

ARE

NEUBERECHNUNG DER STAUZEIT- KOSTEN

Schlussbericht
Bern, 20. April 2012

Mario Keller, Philipp Wüthrich

STAUZEITKOSTEN_20120420_V4.DOC



INFRAS

INFRAS

**MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN
t +41 31 370 19 19
f +41 31 370 19 10
BERN@INFRAS.CH**

**BINZSTRASSE 23
POSTFACH
CH-8045 ZÜRICH**

WWW.INFRAS.CH

INHALT

1.	AUSGANGSLAGE UND FRAGESTELLUNG	4
1.1.	AUSGANGSLAGE	4
1.2.	AUFGABENSTELLUNG	6
2.	METHODISCHE ERWÄGUNGEN	7
2.1.	ZUM BEGRIFF STAU	7
2.2.	STAUMASSE	7
2.3.	DATENQUELLEN	9
2.4.	ANSÄTZE ZUR BEANTWORTUNG DER ZWEI FRAGEN	11
3.	ERMITTLUNG DER STAUZEITKOSTEN INSGESAMT	17
3.1.	EINLEITUNG	17
3.2.	STAUZEITKOSTEN AUF AUTOBAHNEN	17
3.2.1.	Analyse der Staustatistik	18
3.2.2.	Analyse der Zählstellen-Daten („Online-Daten“)	21
3.2.3.	Vergleich Staudauer zwischen Staustatistik und ASTRA-ZählDaten	23
3.2.4.	Berechnung der Stauzeitkosten auf der Basis der ASTRA-Messungen	30
3.2.5.	Stauzeitverluste auf Autobahnen	35
3.2.6.	Berechnung der Stauzeitkosten	40
3.3.	STAUZEITKOSTEN AUF DEM ÜBRIGEN STRASSENNETZ	42
3.3.1.	Ausgangslage	42
3.3.2.	Berechnung auf der Basis einer neuen Datenquelle	42
3.3.3.	Würdigung	44
3.4.	ZUSAMMENFASSUNG	45
4.	BERECHNUNG DES ANTEILS DER DURCH DEN SCHWERVERKEHR VERURSACHTEN STAUZEITKOSTEN	47
4.1.	METHODIK	47
4.2.	ERGEBNISSE	50
4.3.	SCHLUSSBEMERKUNGEN	53
ANNEX		55
ANNEX 1: ILLUSTRATION FAHRPROFIL (ZEIT VS. DISTANZ)		55
ANNEX 2: FAHRZEUGSTAUSTUNDEN UND STAUZEITKOSTEN AUF AUTOBAHNEN FÜR DIE JAHRE 2008 BIS 2010		56
ANNEX 3: ILLUSTRATION DES GEMEINSAMEN NETZES „GVM BERN“ / „SPEED-PROFILES“		58

ANNEX 4: STAUZEITEN UND STAUZEITKOSTEN ZUR BESTIMMUNG DES ANTEILS DES SCHWERVERKEHRS (2009)	59
ANNEX 5: ANTEILS DES SCHWERVERKEHRS AN DEN STAUZEITKOSTEN 2008 UND 2010	61
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	62
LITERATURVERZEICHNIS	63

1. AUSGANGSLAGE UND FRAGESTELLUNG

1.1. AUSGANGSLAGE

Hintergrund der Neubeurteilung der Frage, wie hoch die staubedingten Kosten im Strassenverkehr sind, ist eine gerichtliche Auseinandersetzung. Darin haben Vertreter des Strassentransportgewerbes gestützt auf eigene Gutachten (Berichte ProgTrans, im Auftrag ASTAG [ProgTrans 2011]) die Auffassung vertreten, die – gestützt auf Gutachten von Eco-plan/Infras ermittelten externen Kosten, die dem Schwerverkehr angelastet würden – seien deutlich zu hoch. Einer der Kritikpunkte betrifft die sog. Stauzeitkosten, also Kosten, die dadurch entstehen, dass die Verkehrsteilnehmer Zeitverluste erleiden, weil das Strassensystem zeitweise und/oder örtlich punktuell nicht genügend Kapazität vorhält, um üblicherweise erwartbare oder erwartete Reisezeiten zu ermöglichen. (Andere Aspekte wie Unfallkosten, die in dieser Auseinandersetzung ebenfalls zur Debatte standen, werden in der vorliegenden Untersuchung nicht weiter betrachtet).

In dieser Auseinandersetzung ging es im Wesentlichen um zwei Punkte:

- › zum einen um einen „Sichtwechsel“ von der Sichtweise „Verkehrsträger“ hin zur Sichtweise „Verkehrsart“. Die ursprünglich von der Bundesverwaltung vorgelegten Zahlen zu den Stauzeitkosten (im Umfang von 204 Mio CHF für das Jahr 2005) entsprachen den von den Verkehrsteilnehmern (also auch vom Schwerverkehr) „erlittenen“ Stauzeitkosten (=Sichtweise „Verkehrsträger“). Das Bundesverwaltungsgericht hat in den Erläuterungen zu seinem Urteil vom 21. Oktober 2009 dargelegt, dass das SVAG (Schwerverkehrsabgabengesetz) es nahelege, der Berechnung der externen Kosten des Schwerverkehrs die Sichtweise „Verkehrsart“ zugrunde zu legen, also jene Kosten, die der Schwerverkehr andern Verkehrsteilnehmern auferlegt. Dies wurde zwischenzeitlich von der Bundesverwaltung so übernommen. Die ursprünglich herangezogenen Werte (basierend auf der Staukosten-Studie von Infras [2007]) wurden deshalb durch eine Pilot-Studie (Ecoplan/Infras 2010) ergänzt, welche diese neue Sichtweise anwenden sollte. Weil in der Fachwelt keine etablierte Methodik vorliegt, welche unmissverständlich entsprechende Abschätzungen erlauben würde, beschritt man damit Neuland, deshalb wurde auch der Begriff „Pilot-Studie“ gewählt. Darin wurden die dem Schwerverkehr anrechenbaren Stauzeitkosten auf 270 Mio CHF (für das Jahr 2008) bzw. 254 Mio CHF (für das Jahr 2009) veranschlagt.
- › Als zweiter Punkt wurde in der gerichtlichen Auseinandersetzung ins Feld geführt, der Umfang der ausgewiesenen Stauzeitkosten insgesamt sei überhöht, und es lägen inzwischen neuere Grundlagen vor, welche eine präzisere (und tiefere) Einschätzung der Stau-

zeitkosten ermöglichen würden. Insbesondere wurden von ProgTrans (im Auftrag der ASTAG) eigene Abschätzungen vorgelegt, welche diese Kosten deutlich tiefer einstufen. Überdies hat dieses Gutachten auch den in der oben erwähnten Pilotstudie entwickelten Ansatz grundsätzlich in Frage gestellt und mehrere Annahmen kritisiert.

Das Bunderverwaltungsgericht hat inzwischen mit Verfügung vom 24. Jan. 2012 die Bundesverwaltung angewiesen, die Stauzeitkosten bis zum 26. April 2012 neu zu beziffern.

Dabei seien die vom Bundesgericht gemachten Vorgaben einzuhalten, namentlich:

- › Bei der Berechnung sei die Sichtweise „Verkehrsart“ (und nicht „Verkehrsträger“) zu wählen. Das heisst, es sind nur jene Stauzeitkosten zu berücksichtigen, welche der Schwerverkehr den übrigen Verkehrsteilnehmern verursacht.
- › Strassenstaus seien „schematisch und approximativ“ zu quantifizieren und den Teilkollektiven Schwerverkehr einerseits und Nichtschwerverkehr andererseits nach Massgabe ihrer Verursacheranteile zuzuordnen. Dabei sei von der Irrelevanz der vom Nichtschwerverkehr dem Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten auszugehen.
- › Es sei von einem Vergleich der Situation unter Einbezug des Schwerverkehrs mit einer Situation der Strassenbenutzung *ohne* Schwerverkehr auszugehen. D.h. es sind dem Schwerverkehr sämtliche Stauzeitkosten zuzurechnen, welche den übrigen Verkehrsteilnehmern entstehen, weil der Schwerverkehr zum Verkehrsgeschehen hinzutritt – und nicht nur jene Kosten anzulasten, die auf die – gemessen am einzelnen Fahrzeug im Verhältnis zu Personenwagen – intensivere Inanspruchnahme der Infrastruktur zurückgeht, was Infras in der Pilotstudie mit „gesteigerter Gemeingebrauch“ umschrieben hat.
- › Bei der Ermittlung der Kosten seien auch nicht verkehrsbedingte Staus (wie Baustellen, Wetter etc.) mitzuberoücksichtigen.
- › Es seien die Stauzeitkosten für das Jahr 2009 auszuweisen.

Vor diesem Hintergrund hat das ARE Infras beauftragt, die Pilotstudie zu überarbeiten. Dabei seien einerseits die neuen Vorgaben des Bundesgerichts zu berücksichtigen, andererseits, wo angezeigt, auch die im ProgTrans-Gutachten geäusserten Kritikpunkte und Anregungen.

Insbesondere die dritte der oben genannten Vorgaben des Bundesgerichts kann als inhaltliche Kritik an der Pilotstudie verstanden werden. Infras hat dort die effektive Verkehrssituation nicht mit einer solchen ohne jeglichen Schwerverkehr verglichen, sondern mit einem Zustand, in welchem die Schwerverkehrsfahrzeuge wie eine Personenwageneinheit gewichtet wurden. Dabei hat Infras die jetzt vom Bundesgericht angeordnete Vorgabe

erörtert, aber verworfen. Es ist aber offenkundig, dass unter Annahme sonst gleichbleibender Rahmenbedingungen die bundesgerichtliche Vorgabe zwangsläufig zu einer höheren Belastung des Schwerverkehrs führt.

1.2. AUFGABENSTELLUNG

Vor diesem Hintergrund stellen sich bei der Neubeurteilung zwei Fragen:

- › Wie gross ist der Umfang der Stauzeitkosten insgesamt?
- › Wie gross ist der Anteil jener Stauzeitkosten, welcher der Schwerverkehr den andern Verkehrsteilnehmern auferlegt. (Explizit nicht gefragt ist, wie gross der Anteil der Stauzeitkosten ist, welche die andern Verkehrsteilnehmergruppen dem Schwerverkehr aufbürden [„Irrelevanz der vom Nichtschwerverkehr dem Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten“]).

Angesichts der knappen verfügbaren Zeit konnte keine umfassende grundlegende Überarbeitung durchgeführt werden. Allerdings liegen heute empirische Grundlagen vor, die vor rund 6 Jahren (zum Zeitpunkt der Durchführung der sog. Staukostenstudie [Infras 2007]) noch nicht im gleichen Mass verfügbar und zugänglich waren. Im Rahmen des zeitlich Möglichen wurden deshalb solche Grundlagen für die vorliegende Arbeit herangezogen. Allerdings ist absehbar, dass sich die Datensituation künftig namentlich aufgrund der Entwicklung im Telekom- und Informatik-Bereich noch deutlich verbessern wird (z.B. zunehmende Nutzung von sog. Floating car data, welche Rückschlüsse auf den effektiven Zeitbedarf im Verkehr zulassen). Im Sinne der Vorgabe von Art. 7 Abs. 3 SVAG, wonach die Berechnung der externen Kosten und Nutzen des Schwerverkehrs periodisch nachzuführen sei und dem jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu entsprechen habe, kann auch die vorliegende Untersuchung also nur als Zwischenschritt betrachtet werden.

2. METHODISCHE ERWÄGUNGEN

2.1. ZUM BEGRIFF STAU

Staus entstehen, wenn die Nachfrage auf einer Verkehrsanlage ihre Kapazität erreicht oder überschreitet. Das äussert sich im Strassenverkehr durch zunehmende gegenseitige Behinderung und letztlich abnehmende Geschwindigkeit – bis hin zum völligen Verkehrszusammenbruch, sprich Stillstand der Fahrzeuge. Die häufigsten Staus resultieren durch Überlastung einer Verkehrsanlage, d.h. einer über der Kapazität liegenden Nachfrage. Allerdings kann die Kapazität auch schlagartig reduziert (z.B. infolge von Unfällen, kurzzeitig bis auf Null bei Sperrung einer Achse) oder auch zeitlich begrenzt vermindert werden (z.B. durch Baustellen). Für die Benutzer einer Verkehrsanlage äussert sich dies in jedem Fall gleich, nämlich in entsprechenden Zeitverzögerungen und Zeitverlusten.

Eine Schwierigkeit – insbesondere für die Hochrechnung der Stauzeitkosten über ein gesamtes Verkehrssystem – ergibt sich aus dem Umstand, dass Kapazitäten keine präzisen fixen Grössen sind. Vielmehr handelt es sich um stochastische Grössen. Dies führt dann zu relativ offenen Formulierungen, etwa, dass die Kapazität beispielsweise einer Autobahnstrecke jener Verkehrsstärke entspricht, welche im fließenden Verkehr abgewickelt werden kann und jenseits derer ein Verkehrszusammenbruch eintritt. Wie noch zu zeigen ist, variiert dieser Punkt selbst am gleichen Ort deutlich und lässt sich streng genommen nicht mit einer einzigen Zahl erfassen, weshalb sich dafür eher Verteilungsfunktionen anbieten würden, was aber die Berechnungen zwangsläufig verkomplizieren würde.

2.2. STAUMASSE

Wie Stau gemessen werden soll, ist nicht a priori klar. Offenkundig haben die Masse immer mit Zeitverzögerungen zu tun. Für die Erfassung von Staus existieren verschiedene Masse, die ihrerseits abhängig sind vom Kontext, wofür sie gebraucht werden. Bereits in der Staukosten-Studie wurden verschiedene Masse zitiert (nach TTI 1997):

MASSE FÜR DIE QUANTIFIZIERUNG VON STAU

Travel Rate (Min. per km) = Travel Time [Min.] / Segment Length [km] = 60 / Average Speed [km/h]

Delay Rate (Min. per km) = Actual Travel Rate (Min./km) – Acceptable Travel Rate (Min./km)

Total Segment Delay (vehicle-minutes) = (Actual Travel Time – Acceptable Travel Time) * Vehicle Volume

Corridor Mobility Index = Passenger Volume * Average Travel Speed / Normalizing Value (e.g. 25'000 for Streets, 125'000 for freeways)

Relative Delay Rate = Delay Rate / Acceptable Travel Rate

Delay Ratio = Delay Rate / Actual Travel Rate

Congested Travel (vehicle-km) = Sum of all (Congested Travel Length * Traffic volume)

Congested Roadway (km) = Sum of all Congested Travel Segment Lengths (km)

Accessibility (opportunities) = Sum of Objective fulfilment opportunities (e.g. jobs), where Travel Time < Acceptable Travel Time

Figur 1 nach TTI 1997

Brilon/Estel (2008) diskutieren ebenfalls eine Liste von Bewertungskriterien zur Charakterisierung von Überlastungssituationen, namentlich

- › Verlustzeiten,
- › Geschwindigkeiten (in verschiedenen Ausprägungen),
- › Wartezeiten,
- › Überlastungsdauer,
- › Überlastungswahrscheinlichkeit (in verschiedenen Ausprägungen wie sie etwa in den USA vor allem benutzt werden, insbesondere die Häufigkeit von Überlastungen, das 95-Perzentil der Reisezeit, ein Bufferindex [Zeitzuschlag zur zeitgerechten Erreichung eines Fahrtziels], ein Reisezeitindex [Vergleich der Reisezeit zwischen frei fließendem Verkehr und stark überlastetem Verkehr]),
- › Ganzjahresanalysen zur Ermittlung verschiedener Indikatoren wie die Staudauer, die Anzahl Überlastungsereignisse, die mittlere und maximale Staudauer, die Zeitverluste insgesamt pro Jahr, dadurch verursachte volkswirtschaftliche Kosten pro Jahr, Anteil der Fahrten im Stau, betroffene Verkehrsleistung,
- › Weitere Kriterien wie Erreichbarkeit, oder Verkehrsarbeit während Überlastungsphasen etc.

Diese Liste zeigt, dass es kaum ein einzelnes Mass gibt, das allen Bedürfnissen gerecht wird. Im vorliegenden Fall geht es um Stauzeitkosten. Dies setzt die Kenntnis der „Intensität“ voraus, d.h. nicht allein die Staudauer ist von Belang, vielmehr stehen die kumulierten Zeitverluste – ausgedrückt in **Fahrzeug-Stau-Stunden** – im Zentrum des Interesses¹. Diesen werden dann spezifische Kostenwerte (in CHF/Personen- oder Fahrzeug-Stunde) zugewiesen und können so monetarisiert werden.

2.3. DATENQUELLEN

Offensichtlich stellt sich die praktische Frage, wie die Fahrzeug-Stau-Stunden ermittelt werden können. Grundsätzlich gibt es verschiedene Ansätze – und entsprechend unterschiedliche Datensätze, die herangezogen werden können:

- › *Ereignis-bezogene Erfassung von Staus:* Bei diesem Ansatz sind die einzelnen Staus der Ausgangspunkt. Die über Radio und Internet verbreiteten Verkehrs- und Staumeldungen werden auch statistisch erfasst und abgelegt und stehen somit für die Auswertung zur Verfügung. Damit ist allerdings lediglich die Staudauer bekannt (und dies überdies nur für Autobahn-Abschnitte; für das Nicht-Autobahn-Netz werden zwar die Staumeldungen auch erfasst, aber – gemäss Viasuisse, der Stelle, welche diese Daten registriert – nicht systematisch ausgewertet und Dritten verfügbar gemacht). Für die andern, für eine Berechnung der Fahrzeug-Staustunden wichtigen Parameter, namentlich Staulängen sowie die Anzahl Fahrzeuge und Zeitbedarf in diesen Situationen, sind deshalb weitere Datenquellen (oder ergänzende methodische Ansätze) heranzuziehen. Diese Angaben sind dann den Stauereignissen „zuzuspielen“. ProgTrans hat in ihrer ASTAG-Studie diese Quelle ins Zentrum ihrer Neuberechnungen gestellt. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde diese Datenquelle ebenfalls herangezogen. Darauf wird in Abschnitt 3.2.1 näher eingegangen.
- › *Erfassung von Zeitverlusten:* Bei diesem Ansatz werden direkt die Zeitverluste gemessen (also jene Grösse, die hier interessiert). Dazu wird der Zeitbedarf für die gleiche Strecke von A nach B zu verschiedenen Zeitpunkten des Tages gemessen. Die Messung kann durch spezielle Erhebungsfahrten erfolgen (vgl. INFRAS 2007 [Kap. 3.2], wo zwei Studien aus dem Kanton Zürich bzw. Zug zitiert werden). Eine neuere Alternative basiert auf der automatischen Messung von Zeitpunkt und Standort von Fahrten von FahrzeughalterInnen, welche mit Mobiltelefonen oder Navigationsgeräten ausgerüstet unterwegs sind. Dabei

¹ Genaugenommen interessieren im Personenverkehr die Personen-Stunden, welche im Stau verbracht werden, gemessen wird jedoch in der Regel der Zeitbedarf der Fahrzeuge. Die Einheiten Personen und Fahrzeuge können über den Besetzungsgrad ineinander überführt werden. Aus Vereinfachungsgründen wird in der Folge immer auf Fahrzeugstunden Bezug genommen.

werden Ort und Zeit in kurzen Zeitabständen (einige Sekunden) registriert, woraus sich der Zeitbedarf (oder die mittlere Reisegeschwindigkeit) ableiten lassen. Die Fahrzeit-Differenzen zwischen Haupt- und z.B. Nebenverkehrszeit lassen Rückschlüsse zu auf die gesuchte gesamte Zeitverzögerung. Das lässt sich dann umlegen auf Streckenabschnitte, so dass pro Streckenabschnitt der mittlere Zeitbedarf je Tageszeitpunkt (z.B. differenziert nach Stunden oder auch ¼-Stunden) bekannt wird. In diesen Messungen schlagen sich auch kleinste Zeitverzögerungen nieder, auch wenn bei der Erhebung keine effektiven Staus oder auch nur Fahrsituationen mit „stockendem Kolonnenverkehr“ vorgekommen sind. Ein solcher Datensatz konnte im Rahmen dieser Studie ebenfalls herangezogen werden (vgl. Abschnitt 3.3). Es handelt sich um sog. „Speed Profiles“. Diese umfassen für die relevanten Abschnitte des schweizerischen Strassennetzes (bezogen auf die Kodierung des sog. Teleatlas-Strassennetzes) jeweils 24 mittlere Fahrgeschwindigkeiten je Stunde und Streckenabschnitt (d.h. 24 Stundenwerte pro Abschnitt für den Werktagsverkehr). Die Daten hat das ARE von der Firma TomTom erworben und für diese Studie zur Verfügung gestellt. Allerdings sind damit erst die Zeitverluste pro Streckenabschnitte bekannt. Für die Hochrechnung muss dieser Datensatz mit der Nachfrage gewichtet werden, um das erwartete Ergebnis in Fahrzeugstauzeiten zu ermitteln. Weil das Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern eine Beschreibung der Nachfrage auf dem gleichen Strassennetz (Teleatlas) enthält, wurde dieser Datensatz für die Analyse herangezogen, d.h. die beiden Datensätze von „Speed Profiles“ und Verkehrsnachfrage wurden miteinander gekoppelt (vgl. Abschnitt 3.3).

- › *Daten des Verkehrsmonitorings:* Im Rahmen der statistischen Erhebungen des Bundes führt das Bundesamt für Strassen (ASTRA) seit vielen Jahren automatische Dauerzählungen/Messungen durch (Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung [SASVZ]) ². Dabei werden mittlerweile an rund 360 Streckenabschnitten im übergeordneten Strassennetz Verkehrsmengen erfasst. Bei einem grossen Teil der Messpunkte wird nicht nur die Menge und der Typ der passierenden Fahrzeuge, sondern auch deren Momentangeschwindigkeit registriert. Diese Daten werden dann einzelfahrzeugweise oder auch aggregiert zu Mittelwerten in 3-Minuten-Intervallen verfügbar gemacht. Die Angaben von Menge und Durchfahrgeschwindigkeit stehen differenziert nach leichten und schweren Motorwagen zur Verfügung. Früher wurden die Messstellen bewusst nicht bei bekannten Staubrennpunkten festgelegt, da die detektierenden Induktionsschleifen lediglich sich bewegende

² <http://www.astra.admin.ch/verkehrsdaten/00299/00301/index.html?lang=de>

Fahrzeuge registrieren können (im Stau still stehende Fahrzeuge können also per definitionem nicht gemessen werden, sondern werden erst in fahrendem Zustand registriert). Auf diesen Punkt wird in Abschnitt 3.2.2 genauer eingegangen. Die Zahl der Messstellen wurde in den jüngsten Jahren erheblich erhöht (z.B. im Rahmen des Ausbaus der Autobahnen im Raum Zürich [Eröffnung A4 / Üetliberg-Tunnel, 2009]). Diese Daten wurden für die vorliegende Untersuchung ebenfalls herangezogen (vgl. Abschnitt 3.2.2).

- › *Speed-Flow-Funktionen* (oder sog. CR-Funktionen [Capacity restraint functions]): Diese Funktionen drücken aus, wie sich die Fahrzeit auf einem Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Auslastung verändert. Der Auslastungsgrad ist allerdings eine kritische Grösse, und die empirische Herleitung solcher Funktionen ist nicht trivial, denn an sich kann die Nachfrage gar nicht markant über die Kapazität hinaus gehen. Entsprechend bedingt die Herleitung solcher Funktionen vertiefte Ansätze wie Warteschlangentheoretische Ansätze, welche die Stauphänomene simulieren, indem Zustrom und Abfluss der Verkehrsnachfrage im Einzelnen nachgebildet werden. Aus solchen Simulationen können dann Abhängigkeiten zwischen Reisezeitzuwachs in Abhängigkeit des Auslastungsgrads abgeleitet werden. Brilon/Estel (2008, Kap. 7.3.5) erwähnen dafür verschiedene Methoden (namentlich Simulationsmodelle wie BABSIM, VISSIM, KAPASIM, KNOSIMO). Solche Grundlagenarbeiten konnten im Rahmen dieser Kurzstudie nicht eingesetzt werden. Auch liefern die bisher erwähnten und nachstehend erläuterten empirischen Grundlagen keine hinreichende Basis, um solche Abhängigkeiten abzuleiten. Es wurde deshalb Bezug genommen auf die im Rahmen des VM-UVEK eingesetzten sog. capacity restraint-Ansätze, welche eben diese Abhängigkeiten abbilden, d.h. die Reisezeit in Funktion des Auslastungsgrads, welche bereits in der Pilotstudie 2010 zur Anwendung kamen. Darauf wird in Kap. 4 näher eingegangen.

2.4. ANSÄTZE ZUR BEANTWORTUNG DER ZWEI FRAGEN

Wie oben ausgeführt, sind zwei Fragen zu beantworten:

1. Umfang der Stauzeitkosten insgesamt,
2. Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten.

Diese zwei Fragen sollen für den Zustand 2009 erörtert werden. Weil bekanntlich die Stauentwicklung in den letzten Jahren z.B. gemäss Staustatistik des ASTRA recht dynamisch war (Zunahme um 34% von 2009 auf 2010), wurde beschlossen, die Berechnungen für drei Jahre durchzuführen (2008, 2009, 2010), soweit empirische Grundlagen vorliegen. Dafür stehen – neben allgemeinen methodischen Grundlagen wie etwa Ausführungen zum Funda-

mentaldiagramm, welche auch herangezogen werden – die folgenden vier Datenquellen zur Verfügung:

- › Die Staustatistik (von Viasuisse).
- › Die Messungen von Verkehrsnachfrage und Momentangeschwindigkeiten der Zählstellen des ASTRA (hier werden vor allem die 3-Minuten-Mittelwert-Daten herangezogen; ergänzend wird auch auf die Ganglinien auf Stundenebene Bezug genommen).
- › Messungen von Reisezeiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Verlauf des Tages (Speed Profiles von TomTom sowie Beschreibung der Nachfrage mittels des GVM des Kantons Bern).
- › Speed-flow-Funktionen (oder CR-Funktionen), die ausdrücken, wie sich die Fahrzeit auf einem Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Auslastung erhöht (in Anlehnung an das VM-UVEK).

Berechnung der Stauzeitkosten insgesamt

Die ersten drei Datenquellen können effektiv als empirische Grundlagen bezeichnet werden, welche für die Herleitung der Fahrzeugstautunden insgesamt herangezogen werden können. In einer Formel ausgedrückt geht es um Folgendes:

$$T = n \cdot (t_{\text{reduziert}} - t_{\text{freeflow}}) \quad [1]$$

Wobei:

- T = Fahrzeugstautunden (je Zeiteinheit, z.B. Stunde)
- t_{freeflow} = Zeitbedarf pro Streckenabschnitt bei freier Fahrt
- $t_{\text{reduziert}}$ = Zeitbedarf pro Streckenabschnitt bei Überlast
- n = Verkehrsstärke (Fahrzeuge pro Zeiteinheit, z.B. Stunde)

Dieser Wert T ist je Zeiteinheit (z.B. Stunde) und Streckenabschnitt zu ermitteln, dann über alle Zeiteinheiten (z.B. Tagesstunden) bzw. alle 365 Tage sowie über alle Streckenabschnitte aufzusummieren. Nun liefern weder die Staustatistik (Viasuisse) noch die Verkehrsmessungen des ASTRA diese Parameter in direkt übernehmbarer Form. Insbesondere liegen die Angaben nicht als Fahrzeiten, sondern (im Fall der ASTRA-Verkehrszählungen) als gemessene Momentangeschwindigkeiten vor. Im Fall der Staustatistik liegen diese Angaben nur indikativ in zwei qualitativen Klassen vor („stockender Kolonnenverkehr“ bzw. „Stau“). Deshalb muss die Fahrzeit jeweils über die Geschwindigkeit als Kehrwert ($t \text{ [in h]} = 1 / v \text{ [in km/h]}$) hergeleitet werden. Nun kann man zwei Ansätze verfolgen:

- › Der *Ereignis-basierte Ansatz* lässt sich wie folgt umsetzen (dieser Ansatz wurde z.B. in der sog. KABEWISTRA-Studie [ASTRA 2004a] verfolgt; auch ProgTrans [2011] stützt ihre Berechnungen auf diesen Ansatz):

$$T = L_{Stau} \left(\frac{1}{v_{reduziert}} - \frac{1}{v_{freeflow}} \right) \cdot n \cdot \tau_{Stau} \quad [2]$$

Wobei:	T	=	Fahrzeugstautunden
	L_{Stau}	=	Staulänge
	$v_{freeflow}$	=	Geschwindigkeit bei freier Fahrt
	$v_{reduziert}$	=	Geschwindigkeit bei Stau
	n	=	Verkehrsstärke (Fahrzeuge pro Stunde)
	τ_{Stau}	=	Staudauer

Die Staustatistik liefert dafür die Angabe Staudauer. Die übrigen vier Parameter (Staulänge, Verkehrsstärke, Geschwindigkeit bei freier Fahrt, Geschwindigkeit bei Stau) müssen aus andern Quellen ermittelt und dazugespielt werden. Das ist machbar wie von KABEWISTRA und ProgTrans demonstriert wurde. Der Bedarf an zusätzlichen Annahmen ist allerdings nicht unbeträchtlich. Wir verfolgen deshalb hier einen andern Ansatz:

- › *Nutzung der sog. Online-Daten der ASTRA-Zählstellen:*

Diese Daten liefern für alle 3-Minuten-Intervalle über das Jahr an rund 200 Messpunkten auf dem Autobahnnetz die Nachfrage (differenziert nach Schwerverkehr und Nicht-Schwerverkehr) sowie die gemittelte Geschwindigkeit. Basis für diese Angaben sind die Einzelfahrzeug-Messungen. Aus tieferen Geschwindigkeiten lassen sich Hinweise auf Staus ableiten und damit die Staudauer ermitteln. Diese werden anschliessend mit den Angaben aus der Staustatistik verglichen. Auch in diesem Ansatz müssen $v_{freeflow}$ sowie $v_{reduziert}$ bestimmt werden. Allerdings liefert die Datenquelle selber Hinweise dazu (nämlich die mittlere Momentangeschwindigkeit je 3-Minuten-Intervall). Anschliessend lassen sich für jeden Abschnitt die Fahrzeugstautunden am entsprechenden Querschnitt ermitteln und auf das schweizerische Niveau hochrechnen. Ein kritischer Punkt liegt hier darin, wie repräsentativ für die gesamtschweizerische Situation die an den Zählstellen gemachten Beobachtungen sind (Details vgl. Abschnitt 3.2.2).

- › Die in Formel [1] geforderten Parameter liegen an sich in der dritten der genannten Datenquelle direkt vor (Speed Profiles von TomTom, gekoppelt mit Verkehrsmengen gemäss GVM Kanton Bern, Bezugsjahr 2007). Es hat sich allerdings gezeigt, dass obwohl beide Da-

tensätze (Speed Profile und Nachfrage) grundsätzlich das gleiche Streckennetz (Teleatlas) verwenden, nur ein Teil davon 1:1 überlagert werden konnte. Somit kann nur knapp 40% der Fahrleistung im Modellgebiet (Kt. Bern) abgedeckt werden. Weil die andern beiden verfügbaren Datensätze (Staustatistik Viasuisse, Verkehrsmontoring ASTRA) sich ausschliesslich oder überwiegend auf das Autobahnnetz beziehen, wird dieser Datensatz insbesondere für das Nicht-Autobahn-Netz herangezogen, mit der ursprünglichen Erwartung, dass dieser Datensatz eine für die Schweiz repräsentative Abbildung liefert und deshalb eine taugliche Basis für eine Hochrechnung liefert.

Zusammenfassend werden also folgende Schritte durchgeführt, um den Umfang der Stauzeitkosten zu ermitteln:

› *Fahrzeugstauzeiten auf Autobahnen:*

- › Analyse der Staudauer gemäss Staustatistik (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Ermittlung der Staudauer anhand der detaillierten Verkehrszählungen und -messungen des ASTRA (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Vergleich der Staudauer gemäss beiden Datenquellen
- › Ermittlung der Fahrzeugstauzeiten an den einzelnen Messstellen der ASTRA-Verkehrszählungen (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Festlegung von Hochrechnungsfaktoren
- › Hochrechnung für die Schweiz

› *Fahrzeugstauzeiten auf Nicht-Autobahnen:*

- › Berechnung der Fahrzeugstauzeiten anhand der sog. Speed Profiles, gewichtet mit der Verkehrsnachfrage gemäss Gesamtverkehrsmodell des Kantons Bern (Berechnung für das Jahr 2007)
- › Vergleich mit anderen Datenquellen, Würdigung
- › Festlegung von Hochrechnungsfaktoren
- › Hochrechnung für die Schweiz

› *Monetarisierung:*

- › Festlegung der Kostensätze (CHF pro Fahrzeug-Stunde)
- › Bestimmung der Stauzeitkosten insgesamt, differenziert nach Schwerverkehr bzw. Nicht-Schwerverkehr. Dieses Ergebnis entspricht den „erlittenen“ Stauzeitkosten.

Berechnung des Anteils der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten

Der zweite Arbeitsbereich betrifft die Frage des Anteils der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten. Um dies zu ermitteln, wird der gleiche Ansatz verwendet, wie er bereits in

der Pilot-Studie angesetzt wurde. Die Grundidee besteht darin, dass einmal die heutige Verkehrssituation (Bezugsjahr 2009) abgebildet wird, wobei die obigen Zahlen den Eckwert der Situation 2009 vorgeben. Dann wird eine zweite Berechnung gemacht. Diese bildet – entsprechend der Vorgabe des Bundesgerichts – einen theoretischen Zustand ohne Schwerverkehr ab. Die Stauzeitkosten dieses Zustands sind gewissermassen „Eigenstauzeitkosten“ des Nicht-Schwerverkehrs. Die Differenz zwischen den Stauzeitkosten dieser virtuellen Situation und jenen des Referenzzustands kann man dem Schwerverkehr zuschreiben, weil die zusätzlichen Stauzeitkosten durch dessen Hinzutritt ins Verkehrsgeschehen verursacht werden. Dabei sind zwei Komponenten zu unterscheiden: einen Teil dieser Zusatzkosten trägt der Schwerverkehr selber, ein Teil aber fällt bei den übrigen Teilnehmern an (namentlich Personenwagen, aber auch Lieferwagen und Motorrädern).

In der Pilotstudie haben wir argumentiert, dass hinter diesem Ansatz ein fragwürdiger Grundsatz stehe, nämlich die Auffassung, dass der Nicht-Schwerverkehr ein „Grundrecht“ auf die Nutzung der Strasseninfrastruktur hätte und der Schwerverkehr alle entstehenden Zusatz(stau)kosten zu übernehmen hätte. Als Sachbearbeiter haben wir diesen Ansatz verworfen und als Alternative vorgeschlagen, dass alle Teilnehmer das gleiche „Grundrecht“ auf die Nutzung der Strasseninfrastruktur hätten. Weil der Schwerverkehr aber die Kapazität der Infrastruktur je Fahrzeug intensiver nutzt als z.B. die PW, weil die Fahrzeuge des Schwerverkehrs grösser / länger / schwerer sind und ein geringeres Beschleunigungsvermögen haben, soll nur diese Komponente dem Schwerverkehr angelastet werden. In der verkehrswissenschaftlichen Literatur wird die „Mehrnutzung“ mittels Gewichtungsfaktoren für die Umrechnung von Schwerverkehrsfahrzeugen in PWE (Personenwageneinheiten) umgesetzt. Im Referenzzustand werden demnach diese konventionellerweise mit einem Faktor 2 bis 3 berücksichtigt, in der virtuellen Variante mit einem Faktor 1.0 (wie wenn sie als PW verkehren würden).

Das Bundesgericht hat diese Argumentation zurückgewiesen und geht klar weiter als die Pilotstudie, indem es vorgegeben hat, dass beim Vergleich einer Situation unter Einbezug des Schwerverkehrs mit einer Situation der Strassenbenutzung *ohne* jeglichen Schwerverkehr auszugehen sei. Das erhöht zwangsläufig die dem Schwerverkehr anzulastenden Stauzeitkosten. Eine Modellrechnung analog zur Pilot-Studie 2010 zeigt, dass bei sonst unveränderten Annahmen die Belastung des Schwerverkehrs mit 407 Mio CHF zu veranschlagen wäre, während die Belastung in der Pilotstudie noch mit 269 Mio CHF ausgewiesen wurde.

Um dieser Vorgabe Rechnung zu tragen, wird deshalb im Folgenden dem Referenzzustand (mit einem Faktor 2.5 PWE pro Lastwagen) ein Zustand ohne Schwerverkehr (Faktor 0.0) gegenübergestellt. Eine Variante mit einem Faktor 1.0 wird lediglich als Sensitivitätsrechnung und zur Hintergrundinformation angefügt.

Die operationelle Umsetzung erfolgt analog zu dem Ansatz, wie er in der Pilotstudie 2010 umgesetzt wurde – allerdings auf dem Hintergrund einer Neuberechnung der Stauzeitkosten. Details dazu folgen in Kapitel 4. Ergänzende Feststellungen scheinen uns wesentlich:

- › Die oben genannten empirischen und neu verfügbaren Grundlagen liefern für diese zweite Kernfrage (Anteil der vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten) keine zusätzlichen Informationen. Vielmehr muss eine Art „Prognose“ für einen virtuellen Zustand (ohne Schwerverkehr) gemacht werden. Dies erfolgt anhand von den oben erwähnten „Capacity restraint functions“. Diesbezüglich hat sich der Wissensstand gegenüber dem Zustand im Jahr 2010 nicht verändert. Deshalb wird auch der gleiche Ansatz mit der Variation der Gewichtungsfaktoren (Umrechnung von Fahrzeugen des Schwerverkehrs in PWE) wie in der Pilotstudie verwendet. Dieser ist zwangsläufig „schematisch und approximativ“, ein Ansatz, der vom Gericht explizit als akzeptable Grundlage anerkannt wurde.
- › Dieser Ansatz ist auf diese spezielle Frage des Anteils des Schwerverkehrs an den Gesamtstauzeitkosten zugeschnitten. Er ist „unsymmetrisch“ in dem Sinne, dass er es nicht ermöglicht, beispielsweise den Anteil der Stauzeitkosten zu ermitteln, welche die PW dem Schwerverkehr aufbürden. Das ist aber auch nicht notwendig; denn das Bundesverwaltungsgericht hat ausdrücklich festgehalten, es könne von der Irrelevanz der vom Nichtschwerverkehr dem Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten ausgegangen werden.
- › Schliesslich sei angefügt, dass der hier gewählte Ansatz für die Ermittlung des Verursachers der Staus mittels Gewichtungsfaktoren auch andernorts eingesetzt wird. In der Zwischenzeit haben beispielsweise Cosgrove and Holahan (2012) in den USA einen wissenschaftlichen Beitrag publiziert, in dem sie den gleichen Ansatz verwenden, um den Anteil der sog. Light duty trucks an den Staukosten zu ermitteln.

3. ERMITTLUNG DER STAUZEITKOSTEN INSGESAMT

3.1. EINLEITUNG

Wie in Kap. 2 ausgeführt wurde, wird aufgrund der unterschiedlichen Datenlage für Autobahnen und Nicht-Autobahnen je ein anderer Ansatz verfolgt. Eine Fokussierung auf die Autobahnen scheint angezeigt angesichts des Umstandes, dass rund 65% der Fahrleistung des Schwerverkehrs sich auf den Autobahnen abspielt, während die PW lediglich knapp 40% ihrer Fahrleistung über die Autobahnen abwickeln (vgl. Tabelle 1).

Mio Fzkm/a	AB	total	% AB
Gesamtverkehr	24'527	61'085	40.2%
Schwerer Güterverkehr	1'417	2'164	65.5%
Nicht-Schwerverkehr	23'110	58'921	39.2%

Tabelle 1 Fahrleistungen im Jahr 2009, total und auf Autobahnen (Quelle: ASTRA 2011, Kap. 2)

Gleichwohl wird auch das übrige Strassennetz in die Betrachtung einbezogen, denn einschlägige Untersuchungen z.B. der Kantone Zürich und Zug deuten darauf hin, dass die auf dem Nicht-Autobahnnetz erlittenen Zeitverluste nicht nur bedeutend, sondern deutlich höher sind als jene auf dem Autobahnnetz (darauf wird in Abschnitt 3.3 eingegangen).

3.2. STAUZEITKOSTEN AUF AUTOBAHNEN

Die Berechnung der Stauzeitkosten auf Autobahnen umfasst, wie in Kap. 2 erläutert, vorerst die Ermittlung der Stauzeitkosten, und zwar in folgenden Schritten:

- › Analyse der Staudauer gemäss Staustatistik (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Ermittlung der Staudauer anhand der detaillierten Verkehrszählungen und -messungen des ASTRA (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Vergleich der beiden Datenquellen
- › Ermittlung der Fahrzeugstauzeiten an den einzelnen Messstellen der ASTRA-Verkehrszählungen (für die Jahre 2008, 2009, 2010)
- › Festlegung von Hochrechnungsfaktoren
- › Hochrechnung für die Schweiz

3.2.1. ANALYSE DER STAUSTATISTIK

Viasuisse-Staustatistik

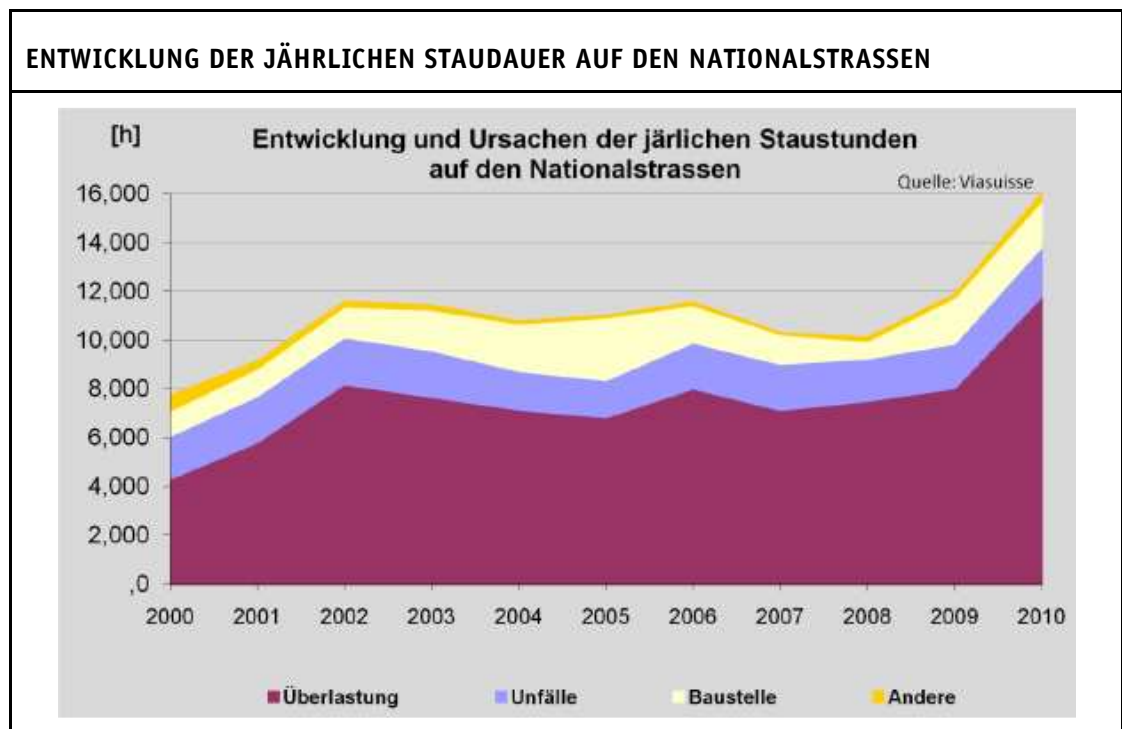
Das Stauinventar wird von Viasuisse geführt und umfasst im Wesentlichen die über Radio und Internet verbreiteten Verkehrs- und Staumeldungen. Gemäss ASTRA (2011) erfolgt die Ermittlung der Stautunden (im Sinne von Staudauern) auf der Basis verifizierter Verkehrsmeldungen. Für die Auswertung werden die Daten von Viasuisse in ein separates Statistikmodul exportiert. In diesem werden die Meldungen bereinigt, validiert und aufbereitet. Die Erfassung der Verkehrsmeldungen erfolgt zu einem überwiegenden Teil manuell. Die Dateneingabe erfolgt mittlerweile (z.B. im Jahr 2010) bei verschiedenen Organisationen: der Viasuisse-Redaktion in Biel (Staumeldungen), der Viasuisse-Lokalredaktion für den Grossraum Zürich in Dielsdorf (Staumeldungen), der nationalen Verkehrsmanagement-Zentrale des ASTRA in Emmenbrücke (Verkehrsmeldungen, Staumeldungen, Baustellenmeldungen und Meldungen im Kontext Verkehrsmanagement), den Leitzentralen der Kantonspolizei (Staumeldungen), den lokalen Verkehrsmanagementzentralen in Agglomerationen (z.B. Dienstabteilung Verkehr der Stadt Zürich für Baustellenmeldungen).

Die Ergebnisse werden vom ASTRA jährlich publiziert (derzeit sind die Daten 2010 die letzten veröffentlichten Daten). Demnach hat die Staudauer im Jahr 2010 um bemerkenswerte 34% gegenüber dem Vorjahr zugenommen (vgl. Figur 2). Hauptgrund für die Zunahme liegt in der Zunahme der Überlastungen, welche rund 2/3 aller Stautunden ausmachen. Bezüglich der Frage, wie weit diese Zunahme real ist bzw. auf verbesserte Registrierung der Stauereignisse zurückzuführen ist, gibt sich das ASTRA vorsichtig:

„Inwieweit diese markante Steigerung effektiv auf zusätzliche Verkehrsbehinderungen zurückzuführen ist, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Sicher ist, dass mehr erkannte Verkehrsbehinderungen nicht zwangsläufig eine generelle Zunahme der Stauereignisse bedeuten. Es ist viel mehr davon auszugehen, dass ein beträchtlicher Teil der zusätzlich registrierten Verkehrsbehinderungen auf die verbesserte Erfassung des Verkehrsgeschehens zurückzuführen ist. Es ist aber auch nicht auszuschliessen, dass die zunehmenden Kapazitätsengpässe auf dem Nationalstrassennetz zu einer sprunghaften Zunahme der Stautunden führten. Die starken Verkehrszunahmen auf bereits hoch belasteten Nationalstrassenabschnitten in den grossen Agglomerationen der Schweiz sind ein Indiz dafür.

Welcher der beiden Effekte massgebend ist, lässt sich nicht mit Bestimmtheit eruieren. Klar aber ist, dass der Vergleich mit den Stautunden der vorangegangenen Jahre wegen der verbesserten Erfassungsmöglichkeiten nach wie vor mit Unsicherheiten verbunden ist. Dieser Trend zeichnete sich bereits bei den früher registrierten Stautunden ab und wird sich wegen

den weiter verbesserten Datengrundlagen auch in den kommenden Jahren fortsetzen. Stabile Vergleiche werden erst möglich sein, wenn Verkehrsbehinderungen auf den Nationalstrassen mit einer sehr hohen Zuverlässigkeit erfasst werden können. Dies ist heute nur bedingt gewährleistet.“



Figur 2 Quelle: ASTRA 2011

Trotz dieser Vorbehalte haben wir folgende Analysen durchgeführt:

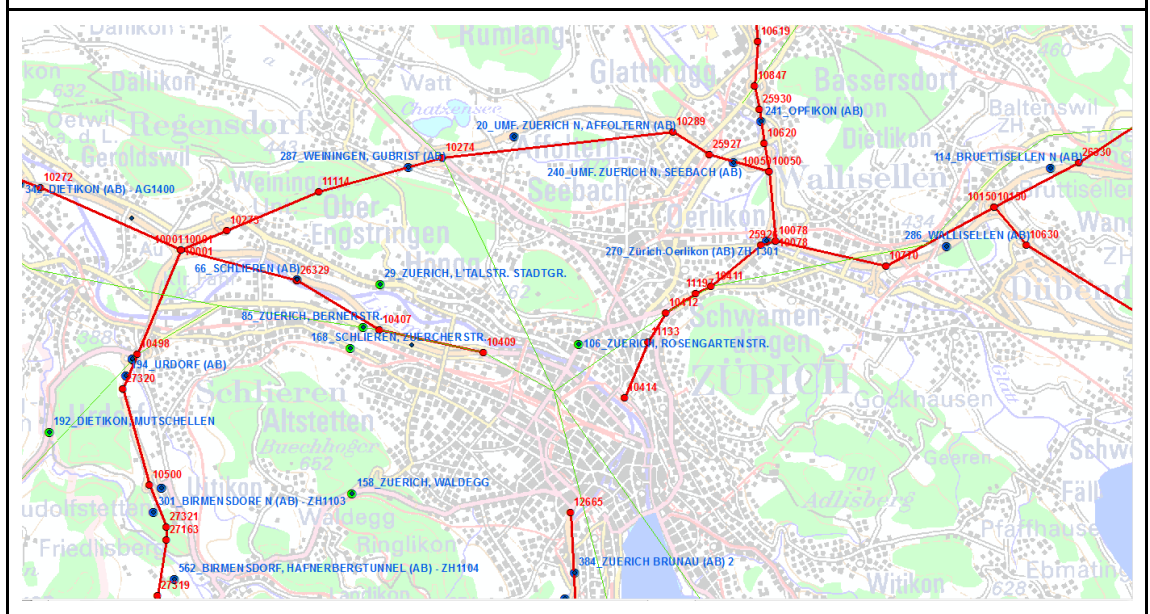
- › Die Staumeldungen wurden in Form einer Datenbank für die drei Jahre 2008, 2009, 2010 zur Verfügung gestellt. Darin sind die Stau-Ereignisse einzeln aufgeführt, mit Angabe von Dauer (von, bis; jeweils sekundenscharf), der Verortung (Angabe des Ortes des Staube-ginns bzw. des Stauendes anhand sog. „location codes“), der Ursache (Überlastung, Bau-stellen, Brand, Pannen, Unfall, Unwetter), der Charakteristik (Stau oder stockender Ver-kehr)
- › Eine erste grobe Auswertung der zur Verfügung gestellten Datenbanken bestätigte in etwa die Angaben zu den Staudauern gemäss ASTRA (2010):

Grund	2008	2009	2010
Baustelle	725	1'873	1'882
Brand	49	52	74
Panne	0	4	5
Ueberlastung	7'510	7'997	11'513
Unfall	1'722	1'810	2'009
Unwetter	90	90	217
Total	10'096	11'826	15'700

Tabelle 2 Staustunden nach Ursachen (eigene Auswertung der MS-ACCESS-Datenbanken. Quelle: Staustatistik Viasuisse, von ASTRA zur Verfügung gestellt)

› Für die Visualisierung dieser Stauereignisse haben wir diese aufgrund der mitgelieferten Verortungen anhand der „location codes“³ auf ein grobes Strassennetz umgelegt. Ein solches Netz musste erst anhand der „location codes“ erstellt werden (vgl. Figur 3).

SCHEMATISIERTES STRASSENNETZ AUF DER BASIS DER „LOCATION CODES“ (ROT), ERGÄNZT MIT STANDORTEN DER ASTRA-ZÄHLSTELLEN (BLAU)



Figur 3 Für die Analyse der Staustatistik und der Visualisierung der Stauereignisse wurde auf der Basis der „location codes“ ein vereinfachtes Strassennetz konstruiert.

- 3 Diese „location codes“ entsprechen einer international abgestimmten Kodierung und werden einmal jährlich überarbeitet. Für unsere Zwecke haben wir ein reduziertes Netz (mit Fokus auf Autobahnen und Hauptstrassen konstruiert. Aufgrund der Georeferenzierung konnten auch die Zählstellen des ASTRA diesem Netz zugeordnet werden. Eine operationelle Herausforderung lag insbesondere im Umstand, dass die Stauangaben wie auch die Verkehrszählungsangaben in gerichteter Form vorkommen (Stauereignisse sind in der Regel nicht symmetrisch), deshalb auch die Zuordnung der Zählstellen in gerichteter Form zu erfolgen hatte.

- › Im Weiteren wurden dann die Stauereignisse auf dieses Netz „umgelegt“. Weil die einzelnen Ereignisse an beliebigen Start- oder Endpunkten beginnen konnten, können sie datenstrukturell wie eine Wunschlinien-Matrix interpretiert werden. Demzufolge konnten die Stauereignisse ähnlich wie eine Wunschlinien-Matrix mit einem Bestweg-Algorithmus auf das Strassennetz umgelegt werden.
- › Grund für diesen Analyseschritt war die Frage, ob die Angaben der Staustatistik ein ähnliches Muster ergibt wie es aus den Verkehrszählungen ablesbar ist (vgl. Abschnitte 3.2.2 und 3.2.3). Das Ergebnis wird in diesen Abschnitten illustriert.

3.2.2. ANALYSE DER ZÄHLSTELLEN-DATEN („ONLINE-DATEN“)

Die Angaben der Verkehrszählungen des ASTRA weisen nicht nur aus, wie viel Verkehr die jeweilige Zählstelle passiert, sondern auch, mit welcher Geschwindigkeit die Fahrzeuge sich dort bewegen. Daraus lassen sich Schlüsse über den Verkehrszustand ziehen, insbesondere ob im interessierenden Zeitpunkt allenfalls Stau herrscht. Das ASTRA aggregiert die Individualfahrzeug-Messungen standardmässig zu Angaben in 3-Minuten-Intervalle, dabei werden die Angaben zu 2 Klassen aggregiert (PW und LKW)⁴. Für die rund 200 Zählstellen (mit Fokus auf Autobahnen) besteht somit ein beeindruckend umfangreicher Datensatz⁵ mit Angaben von Fahrzeuganzahl und Geschwindigkeit für täglich 480 3-Min.-Intervalle. Diese Daten lassen sich unterschiedlich darstellen, einmal in der zeitlichen Abfolge im Tagesverlauf (vgl. Figur 4 oben), dann auch in einer der Formen des sog. Fundamentaldiagramms (Geschwindigkeit über der Verkehrsstärke; vgl. Figur 4 unten).

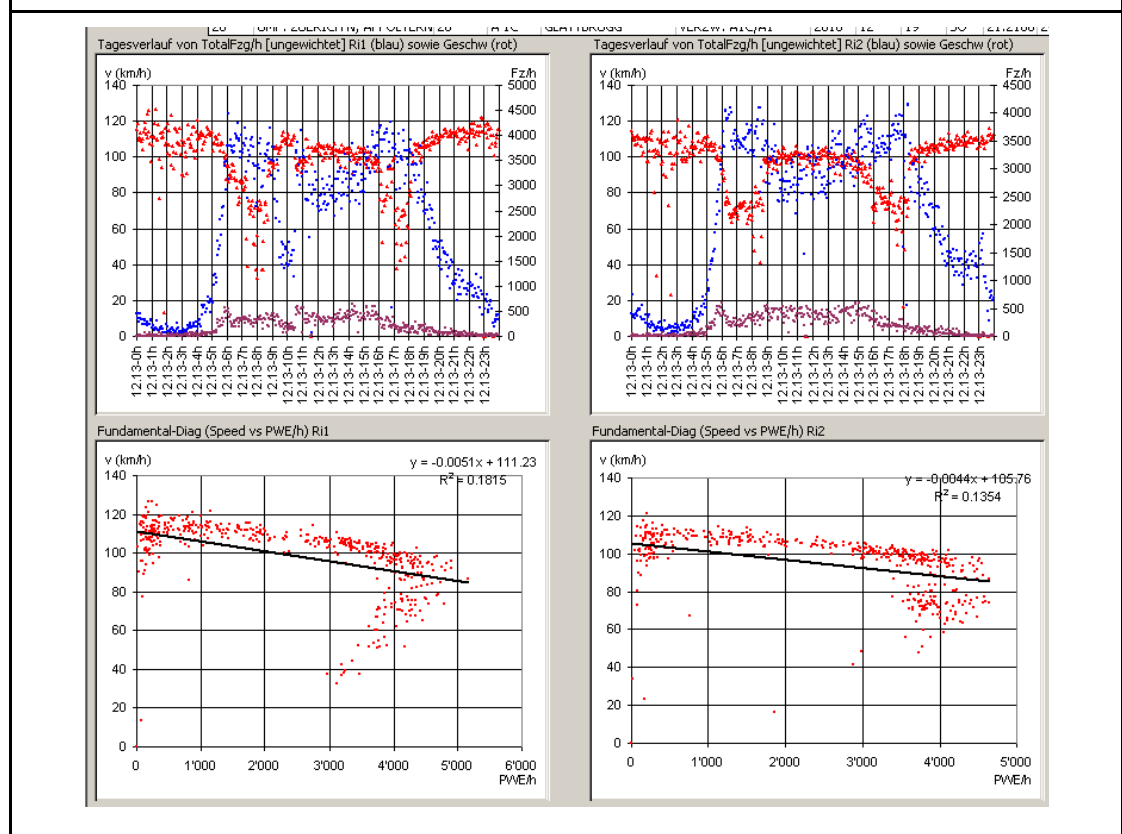
Als erste Analyse wurden daraus die Staudauern ermittelt. Das erfordert zwangsläufig eine operationelle Definition von Stau. In der Verkehrswissenschaft und -praxis wird die Qualität des Verkehrsablaufs in der Regel mit sechs Qualitätsstufen von A bis F bewertet. Die Stufe A entspricht dem freien, ungebundenen Verkehr, die Stufe F bildet am andern Ende der „Notenskala“ den Bereich der Überlastung ab, d.h. den Zustand, in dem die Nachfrage die Kapazität einer Verkehrsanlage überschreitet. Für die Definition, ab wann die Stufe F eintritt, orientieren wir uns an einem Vorschlag von Brilon/Estel (2008). Demnach

⁴ Die 10 Fahrzeug-Klassen der Swiss10-Zähler werden wie folgt zugeordnet: „PW“ umfasst Personenwagen, Personenwagen + Anhänger, Lieferwagen, Lieferwagen mit Anhänger, Lieferwagen mit Auflieger, Motorrad; die Klasse „LKW“ umfasst Bus/Car, Lastwagen, Lastenzug und Sattelzug / Schwere Motorwagen.

⁵ Diese Daten wurden von CNLAB Rapperswil zur Verfügung gestellt. Dabei umfasst jeweils ein Datenfile die Angaben je Tag und Zählstelle. Bei rund 200 Zählstellen ergibt das pro Jahr rund Datenfiles 73'000 Files mit den jeweiligen Angaben für jedes der 4803-Minuten-Intervalle, und dies jeweils pro Fahrspur und Richtung.

kann die Stufe F einsetzen, wenn die aktuelle Geschwindigkeit unter 60% einer mittleren oder zulässigen Reisegeschwindigkeit fällt (Brilon/Estel 2008, Tab. 7-1).

BEISPIEL DER VERKEHRSBELASTUNG SOWIE DER MOMENTAN-GESCHWINDIGKEITEN (BEISPIEL ZÄHLSTELLE 20, NORDUMFAHRUNG ZÜRICH, 13. DEZ. 2010)



Figur 4 Illustration der zu 3-Min.-Intervallen aggregierten Zählraten des ASTRA. Beispiel Zählstelle 20, Nordumfahrung Zürich (Affoltern, links Richtung Glattbrugg, rechts Richtung A1C/A1). Dargestellt ist die Situation des 13. Dez. 2010. Oben sind die Verkehrsmengen (blau = total Fzg, violett = LW) bzw. die (über PW bzw. LW gewichteten) mittleren Geschwindigkeiten (rot) je 3-Minuten-Intervall dargestellt. Unten ist eine Form des Fundamentaldiagramms dargestellt (das sog. q-v-Diagramm, wobei q für die Verkehrsstärke (in Fz/h) steht, und v für die Geschwindigkeit (in km/h)).

Für jeden Fall war also festzulegen, was die „Zielgeschwindigkeit“ ist bzw. wie weit die in den Zählraten registrierte Geschwindigkeit tatsächlich die aktuelle Reisegeschwindigkeit wiedergibt. Dabei sind wir von Folgendem ausgegangen:

- › Als Zielgeschwindigkeit sind wir nicht von der zulässigen Geschwindigkeit ausgegangen, sondern von einer je Zählstelle individuell festgelegten Zielgrösse. Dazu wurde in einem ersten Schritt der Mittelwert der gemessenen Geschwindigkeiten bestimmt. Weil darin auch Stausituationen vorkommen, welche den Zielwert ungerechtfertigt nach unten zie-

hen, wurden alle Messpunkt mit $v < 85\%$ des Mittelwerts eliminiert und erneut der Mittelwert gebildet. Man kann dies etwa im Vergleich zum Vorschlag von Brilon/Estel (2008) als konservative Annahme betrachten, da auch gebundene Verkehrssituationen die so definierte Zielgrösse prägen. Effektiv könnte die Zielgeschwindigkeit höher angesetzt werden (z.B. mit der zulässigen Reisegeschwindigkeit). Diese Zielgeschwindigkeiten liegen denn in aller Regel unter den zulässigen Reisegeschwindigkeiten. Im Beispiel von Figur 4 liegt die so über alle 365 Tage des Jahres ermittelte Zielgeschwindigkeit für PW bei 104 km/h und nicht bei rund 110-115 km/h, wie es für diesen Tag optisch aus dem Diagramm ablesbar ist. Dadurch muss eine aktuelle Geschwindigkeit relativ tief(er) liegen, um der Stufe F zugewiesen zu werden, d.h. die Staudauer sinkt aufgrund dieser eher konservativen Annahme.

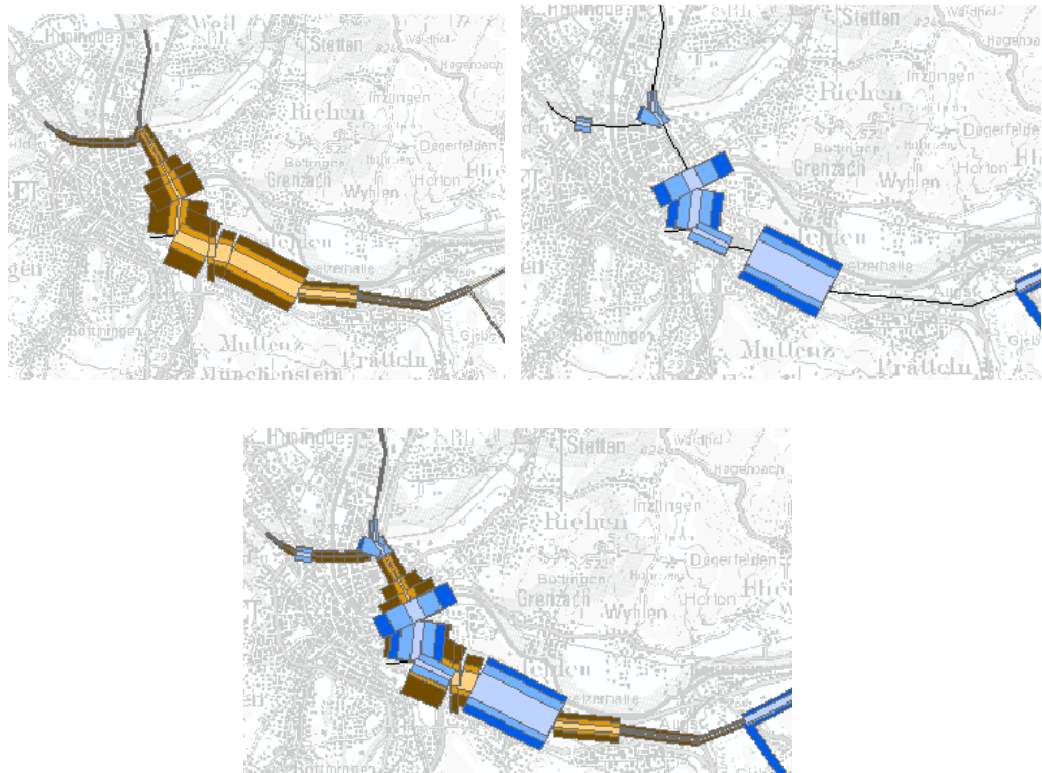
- › Als aktuelle Reisegeschwindigkeit wird (vereinfachend) die 3-Minuten-Mittelwertangabe der Momentan-Geschwindigkeit interpretiert. Wie unten gezeigt wird, ist auch das eine konservative Annahme in dem Sinne, als die effektiven Reisegeschwindigkeiten tendenziell und systematisch tiefer sind als die Momentangeschwindigkeiten. Dadurch wird die Staudauer eher zurückhaltend eingestuft.

Mit diesen Definitionen konnten für alle verfügbaren Zählstellen (2008: 148, 2009: 158, 2010: 174 Zählstellen) die Staudauern ermittelt und mit den Staudauern der Staustatistik verglichen werden (vgl. nächster Abschnitt).

3.2.3. VERGLEICH STAUDAUER ZWISCHEN STAUSTATISTIK UND ASTRA-ZÄHLDATEN

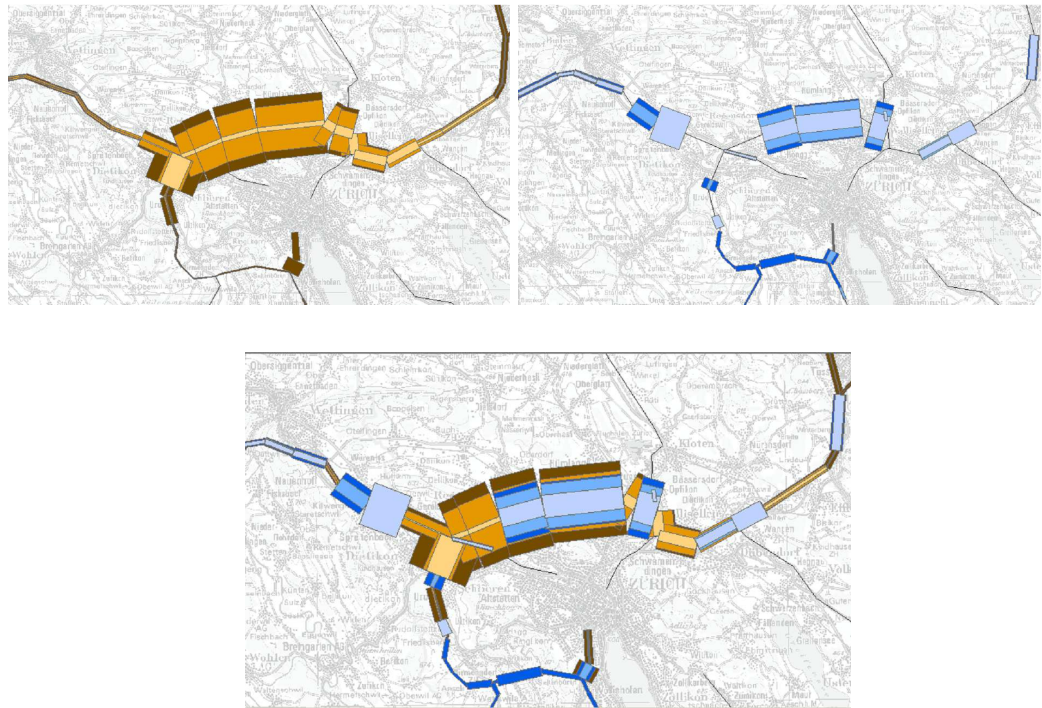
Die nachstehenden Figuren zