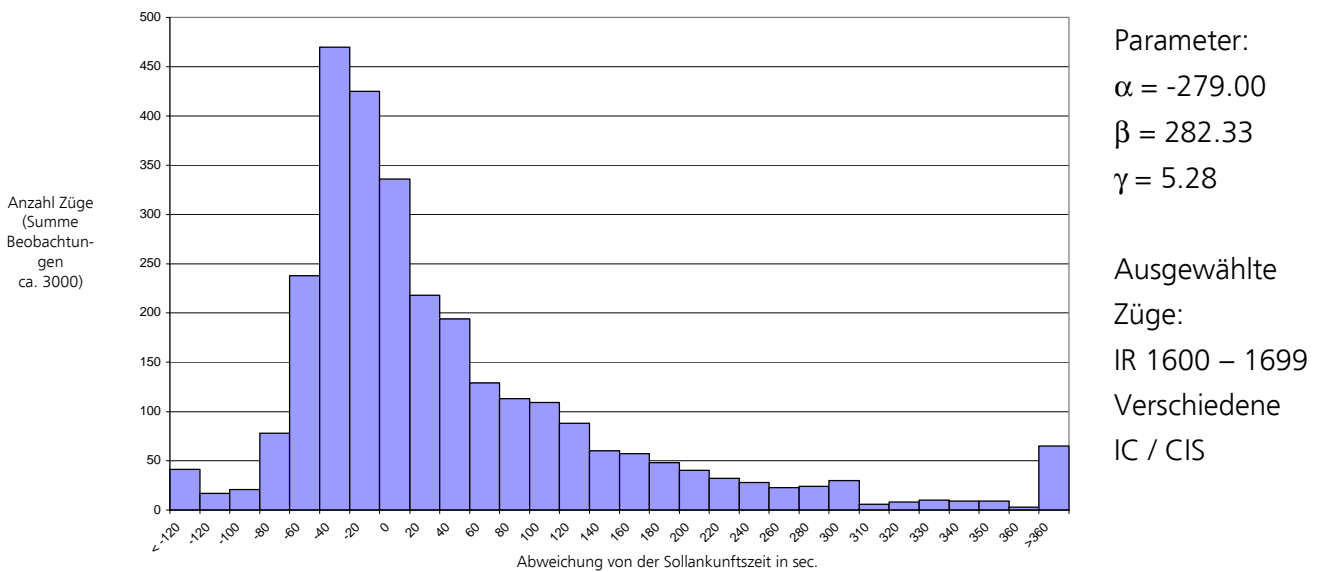


Abbildung A2.1.3-8: Abweichung von der geplanten Ankunftszeit in Arth-Goldau Richtung Gotthard (- = früher als geplant; + = später als geplant)

A2.1.4 Fazit Schiene

Um Einflüsse auf die Zuverlässigkeit bemessen zu können (und die Parameter α , β und γ zu bestimmen) und um eine gezielte Klassifizierung vornehmen zu können, sind weitere Korridore zu analysieren. Zudem müssen die Resultate anhand der Typisierung für Strecken und Bahnhöfe klassifiziert werden. Vor allem die Reservezeiten und der technische Standard der Strecke (unter Berücksichtigung von Instandhaltungszeiten) sind wichtige Einflussfaktoren, für welche hier keine Daten vorliegen. Des weiteren müsste untersucht werden, bei welchen Faktoren die Log-Logistic Verteilung ungeeignet ist und ob es besser passende Verteilfunktionen gäbe.

A2.2 Strasse

(1) Für den Öffentlichen Verkehr auf der Strasse lagen folgende Quellen vor:

1. Verlustzeitanalyse für Busse „Neue Jonastrasse“ (Busse Rapperswil – Jona, praktisch ohne Eigentrassee)
2. Daten der Bernmobil für verschiedene Tram- (i.A. Eigentrassee), Trolleybus- und Buslinien (nur abschnittsweise mit Eigentrassee)

Diese werden anschliessend dargestellt und unter 3.) ein Fazit gezogen.

Zu 1.) Verlustzeitanalyse für Busse „Neue Jonastrasse“ (Busse Rapperswil – Jona, praktisch ohne Eigentrassee) ⁷⁾

(1) Auf dem Abschnitt Rapperswil Bahnhof – Jonaport/ Kreuz kommt es häufig zu Staus, durch die sich die Verspätungen bei den auf diesem Abschnitt verkehrenden Buslinien 886, 991 und 992 häufen. Im Rahmen der zitierten Untersuchung sind die tatsächlichen Verlustzeiten zwischen den Haltestellen ermittelt werden.

(2) Die Messung der Fahrzeiten erfolgte manuell durch die Erfassung der Abfahrts-, Ankunfts- und Durchfahrtszeiten. Die Erhebung wurde von sechs Personen durchgeführt, die auf dem Abschnitt Rapperswil Bahnhof – Jonaport/Kreuz in den Bussen die Zeiten notierten. Auch Besonderheiten (Abweichung vom Linienweg, Grund für Verspätung) wurden erfasst. Die Erhebung wurde an zwei Werktagen zwischen 06:00 und 20:00 Uhr auf nahezu allen Kursen durchgeführt (vier Kurse wurden ausgelassen, um den Personalaufwand gering zu halten). Zusätzlich

7) Vgl. Ernst Basler + Partner AG: Verlustzeitanalyse Neue Jonastrasse, Gutachten im Auftrag der Stadt Rapperswil und der Gemeinde Jona, Zürich, 11. April 2005. Die folgenden Ausführungen sind zum Verständnis teilweise wörtlich aus der Quelle übernommen.

wurde an zwei weiteren Werktagen nur die Morgen- und Abendspitze und an zwei Samstagen von 10:00 bis 16:00 Uhr erhoben:

- Dienstag, 01. März 2004 06:00 - 20:00 Uhr
- Donnerstag, 03. März 2004 06:00 - 09:00 Uhr, 16:00 - 19:00 Uhr
- Samstag, 05. März 2004 10:00 - 16:00 Uhr
- Dienstag, 15. März 2004 06:00 - 20:00 Uhr
- Mittwoch, 16. März 2004 06:00 - 09:00 Uhr, 16:00 - 19:00 Uhr
- Samstag, 19. März 2004 10:00 - 16:00 Uhr

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der erhobenen Fahrzeiten wurde das Verkehrsaufkommen an zwei Dauerzählstellen in Rapperswil (Seedamm, Rosengarten) verwendet. An den Erhebungstagen entsprach das Verkehrsaufkommen weitgehend dem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen, die Abweichungen vom Durchschnitt lagen bei maximal 10%.

(3) Aus den erhobenen Daten wurden die Fahrzeiten zwischen den Haltestellen analysiert. Die Auswertung erfolgte getrennt nach Montag - Freitag und Samstagen gruppiert nach Stunden. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die durchschnittlichen Fahrzeiten an Werktagen von Rapperswil nach Jona bzw. die Gegenrichtung (ohne Aufenthalt an den Haltestellen).

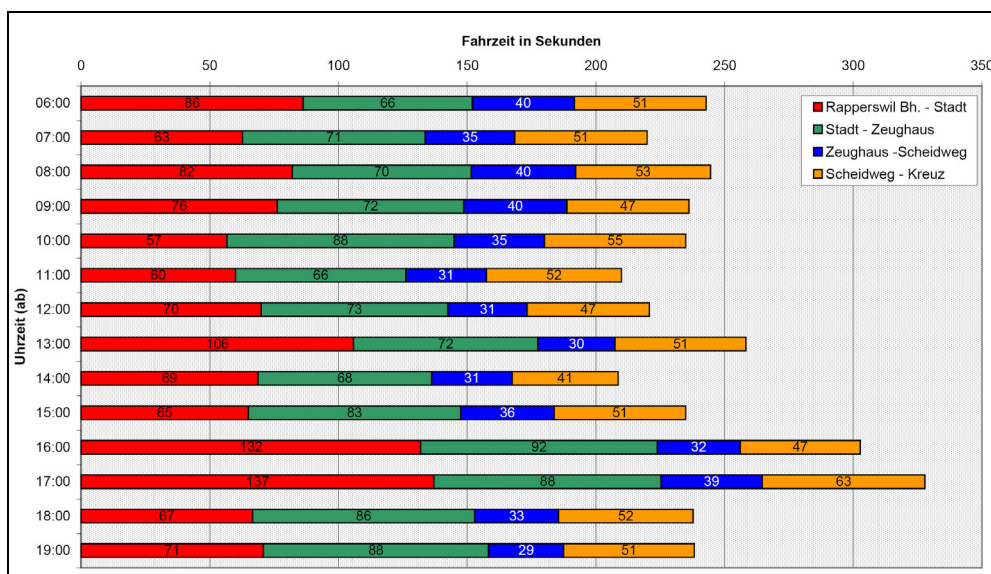


Abbildung A2.2-1: Mittelwerte Montag-Freitag: Rapperswil Richtung Jona

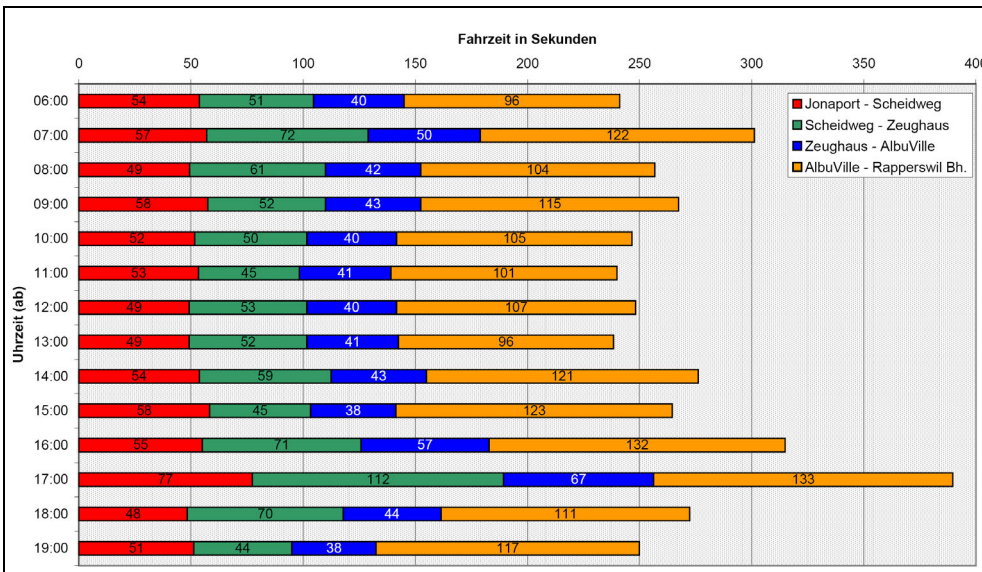


Abbildung A2.2-2: Mittelwerte Montag-Freitag: Jona Richtung Rapperswil

Es wird deutlich, dass es besonders am Abend zwischen den Haltestellen Rapperswil Bahnhof – Stadt sowie Stadt – Zeughaus zu Verspätungen kommt. Auf der Strecke Zeughaus bis Jona Kreuz sind die Fahrzeiten relativ konstant. In der Gegenrichtung Jona Richtung Rapperswil kommt es besonders in der Abendspitze fast auf der gesamten Strecke zu Verspätungen.

Bei Betrachtung der minimalen und maximalen Fahrzeiten innerhalb einer Stunde (Abbildung A2.2-3 und A2.2-4) zeigen sich Abweichungen von bis zu 5 Minuten Fahrzeit zwischen zwei Haltestellen, insbesondere in der Abendspitze zwischen 17:00 und 18:00 Uhr.

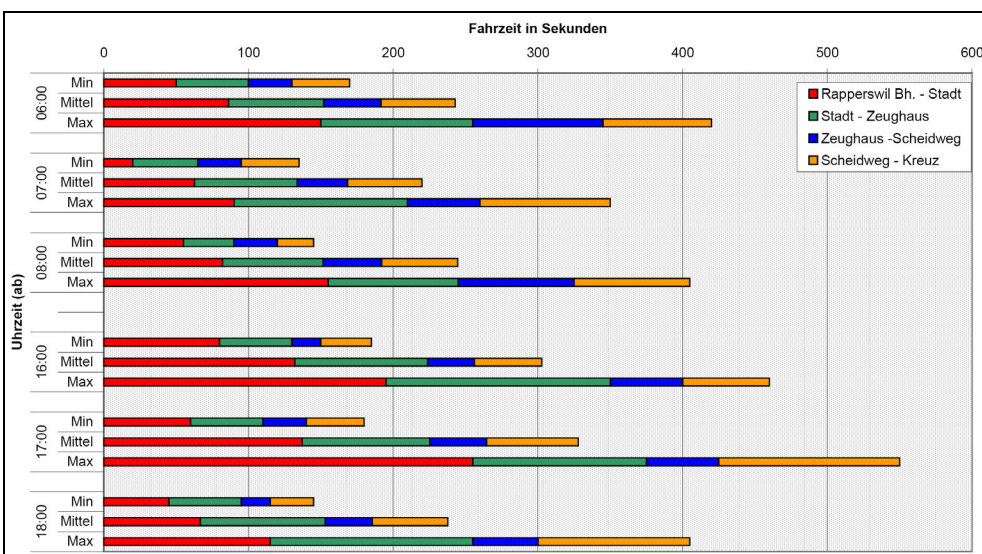


Abbildung A2.2-3: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte Montag-Freitag: Rapperswil Richtung Jona

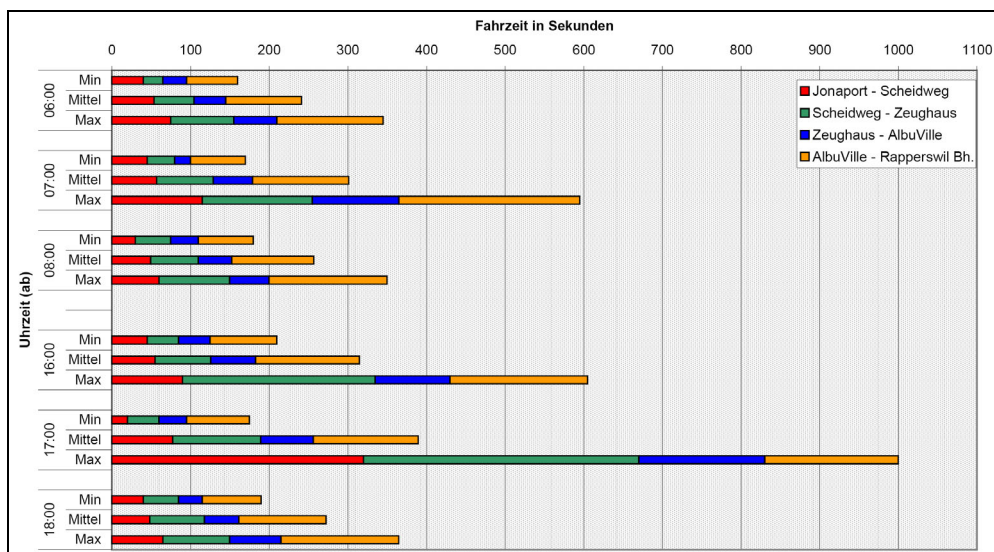


Abbildung A2.2-4: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte Montag-Freitag: Jona Richtung Rapperswil

Abbildung A2.2-5 zeigt die durchschnittliche Verspätung an Montag-Freitag, mit der die Busse aus Richtung Wattwil oder dem Südquartier an der Haltestelle Jonaport abfahren.

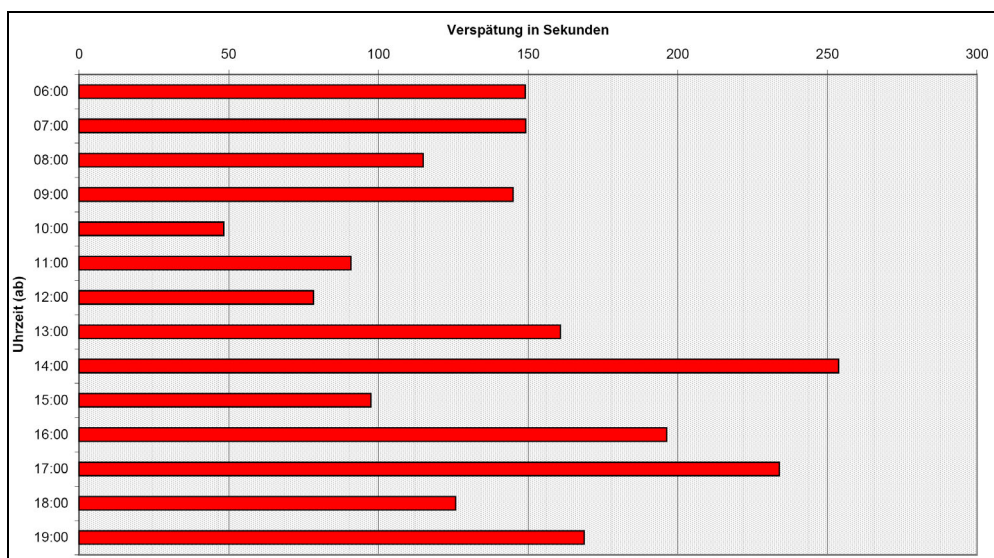


Abbildung A2.2-5: Verspätung bei Abfahrt Jonaport aus Richtung Bollwies an Werktagen

Die Verspätungen von durchschnittlich 2 bis 5 Minuten am Nachmittag entstehen weitgehend durch Verluste auf den Strecken von Wattwil oder vom Südquartier. Die Wendezeiten an den Endhaltestellen Rapperswil und Wattwil sind ausreichend dimensioniert.

Abbildung A2.2-6 zeigt die minimale, mittlere und maximale Verspätung, mit der die Busse am Bahnhof Rapperswil ankommen.

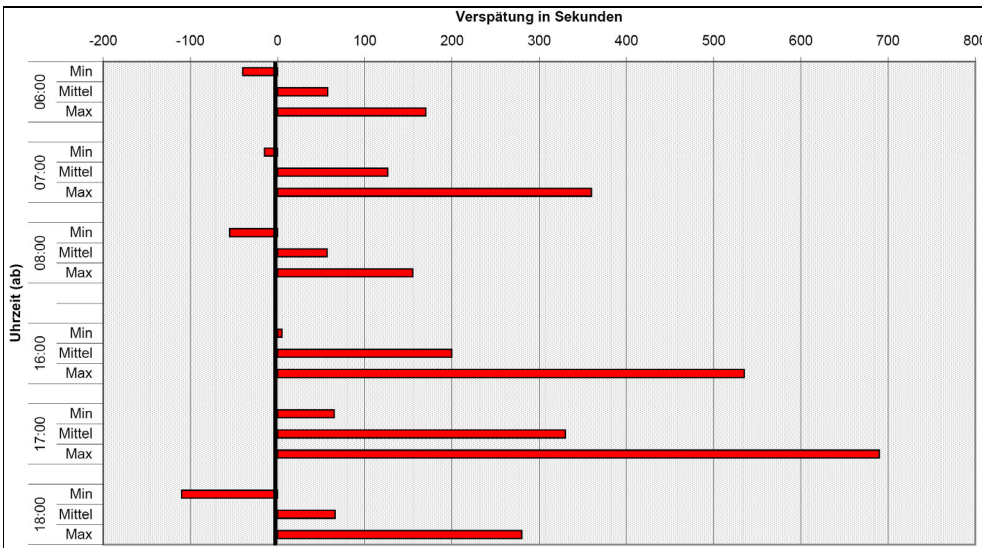


Abbildung A2.2-6: Verspätung bei Ankunft Rapperswil Bahnhof Montag-Freitag (Minimal-, Mittel- und Maximalwerte)

Besonders zur Abendspitze zwischen 17:00 und 18:00 Uhr beträgt die durchschnittliche Verspätung über 5 Minuten.

Die Abbildungen A2.2-7 bis A2.2-9 zeigen die durchschnittlichen Fahrzeiten und Verspätungen für die zwei erhobenen Samstage.

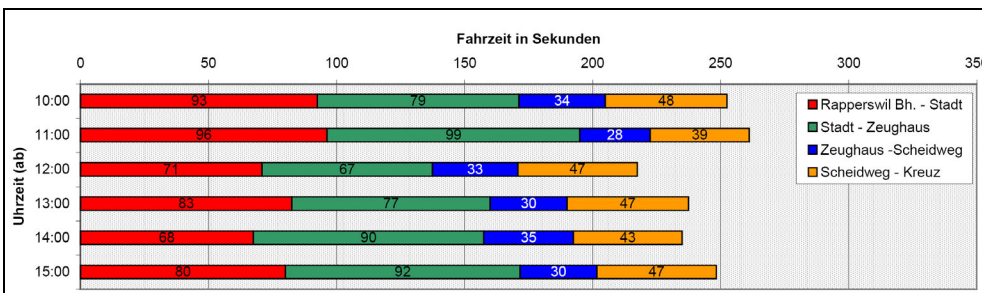


Abbildung A2.2-7: Mittelwerte Samstage: Rapperswil Richtung Jona

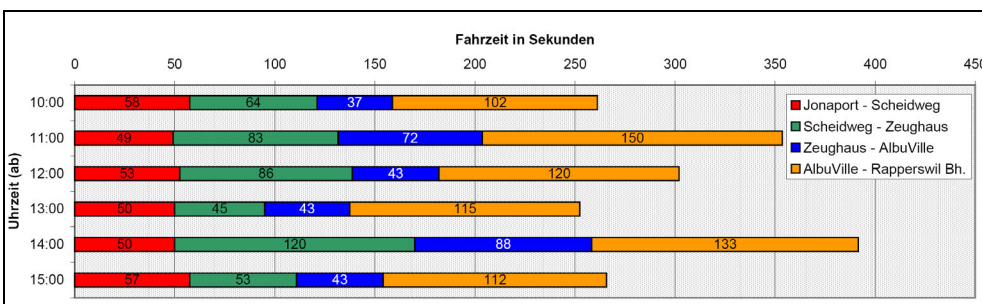


Abbildung A2.2-8: Mittelwerte Samstage: Jona Richtung Rapperswil

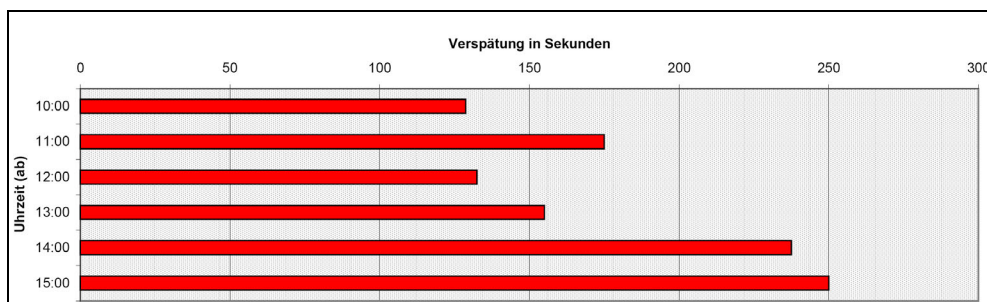


Abbildung A2.2-9: Verspätung bei Abfahrt Jonaport Richtung Bollwies an Samstagen

Die Fahrzeiten an Samstagen sind etwa mit denen der Montag-Freitage vergleichbar, die längsten Fahrzeiten werden am Nachmittag zwischen 14:00 und 16:00 Uhr erreicht.

(4) Für die hier gegenständliche Untersuchung wurden für Werktage die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrzeit richtungsgetreunt ermittelt. Diese ist in Abbildung A2.2-10 dargestellt. Ferner wurde die Fahrzeit gemäss Fahrplan dargestellt.

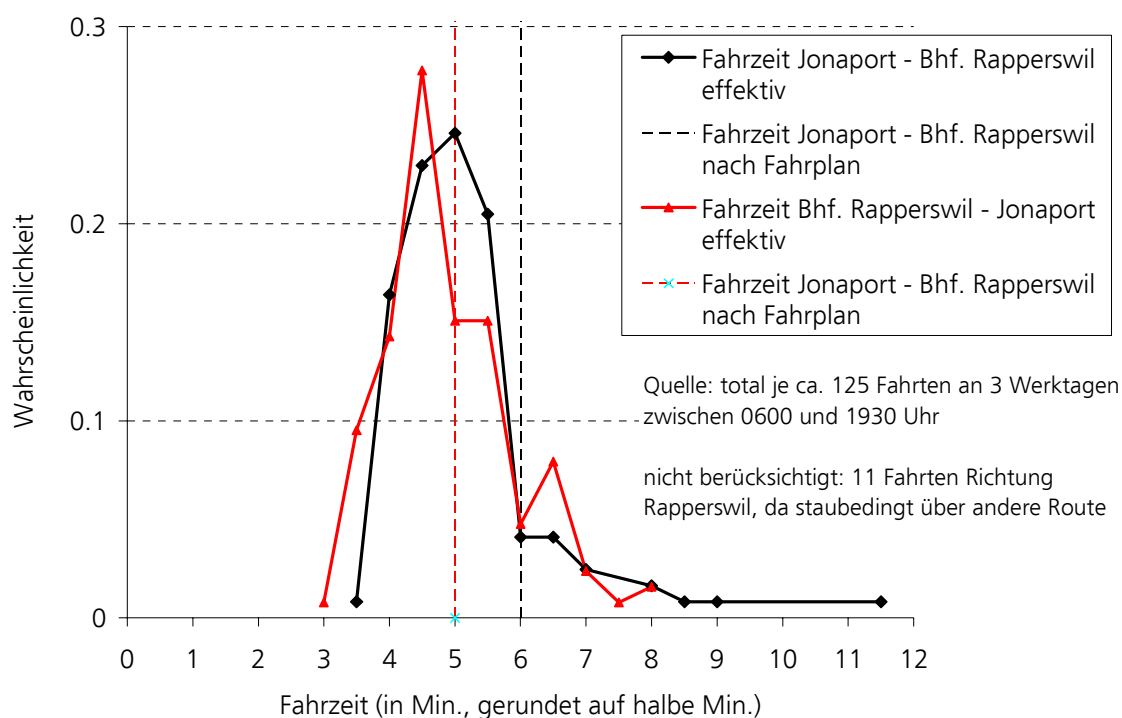


Abbildung A2.2-10: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrzeit Jonaport – Bhf. Rapperswil

(5) Folgende Erkenntnisse lassen sich aus dem Beispiel ziehen:

- Der Fahrplanersteller kalkuliert zum ersten unterschiedliche Fahrzeiten je Richtung. Er berücksichtigt also bereits unterschiedliche Fahrzeiten und Ankunftszeiten im Fahrplan, wodurch für den Nachfrager Zuverlässigkeit gewährleistet werden soll.

- Die Verteilung der Fahrzeiten ist demnach auch für beide Richtungen ähnlich, wobei für Fahrten Jonaport – Bhf. Rapperswil grössere Verspätungen beobachtbar waren.
- Der Betreiber setzt im Rahmen des Tagesablaufs auch Massnahmen zur Einhaltung der Zuverlässigkeit:
 - In diesem Fall werden verspätete Busse häufig über alternative Routen geführt, um die Verlustzeiten wieder aufzuholen.
 - Andere Möglichkeiten sind, die Fahrplanzeiten nach Tageszeiten zu differenzieren und somit Zuverlässigkeit zu erlangen.

Bei dichten Fahrplänen bestehen auch Möglichkeiten durch das Herausnehmen von Bussen (wenn zwei Busse einer Linie aufeinander auffahren) oder die Ergänzung von Bussen bei zu grossen Verspätungen die Pünktlichkeit wiederherzustellen.

(6) Werden nun beispielsweise infrastrukturelle oder verkehrsorganisatorische Massnahmen auf der Strasse ergriffen, ergibt sich daraus nicht automatisch wie beim MIV eine veränderte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Fahrzeit für den Endverbraucher: So kann die Fahrplanzeit gegebenenfalls angepasst werden, die eigentliche Verteilung der Abweichung von der Fahrplanzeit – welche hier Untersuchungsgegenstand ist – bleibt aber unter Umständen gleich, da Reservezeiten angepasst werden oder andere Massnahmen der Betreiber zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit entfallen. Diese Effekte sind relevant für die Bewertung der entsprechenden Massnahmen im Öffentlichen Verkehr, da sie die Betriebskosten des Öffentlichen Verkehrs (z.B. Entfall von Ergänzungsbussen oder –zügen) beeinflussen. Diese sind hier aber nicht Untersuchungsgegenstand.

Ein Verfahren zur Berücksichtigung der Ermittlung der massnahmenbedingten Veränderung der Zuverlässigkeit im Öffentlichen Verkehr bedarf somit einer Vielzahl einzelfall- bzw. betreiberabhängiger Informationen, wie zum Beispiel Informationen zu etwaigen Ersatzmassnahmen, Strategie der Fahrplangestaltung etc.

Zu 2.) Daten Bernmobil

(1) Bernmobil stellte Auswertungen für acht Linien (Tramlinien zumeist mit Eigentrasse sowie Trolley- und Buslinien ohne Eigentrassee) zur Verfügung. Die Auswertungen umfassten die Zeiträume 25.10.04 bis 28.11.04 und 10.01.05 bis 20.02.05. Unterschieden wurde nach Werktagen und Wochenenden und in die Zeitbereiche 05:00 – 6:45 Uhr; 06:45 – 08:30 Uhr, 08:30 – 16:00 Uhr, 16:00 – 18:30 Uhr, 18:30 – 20:00 Uhr. Die folgenden Abbildungen zeigen als Beispiel die Fahrplanabweichungen im Jahr 2004 für die Tramlinie 9 und die Buslinie 21 an Werktagen zwischen 06:45 und 08:30 Uhr.

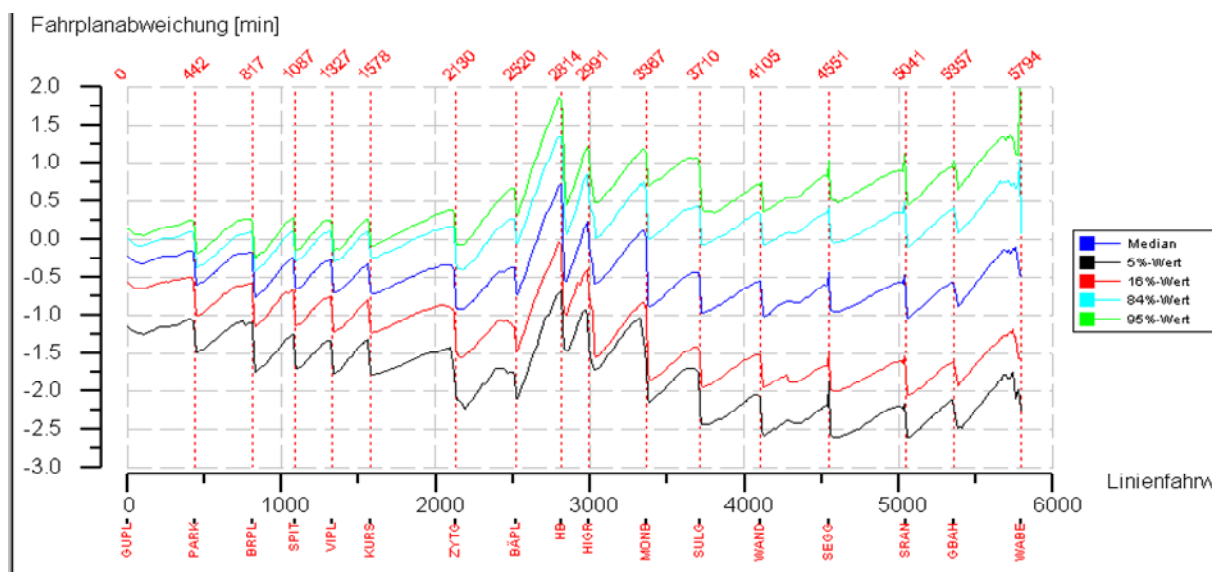


Abbildung A2.2-11: Fahrplanabweichungen Tramlinie 9, 25.10.04 bis 28.11.04, 06:45 – 08:30 Uhr (- = Verfrüfung, + = Verspätung)

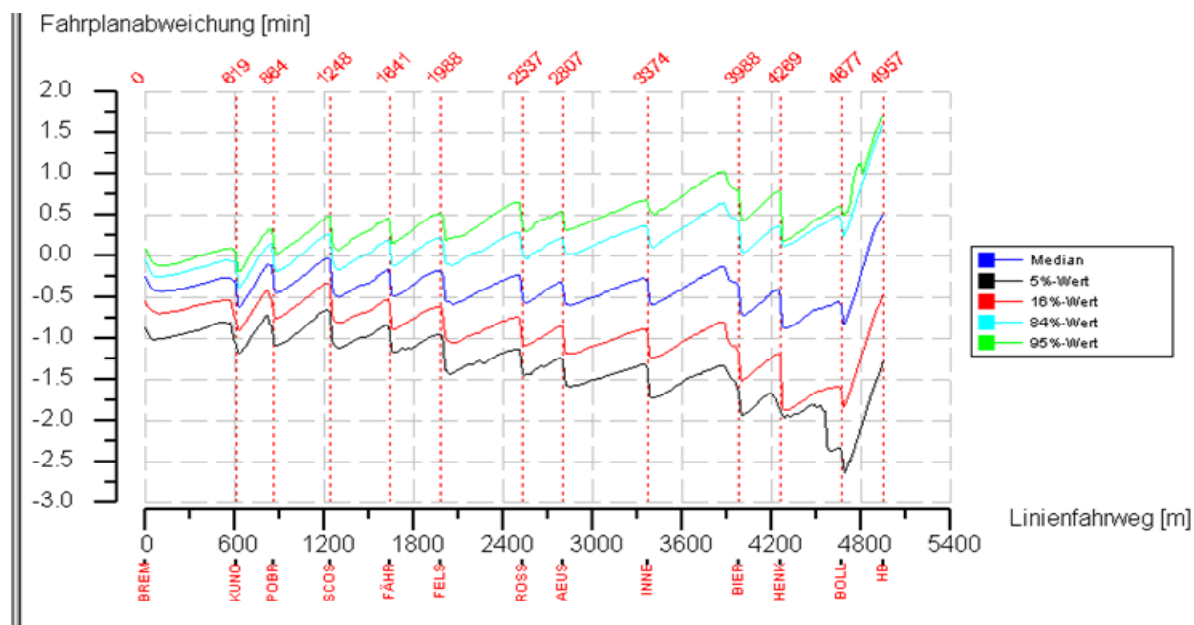


Abbildung A2.2-12: Fahrplanabweichungen Buslinie 21, 25.10.04 bis 28.11.04, 06:45 – 08:30 Uhr (- = Verfrüfung, + = Verspätung)

(2) Wie in den beiden Beispielen zeigten sich im Jahr 2004 insgesamt häufig Verfrühungen, die z.B. am Hauptbahnhof durch Warte- bzw. Standzeit kompensiert werden. Der Median zeigt auch eine geringe Verfrüfung auf. Im Rahmen weiterer Optimierungen zwischen Fahrzeitreduk-

tion und Zuverlässigkeit wurden seitens der bernmobil verschiedene Fahrplananpassungen vorgenommen, wodurch in den Auswertungen im Januar 2005 die Verspätungen zunahmen. Diesbezüglich hervorgehoben wird noch, dass nach Fahrplananpassungen das Fahrpersonal sich zunächst einen neuen Fahrstil aneignen muss.⁸⁾ Weitere Optimierungsschritte sind vorgesehen.

(3) Das Beispiel Bernmobil zeigt die Abhängigkeit der Pünktlichkeit von der Fahrplanstrategie. Um den Einfluss von Massnahmen auf die Zuverlässigkeit zu ermitteln, sind somit eine Vielzahl von Kenntnisse notwendig, um eine Typisierung vornehmen zu können.

Zu 3.) Fazit Öffentlicher Verkehr Strasse

Wie auch auf der Schiene sind eine Vielzahl von Störquellen und Möglichkeiten zu deren Behebung vorhanden, die die Zuverlässigkeit beeinflussen. Für die Entwicklung eines standardisierten Verfahrens werden somit hohe Ansprüche an die Datenverfügbarkeit gestellt. Eine Einzelfallbetrachtung ist unter Berücksichtigung der aktuellen Datenlage sowie der Fahrplan- und Betriebsstrategie des jeweiligen Betreibers notwendig.

8) Vgl. bernmobil, Schreiben vom 27. April 2005.

A3 Dokumentation typischer Fahrzeitverteilungen

(1) In den nachfolgenden Tabellen sind die typischen Verteilungen der Geschwindigkeitsmittelwerte über 5-Minuten-Intervalle bzw. der zugehörigen Fahrzeiten pro Kilometer in Abhängigkeit der signalisierten Höchstgeschwindigkeit, der Anzahl Richtungsfahrspuren, der Strassenart sowie der Q-Klasse (bzw. dem Verkehrsregime) dargestellt. Die Werte bilden die Basis der Abbildungen in Kapitel 5.2.1. Die Abgrenzung des Verkehrsregimes "stockender Verkehr" vom Verkehrsregime "fliessender Verkehr" hängt von der signalisierten Höchstgeschwindigkeit ab (vgl. Tabelle 5.2.1-1).

(2) Die tabellierten Wahrscheinlichkeiten entsprechen in den Bezeichnungen gemäss Kapitel 5.2.1 den Grössen $p_m(t_i, Q_j)$. Die Summe der Werte über jede Zeile beträgt 1. Sie können als Standardwerte für das in Kapitel 5.2.1 dargestellte Verfahren zur Ermittlung des monetären Wertes der Fahrzeitverteilung verwendet werden, sofern keine zuverlässigeren ortsspezifischen Werte zur Verfügung stehen.

signalisierte Höchstgeschwindigkeit	Anzahl Richtungsfahrspuren	Strassenart	Q-Klasse bzw. Verkehrsregime	Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit [Min./km]						
				>120	100 - 120	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
120 km/h	2	Autobahn	0 - 1'000 Fzg/Std.	0.2014	0.7567	0.0376	0.0033	0.0005	0.0004	0.0001
			1'000 - 2'000 Fzg/Std.	0.1367	0.8421	0.0174	0.0027	0.0008	0.0003	
			2'000 - 3'000 Fzg/Std.	0.0350	0.9355	0.0278	0.0017			
			3'000 - 4'000 Fzg/Std.	0.0010	0.8679	0.1305	0.0006			
			stockender Verkehr		0.0174	0.1123	0.2619	0.3403	0.2376	0.0305
120 km/h	3	Autobahn	0 - 1'000 Fzg/Std.	0.0254	0.9201	0.0490	0.0047	0.0004	0.0003	0.0001
			1'000 - 2'000 Fzg/Std.	0.0007	0.9560	0.0376	0.0050	0.0004	0.0003	
			2'000 - 3'000 Fzg/Std.	0.0001	0.9393	0.0555	0.0037	0.0014		
			3'000 - 4'000 Fzg/Std.		0.9168	0.0790	0.0038	0.0004		
			4'000 - 5'000 Fzg/Std.		0.6920	0.3024	0.0056			
			5'000 - 6'000 Fzg/Std.		0.2823	0.7177				
100 km/h	2	Autobahn	0 - 1'000 Fzg/Std.		0.0024	0.7846	0.2122	0.0003	0.0003	0.0002
			1'000 - 2'000 Fzg/Std.			0.7923	0.2059	0.0016	0.0002	
			2'000 - 3'000 Fzg/Std.			0.7940	0.2052	0.0008		
			3'000 - 4'000 Fzg/Std.			0.7881	0.2119			
			4'000 - 5'000 Fzg/Std.			0.8000	0.2000			
100 km/h	3	Autobahn	0 - 1'000 Fzg/Std.		0.0124	0.8762	0.1107	0.0004	0.0002	0.0001
			1'000 - 2'000 Fzg/Std.		0.0001	0.8890	0.1073	0.0012	0.0024	
			2'000 - 3'000 Fzg/Std.			0.8909	0.1061	0.0024	0.0006	
			3'000 - 4'000 Fzg/Std.			0.8864	0.1106	0.0030		
			4'000 - 5'000 Fzg/Std.			0.8790	0.1208	0.0002		
			5'000 - 6'000 Fzg/Std.			0.8697	0.1303			
100 km/h	3	Autobahn	6'000 - 7'000 Fzg/Std.			0.9000	0.1000			
			stockender Verkehr			0.0551	0.1728	0.3788	0.3912	0.0021

Tabelle A3-1: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Autobahnen mit mehreren Richtungsfahrstreifen ($v_{max} \geq 100$ km/h)

signalisierte Höchstgeschwindigkeit	Anzahl Richtungsfahrspuren	Strassenart	Q-Klasse bzw. Verkehrsregime	Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit [Min./km]					
				> 50	40 - 50	30 - 40	20 - 30	10 - 20	0 - 10
50 km/h	2	Hauptstrasse	0 - 1'000 Fzg/Std.	1.09	1.33	1.71	2.40	4.00	12.00
			1'000 - 2'000 Fzg/Std.	0.0003	0.9941	0.0027	0.0006	0.0019	0.0004
			2'000 - 3'000 Fzg/Std.		0.9757	0.0188	0.0046	0.0009	
			3'000 - 4'000 Fzg/Std.		0.8672	0.1263	0.0065		
			stockender Verkehr		0.5708	0.4292			
				0.0207	0.5146	0.4629	0.0018		

Tabelle A3-2: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Hauptstrassen mit mehreren Richtungsfahrstreifen ($v_{max} = 50 \text{ km/h}$)

signalisierte Höchstgeschwindigkeit	Anzahl Richtungsfahrspuren	Strassenart	Q-Klasse bzw. Verkehrsregime	Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit [Min./km]						
				> 120	100 - 120	80 - 100	60 - 80	40 - 60	20 - 40	0 - 20
100 km/h	1	Hauptstrasse	0 - 500 Fzg/Std.	0.46	0.55	0.67	0.86	1.20	2.00	6
			500 - 1'000 Fzg/Std.	0.0001	0.0024	0.5383	0.4568	0.0020	0.0004	
			1'000 - 1'500 Fzg/Std.		0.0001	0.3920	0.6067	0.0010	0.0002	
			stockender Verkehr			0.1238	0.8664	0.0098		
100 km/h	1	Autobahn	0 - 500 Fzg/Std.	0.0001	0.0036	0.9373	0.0582	0.0007	0.0001	
			500 - 1'000 Fzg/Std.			0.9024	0.0960	0.0013	0.0003	
			1'000 - 1'500 Fzg/Std.			0.6209	0.3648	0.0143		
			stockender Verkehr			0.0437	0.2314	0.5213	0.2036	

Tabelle A3-3: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Strassen mit einem Richtungsfahrstreifen ($v_{max} = 100 \text{ km/h}$)

signalisierte Höchstgeschwindigkeit	Anzahl Richtungsfahrspuren	Strassenart	Q-Klasse bzw. Verkehrsregime	Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit [Min./km]						
				>90	75-90	60-75	45-60	30-45	15-30	0-15
80 km/h	1	Hauptstrasse	0 - 500 Fzg/Std.	0.57	0.73	0.89	1.14	1.60	2.67	8.00
			500 - 1'000 Fzg/Std.	0.0016	0.0620	0.8447	0.0890	0.0021	0.0005	0.0001
			1'000 - 1'500 Fzg/Std.		0.0013	0.9035	0.0946	0.0005	0.0001	
			stockender Verkehr			0.7647	0.2353			
						0.2600	0.5400	0.2000		

Tabelle A3-4: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Haupttrassen mit einem Richtungsfahrstreifen ($v_{max} = 80 \text{ km/h}$)

signalisierte Höchstgeschwindigkeit	Anzahl Richtungsfahrspuren	Strassenart	Q-Klasse bzw. Verkehrsregime	Wahrscheinlichkeit für Geschwindigkeit [km/h] bzw. mittlere Fahrzeit [Min./km]							
				> 70	60 - 70	50 - 60	40 - 50	30 - 40	20 - 30	10 - 20	0 - 10
60 km/h	1	Hauptstrasse	0 - 500 Fzg/Std.	0.0028	0.1213	0.7697	0.0853	0.0063	0.0096	0.0049	0.0001
			500 - 1'000 Fzg/Std.		0.0005	0.1893	0.4523	0.2770	0.0752	0.0057	
			1'000 - 1'500 Fzg/Std.			0.0023	0.1638	0.4914	0.3425		
			stockender Verkehr					0.1619	0.7024	0.1339	0.0018
50 km/h	1	Hauptstrasse	0 - 500 Fzg/Std.	0.0001	0.0007	0.0240	0.6771	0.2850	0.0124	0.0007	
			500 - 1'000 Fzg/Std.			0.0012	0.3114	0.6590	0.0284		
			1'000 - 1'500 Fzg/Std.			0.0154	0.0914	0.7732	0.1200		
			stockender Verkehr					0.1120	0.6823	0.2057	

Tabelle A3-5: Wahrscheinlichkeitsverteilungen für Hauptstrassen mit einem Richtungsfahrstreifen ($v_{max} = 50$ bzw. 60 km/h)

A4 Aggregation streckenbezogener Fahrzeiten

A4.1 Problemstellung

(1) Fahrzeitverteilungen über längere, bzgl. massgeblicher Merkmale (z.B. zulässige Geschwindigkeit) inhomogene Strecken können nicht mit angemessener Genauigkeit aus Geschwindigkeitsdaten an einem einzelnen Querschnitt abgeleitet werden. Vielmehr muss die Gesamtstrecke in Teilstrecken unterteilt werden, für die in einem ersten Schritt aus querschnittsbezogenen Geschwindigkeitsdaten die Fahrzeit zu ermitteln ist. In einem zweiten Schritt kann dann diese Fahrzeit aggregiert werden.

(2) Eine Aggregation der Fahrzeit ist nur dann ohne zusätzliche Daten oder Annahmen möglich, wenn die Fahrzeitverteilungen auf den einzelnen Teilabschnitten unabhängig voneinander sind. Dies ist definitionsgemäss dann der Fall, wenn die Wahrscheinlichkeit für eine Gesamtfahrzeit $t_{tot} = t_{1j} + t_{2k}$ wie folgt ermittelt werden kann:

$$p(t_{tot} = t_{1j} + t_{2k}) = p_{1j} p_{2k} \quad \text{wobei}$$

p_{1j} : Wahrscheinlichkeit für Fahrzeit t_{1j} auf Teilabschnitt 1

p_{2k} : Wahrscheinlichkeit für Fahrzeit t_{2k} auf Teilabschnitt 2

(3) Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass die Unabhängigkeit von Fahrzeitverteilungen i.A. nicht gegeben ist. Meist sind Geschwindigkeiten bzw. Fahrzeiten entlang einer Route positiv korreliert: Wenn sie auf einen Teilabschnitt überdurchschnittlich (unterdurchschnittlich) sind, dann meist auch kurze Zeit später auf dem in Fahrtrichtung gesehen nächsten Teilabschnitt.⁹⁾

A4.2 Fahrzeitkorrelationen auf Autobahnen (Bsp. A1)

(1) Anhand von Geschwindigkeitsdaten an 6 Zählstellen auf der A1 zwischen Bern und Zürich (Fahrtrichtung Zürich) wurde untersucht, wie stark sich die effektive Fahrzeitverteilung, welche Abhängigkeiten zwischen den Fahrzeiten auf Teilabschnitten implizit enthält, von der Fahrzeit-

9) Für die Zwecke dieser Untersuchung interessieren in erster Linie Abhängigkeiten zwischen mittleren Geschwindigkeiten über verschiedenen Fahrzeuge (z.B. 5-Minuten-Mittelwerte). Das individuelle Fahrverhalten einzelner Fahrer stellt auf Ebene von Einzelfahrzeugen eine weiteren Grund dar, dass Geschwindigkeits- und Fahrzeitverteilungen nicht unabhängig sind, was aber im Kontext der vorliegenden Studie nicht von primärem Interesse ist.

verteilung unterscheidet, die man bei Annahme von unabhängigen Fahrzeitverteilungen auf den 6 Teilabschnitten erhält.

(2) Die effektive Fahrzeitverteilung wurde wie folgt ermittelt (vgl. Tabelle A4.2-1):

- Betrachtung aller möglichen 5-Minuten-Intervalle, bei denen die Durchfahrt an der (in Fahrtrichtung Zürich gesehen) ersten Zählstelle erfolgt (Daten aus ca. 3 Jahren)
- Ausgehend von der jeweiligen Geschwindigkeit (5-Min.-Mittel) an der Zählstelle 1 wird die Fahrzeit bis zur Vorbeifahrt an der Zählstelle 2 ermittelt und in Abhängigkeit des Startintervalls das zugehörige 5-Min.-Intervall an der Zählstelle 2 zugeordnet.
- Mit der zugehörigen Geschwindigkeit an der Zählstelle 2 wird dasselbe Verfahren für alle weiteren Teilabschnitte iterativ weitergeführt.

Daraus ergeben sich für jede Fahrt von Bern nach Zürich (nur Abschnitte auf der A1 berücksichtigt) in Abhängigkeit des Startzeitpunkts die Fahrzeiten für jeden der 6 Teilabschnitte, welche zur Gesamtfahrzeit summiert werden können.

Zeit Durchfahrt	Geschwindigkeit bei Durchfahrt an Zählstelle					
	1 (km 0)	2 (km 14.4)	3 (km 30)	4 (km 53.5)	5 (km 79.8)	6 (km 107.2)
4.30 h	107	117	106	111	119	102
4.35 h	112	112	110	112	118	105
4.40 h	116	117	110	112	118	105
4.45 h	114	122	104	113	120	104
4.50 h	114	115	114	113	120	104
4.55 h	115	117	109	113	118	103
5.00 h	112	112	110	113	110	84
5.05 h	112	114	110	113	110	84
5.10 h	109	113	108	116	110	84
5.15 h	110	112	107	110	114	99
5.20 h	111	112	113	110	114	99
5.25 h	114	113	113	110	114	99
5.30 h	108	114	111	113	113	101
5.35 h	111	110	107	109	115	100
5.40 h	112	111	110	110	114	100
5.45 h	110	117	110	110	114	100

Tabelle A4.2-1: Skizze des Vorgehens zur Ermittlung der effektiven Fahrzeitverteilung auf der A1 zwischen Bern und Zürich. Gelb bzw. rot sind zwei Fahrten sowie die jeweiligen Durchschnittsgeschwindigkeiten pro Teilabschnitt symbolisiert.

(3) Als Vergleich wird folgende Fahrzeitverteilung ermittelt:

- Innerhalb einer gegebenen Q-Klasse wird die Fahrzeitverteilung pro Teilabschnitt durch eine Normalverteilung approximiert (Kenngrößen Mittelwert und Standardabweichung).
- Die Fahrzeitverteilungen pro Teilabschnitt werden als unabhängig angenommen und aggregiert.

Beschränkt man sich jeweils auf Datenpunkte mit Verkehrsstärke Q von 0 - 800 / 800 – 1'600 / 1'600 – 2'400 / 2'400 – 3200 Fz/h, so ergeben sich die nachfolgend dargestellten Ergebnisse.

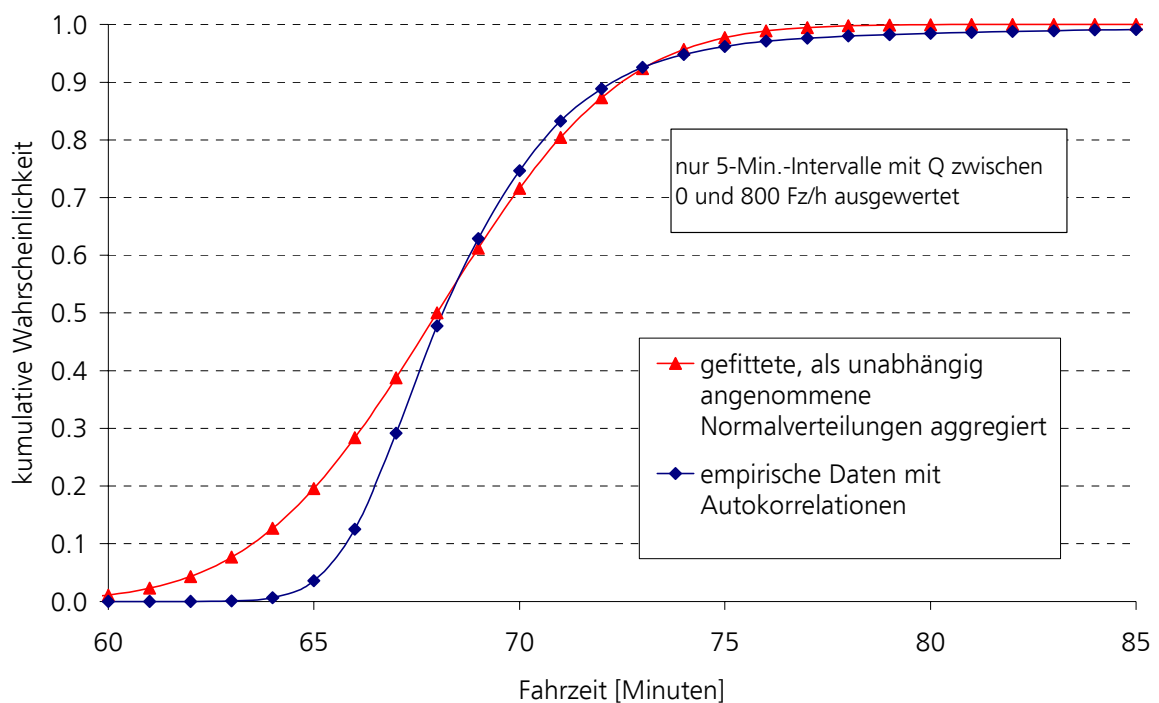


Abbildung A4.2-1: Einfluss von Fahrzeitkorrelationen auf verschiedenen Teilabschnitten am Bsp. der A1 zwischen Bern und Zürich (nur Fahrten mit $Q < 800$ Fz/h)

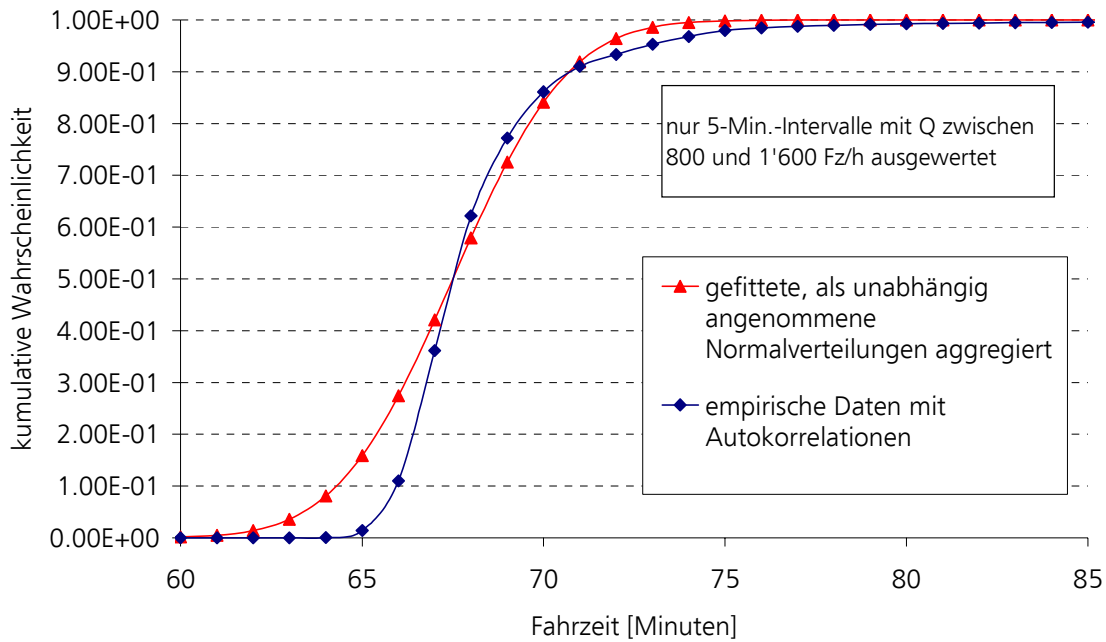


Abbildung A4.2-2: Einfluss von Fahrzeitkorrelationen auf verschiedenen Teilabschnitten am Bsp. der A1 zwischen Bern und Zürich (nur Fahrten mit $800 \leq Q < 1'600$ Fz/h)

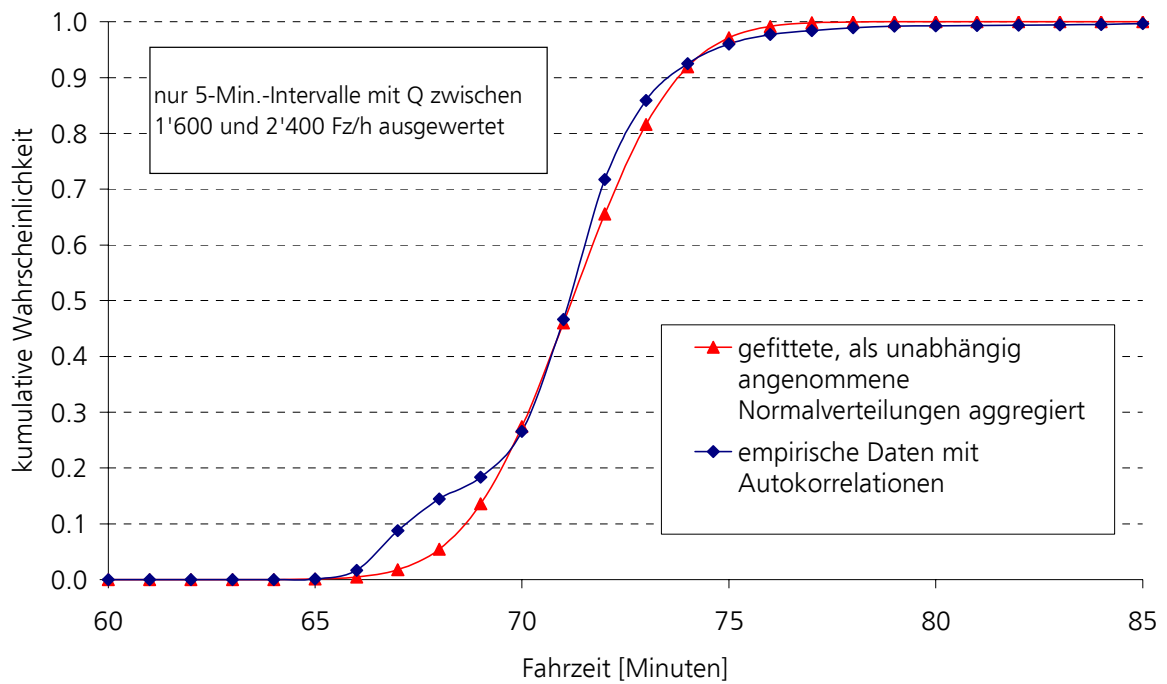


Abbildung A4.2-3: Einfluss von Fahrzeitkorrelationen auf verschiedenen Teilabschnitten am Bsp. der A1 zwischen Bern und Zürich (nur Fahrten mit $1'600 \leq Q < 2'400$ Fz/h)

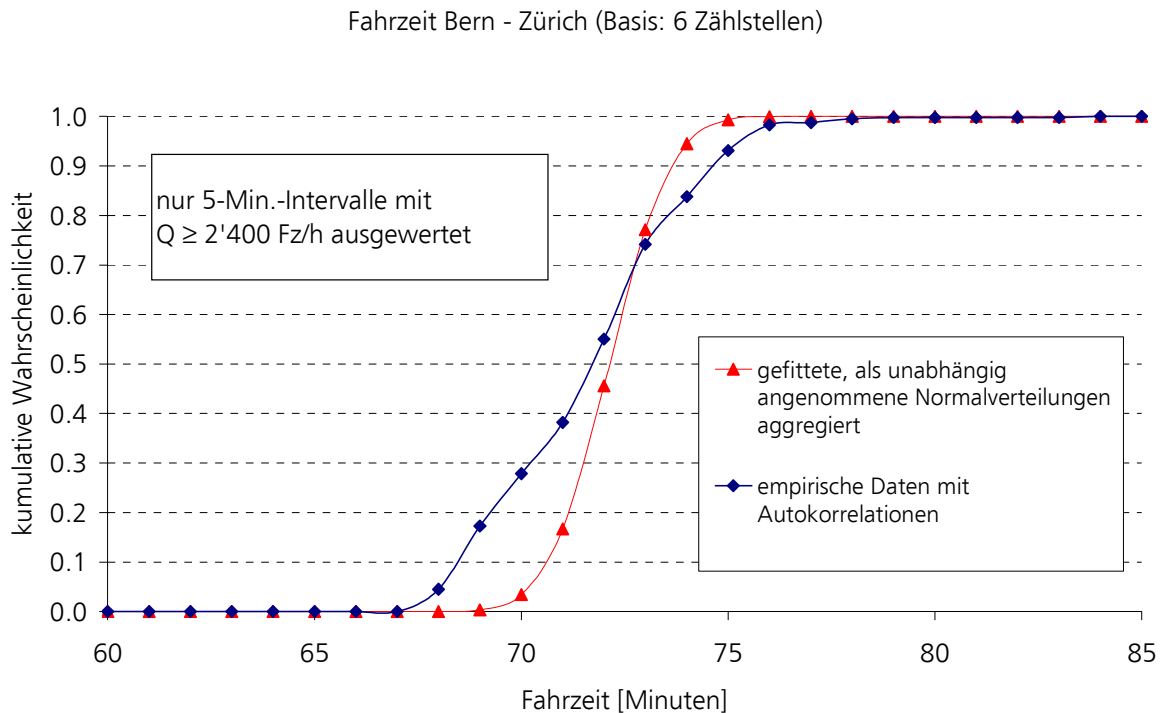


Abbildung A4.2-4: Einfluss von Fahrzeitkorrelationen auf verschiedenen Teilabschnitten am Bsp. der A1 zwischen Bern und Zürich (nur Fahrten mit $Q \geq 2'400$ Fz/h)

(4) Als Fazit der Untersuchungen zu den vorhandenen Abhängigkeiten zwischen Fahrzeitverteilungen auf Autobahnen kann festgehalten werden, dass die effektiven Fahrzeitverteilungen infolge der vorhandenen Korrelationen breiter sind. Dies bedeutet, dass die Verfrühungs- und Verspätungsrisiken unterschätzt werden, wenn bei einer Aggregation der Fahrzeitverteilungen auf Teilabschnitten von der vereinfachenden Annahme unabhängiger Fahrzeitverteilungen ausgegangen wird.

A4.3 Auswertung der Korrelation von Reisegeschwindigkeiten anhand von Floating-Car-Daten

Grundlagen

Eine Ermittlung der Reisezeit für einen Weg erfolgt in der Regel über abgeschätzte Geschwindigkeiten. Unabhängig davon, ob mit mittleren Geschwindigkeiten oder Geschwindigkeitsverteilungen gerechnet wird, besteht in der Regel die Annahme, dass die Geschwindigkeiten zwischen den einzelnen Strassenabschnitten nicht korrelieren. Unter Korrelation soll hier ein Zusammenhang zwischen den Reisegeschwindigkeiten auf einem Strassenabschnitt mit auf diesen

Abschnitt folgenden Abschnitten verstanden werden. D. h. fährt ein Fahrzeug auf dem aktuellen Abschnitt langsamer (schneller) als die Durchschnittsgeschwindigkeit, so besteht eine (positive) Korrelation, wenn es auch auf folgenden Abschnitten langsamer (schneller) als der Durchschnitt fahren kann.

Auswertungen

Datenbasis

(1) Als Datenbasis eignen sich in der Regel nur GPS-Aufzeichnungen (Global Positioning System) von Fahrzeugen im fließenden Verkehr (floating car data, FCD), da mit diesen Daten die relevanten Fahrgeschwindigkeiten ermittelt werden können und so eine hohe Anzahl von Abschnitten verglichen werden kann.

(2) Am IVT der ETH Zürich wurden im November 2003 während drei Wochen Rundfahrten durch den Kanton Zürich durchgeführt, bei denen GPS-Messungen aufgezeichnet wurden. Die vom Kanton Zürich in Auftrag gegebene Studie umfasst Messungen von etwa 33.000 Fz-km während 18 Tagen. Die GPS-Daten wurden Strecken des kantonalen Netzmodells zugeordnet (KVM 98, Jenni und Gottardi AG), auf dessen Grundlage Streckengeschwindigkeiten ermittelt wurden. Da offensichtlich unterschiedliche Verkehrszustände und Verkehrsmengen Korrelationsberechnungen beeinflussen, wurde eine Einteilung der Messwerte in folgende drei Gruppen vorgenommen:

- Hauptverkehrszeit: 6:30 - 8:30 und 16:30 - 18:30 (wochentags)
- Nebenverkehrszeit: 8:30 - 16:30 and 18:30 - 20:30 (wochentags)
- Randverkehrszeit: 6:00 - 6:30 und 20:30 - 21:00 (wochentags)

Methodik

(1) Für die Gruppen Hauptverkehrszeit, Nebenverkehrszeit und Randverkehrszeit wurden jeweils die Geschwindigkeitskorrelationen unter folgenden zusätzlichen Randbedingungen ermittelt:

- Zeit der Messung 1 \leq Zeit der Messung 2 (Konsistenz der Reihenfolge)
- Die Reisezeit von Punkt 1 zu Punkt 2 muss der Netzwerkreisezeit ± 15 Minuten entsprechen, wobei von den mittleren Reisezeiten auf dem zeitlich kürzesten Weg im kantonalen Netzmodell ausgegangen wird.

(2) Untersuchungsgegenstand ist die Korrelation von Geschwindigkeiten auf Strecken gleichen Typs: Hochleistungsstrassen, Hauptverkehrsstrassen, Sammelstrassen und Erschliessungsstrassen. Unterschieden wird nach Abstand der Streckenabschnitte (Mittelpunkt zu Mittelpunkt auf dem zeitlich kürzesten Weg) in Form von Knotenpunkten. D. h., es werden für jeden Strassentyp Korrelationskoeffizienten ermittelt für Abschnitte, die n Knotenpunkte voneinander entfernt sind. Es wird dabei angenommen, dass an Knotenpunkten Änderungen der gleichmässig angesehenen

Geschwindigkeit auftreten können. Zusätzlich wird der Idee Rechnung getragen, dass sich das Verkehrsgeschehen auf untergeordneten Strassen in kürzeren Distanzen ändert als auf übergeordneten Strassen, was durch die unterschiedlichen Knotenpunktabstände kompensiert werden kann.

(3) Abbildung A4.3-1 zeigt ein gültiges Fahrzeugpaar für die Korrelationsberechnung innerhalb des als Randbedingung gegebenen Zeitfensters.

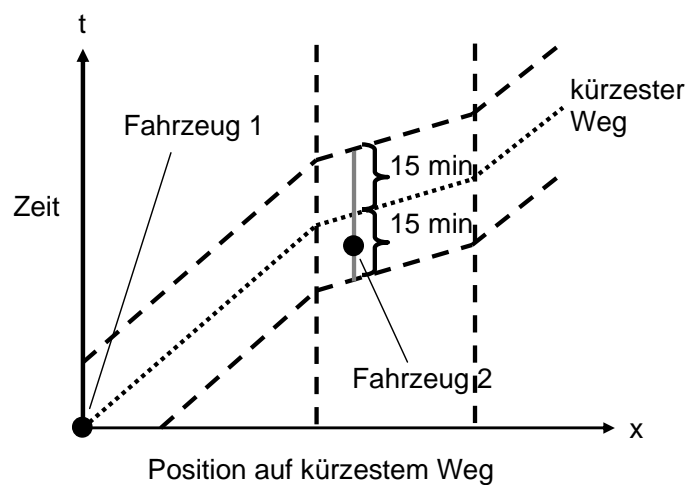


Abbildung A4.3-1: Auswahl von Fahrzeugen für Korrelationsberechnung

Auswertungen

(1) Die Ergebnisse der Auswertung der Korrelationskoeffizienten für die drei Verkehrszeiten sind Abbildung A4.3-2 zu entnehmen. In der Grafik sind für die Strassentypen Hochleistungsstrassen, Haupt-/Verbindungsstrassen, Sammelstrassen und Erschliessungsstrassen nur die Korrelationskoeffizienten aufgeführt, die nach einem t-Test einen mit 95% Wahrscheinlichkeit von null verschiedenen Wert aufgewiesen haben. Besonders bei den Erschliessungsstrassen, für die nicht viele Messungen vorlagen, wurden viele insignifikante Werte ermittelt. Die Werte für die Randverkehrszeit (vgl. Abbildung A4.3-2c) basieren auf einer deutlich kleineren Datengrundlage, da nur während des kurzen Zeitraums von 6:00 - 6:30 und 20:30 - 21:00 Uhr gemessen wurde.

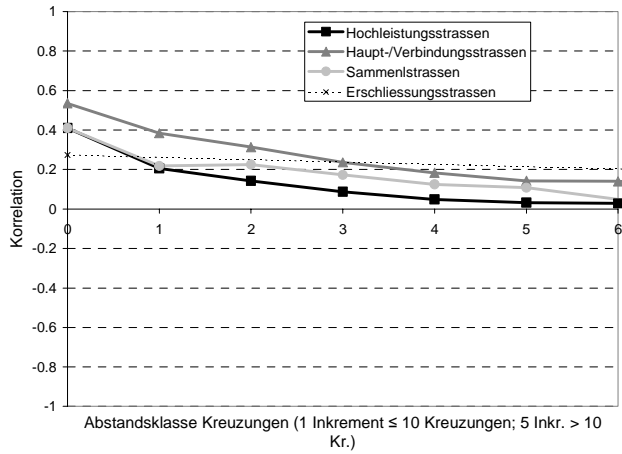
(2) Es zeigt sich in Abbildung A4.3-2, dass die Korrelationskoeffizienten abhängig von der Anzahl der Knotenpunkte etwa hyperbolisch abnehmen. Da ein Knotenpunkt so definiert wurde, dass sich die Verkehrsstärke an dieser Stelle ändern kann, liegt bei Streckenabschnitten, die nicht durch einen Knotenpunkt getrennt sind (Position 0 auf der X-Achse) erwartungsgemäss eine hohe Korrelation der Geschwindigkeiten vor. Vergleicht man die Verkehrszeiten unterein-

ander, so lässt sich allgemein sagen, dass die Korrelation der Streckengeschwindigkeiten der Hochleistungsstrassen während der Hauptverkehrszeit grösser als zur Nebenverkehrszeit ist. Die Korrelationskoeffizienten der Hauptverkehrsstrassen und Sammelstrassen bewegen sich zur Haupt- und Nebenverkehrszeit etwa auf ähnlichem Niveau. Eine Begründung für diese Ergebnisse können die hohen Verkehrsbelastungen auf den Hochleistungsstrassen während der Hauptverkehrszeit sein, während der das Hochleistungsstrassennetz gleichmässig und recht stark ausgelastet ist. Im Gegensatz hierzu sind auf den untergeordneten Strassen regional unterschiedliche Geschwindigkeiten anzunehmen, bei denen beispielsweise im stadtnahen Bereichen Geschwindigkeiten unterhalb des Mittelwerts dieses Strassentyps erreicht werden, wohingegen in stadtfernen Regionen ohne Verbindungsfunktion und starken Pendelverkehr auch zur Hauptverkehrszeit keine grossen Geschwindigkeitseinbussen zu verzeichnen sind und somit der Verkehr hier über der Durchschnittsgeschwindigkeit liegt.

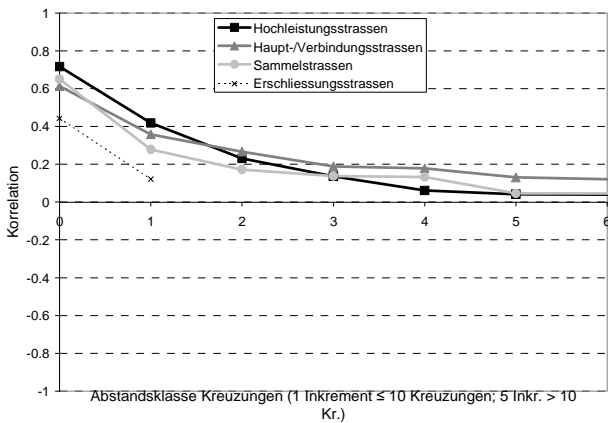
(3) Wird die Korrelation der Streckengeschwindigkeiten aufeinander folgender Abschnitte vernachlässigt, so wird der Nutzen einer Ausbaumassnahme unterschätzt, da bei der Annahme von Unabhängigkeit der Streckengeschwindigkeiten die zu erwartenden Reisezeiten der aus den einzelnen Strecken zusammengesetzten Wege der Mittelwert der einzelnen Streckenfahrzeiten ist.

(4) Werden Hochleistungsstrassen zur Hauptverkehrszeit betrachtet, die durch die grossen Verkehrsmengen zu dieser Zeit einen grossen Anteil der gesamten Reisezeitkosten erzeugen, so ist der Fehler einer Vernachlässigung der Korrelation nicht sehr gross, da die Korrelation dieses Strassentyps zur Hauptverkehrszeit nicht sehr hoch ist (vgl. Abbildung A4.3-2).

(a) Hauptverkehrszeit



(b) Nebenverkehrszeit



(c) Randverkehrszeit

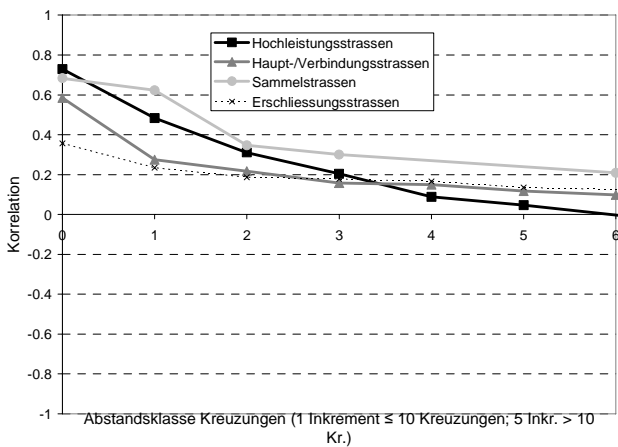


Abbildung A4.3-2: Korrelation der Reisegeschwindigkeiten separiert nach Verkehrszeit für vier Strassentypen, kategorisiert nach Abstand in Anzahl Kreuzungen

A5 SVI-Publikationsliste

**Forschungsberichte auf Antrag der Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)
Rapports de recherche sur proposition de l'Association suisse des ingénieurs en transports**

(erschienen im Rahmen der Forschungsreihe des UVEK / parus dans le cadre des recherches du DETEC)

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(*R. Müller*)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(*Seiler Niederhauser Zuberbühler*)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(*E. Stadtmann*)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(*Prof. H. Brändli*)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(*SNZ Ingenieurbüro AG*)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(*Weber Angehrn Meyer*)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(*Emch + Berger AG*)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(*Glaser + Saxer*)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(*Transitec*)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(*Balzari & Schudel AG*)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(*Weber Angehrn Meyer*)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und –technische Massnahmen***
(*Metron AG*)
- 1987 **Provisorischer Behelf für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(*Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer*)
- 1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(*Rapp AG*)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(*IVT, ETH Zürich*)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(*Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer*)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(*P. Widmer*)
- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(*Toscano-Bernardi-Frey AG*)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(*Abay & Meyer*)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(*Zwicker und Schmid*)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(*IVT, ETH Zürich*)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(*Weber Angehrn Meyer*)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(*Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmoplan AG*)
- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(*Basler & Partner AG*)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(*Jud AG*)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(*U. Schwegler*)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(*Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer*)
erschieden auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(*J. Dietiker*)

- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen – Immissionen ***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmoplan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschienen als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/parus comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)
- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschienen als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfragen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)
- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **„Kernfahrbahnen“ Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten ***
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)

- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)
- 2000 **Dephi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)
- 2000 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable: Experimente mit verschiedenen Befragungssätzen**
(IVT - ETHZ)
- 2001 **Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)
- 2001 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(G. Abay und K.W. Axhausen)
- 2001 **Véhicules électriques et nouvelles formes de mobilité**
(Transitec Ingénieurs-Conseils SA)
- 2001 **Besetzungsgrad von Personenwagen: Analyse von Bestimmungsgrößen und Beurteilung von Massnahmen zu dessen Erhöhung**
(RAPP AG Ingenieure + Planer)
- 2001 **Grobkonzept zum Aufbau einer multimodalen Verkehrsdatenbank**
(INFRAS)
- 2001 **Ermittlung der Gesamtleistungsfähigkeit (MIV + OEV) bei lichtsignalgeregelten Knoten**
(büro S-ce Simon-consulting-engineering)
- 2001 **Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin**
(U. Schwegler Büro für Verkehrsplanung)
- 2001 **GIS als Hilfsmittel in der Verkehrsplanung**
(büro widmer)
- 2001 **Umgestaltung von Strassen im Zuge von Erneuerungen**
(Infraconsult AG + Zeltner + Maurer AG)
- 2001 **Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personenwagen**
(Prognos AG, Emch+Berger AG, IVU Traffic Technologies AG)
- 2002 **Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen - Auswirkungsanalyse**
(Metron AG, Neosys AG, Hochschule Rapperswil)
- 2002 **Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der im Transportwesen geltenden Umweltschutzbestimmungen; unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs beim Strassenverkehrslärm**
(B+S Ingenieur AG)
- 2002 **Nachhaltigkeit und Koexistenz in der Strassenraumplanung**
(Berz Hafner + Partner AG)
- 2002 **Warum steht P. Müller lieber im Stau als im Tram?**
(Planungsbüro Jürg Dietiker / MOVE RAUM P. Regli / Landert Farago Davatz & Partner / Dr. A. Zeyer)
- 2002 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2002 **Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken**
(Arbeitsgemeinschaft Büro für Mobilität / V. Häberli / A. Blumenstein / M. Wälti)
- 2002 **Carreiseverkehr: Grundlagen und Perspektiven**
(B+S Ingenieur AG / Gare Routière de Genève)
- 2002 **Potentielle Gefahrenstellen**
(Basler & Hofmann / Psychologisches Institut der Universität Zürich)
- 2003 **Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen**
(Infras / M. Peter / N. Schmidt / M. Maibach)
- 2002 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2002 **Mischverkehr MIV / ÖV auf stark befahrenen Strassen**
(Verkehrsingenieurbüro TEAMverkehr)
- 2003 **Vorstudie zu den Wechselwirkungen Individualverkehr – öffentlicher Verkehr infolge von Verkehrstelematik-Systemen**
(Abay & Meier, Zürich)
- 2003 **Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**
(WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn)
- 2003 **Erfolgskontrolle von Umweltschutzmassnahmen bei Verkehrsvorhaben**
(Metron Landschaft AG, Brugg / Quadra GmbH, Zürich / Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2004 **Perspektiven für kurze Autos**
(Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon)
- 2004 **Lange Planungsprozesse im Verkehr**
(BINARIO TRE, Windisch)

- 2004 **Auswirkungen von Personal Travel Assistance (PTA) auf das Verkehrsverhalten**
(Ernst Basler und Partner AG, Zürich)
- 2004 **Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT / Rapp Trans AG, Zürich)
- 2004 **Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Verfahren von Technology Assessment im Verkehrswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich / IKAÖ, Bern / Interface, Luzern)
- 2004 **Mobilitätsdatenmanagement für lokale Bedürfnisse**
(SNZ, Zürich / TEAMverkehr, Cham / Büro für Verkehrsplanung, Fischingen)
- 2004 **Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Verkehr - Vorstudie**
(INFRAS, Bern)
- 2004 **Standards für intermodale Schnittstellen im Verkehr**
(synergo, Zürich / ILS NRW, Dortmund)
- 2005 **Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze**
(büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Wirksamkeit und Nutzen der Verkehrsinformation**
(B+S Ingenieure AG, Bern / Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2005 **Spezialisierung und Vernetzung: Verkehrsangebot und Nachfrageentwicklung zwischen den Metropolitanräumen des Städtesystems Schweiz**
(synergo, Zürich)
- 2005 **Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft**
(ECOPLAN, Altdorf und Bern / büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Cleaner Drive**
Hindernisse für die Markteinführung von neuen Fahrzeug-Generationen
(E'mobile, der Schweizerische Verband für elektrische und effiziente Strassenfahrzeuge, Urs Schwegler)
- 2005 **Spezifische Anforderungen an Autobahnen in städtischen Agglomerationen**
(Ingenieur- und Planungsbüro Dr. Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Instrumente für die Planung und Evaluation von Verkehrssystem-Management-Massnahmen**
(Jenni + Gottardi AG, Zürich / Universität Karlsruhe)
- 2005 **Trafic de support logistique de grandes manifestations (Betriebsverkehr von Grossanlässen)**
(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)
- 2005 **Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze**
(Ingenieurbüro Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Angebote und Erfolgskriterien im nächtlichen Freizeitverkehr**
(Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2005 **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge - Eine Wirkungsanalyse der Projekte VEL2 (Tessin) und NewRide in Basel und Zürich**
(Rapp Trans AG, Zürich / Interface, Luzern)
- 2006 **Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des MIV am Beispiel des Förderprogramms VEL2 im Kanton Tessin**
(Università della Svizzera Italiana, Lugano / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2006 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
Indikatoren im Bereich Gesellschaft
(Ernst Basler + Partner AG, Zollikon / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2006 **Früherkennung von Entwicklungstrends zum Verkehrsangebot**
(Interface - Institut für Politikstudien, Luzern)
- 2006 **Publikumsintensive Einrichtungen PE: Planungsgrundlagen und Gesetzmässigkeiten**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg / Transitec Ingenieurs-Conseils SA, Lausanne / Fussverkehr Schweiz, Zürich)
- 2006 **Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs**
(IRAP, Hochschule für Technik, Rapperswil / Fussverkehr Schweiz, Zürich / Pestalozzi & Stäheli, Basel / Daniel Sauter, Urban Mobility Research, Zürich)
- 2006 **Verkehrstechnische Beurteilung multimodaler Betriebskonzepte auf Strassen innerorts**
(S-ce Simon consulting experts, Zürich)
- 2006 **Beurteilung von Busbevorzugungsmassnahmen**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2006 **Error Propagation in Macro Transport Models**
(Systems Consult, Monaco / B+S Ingenieur AG, Bern)

* vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden
*épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés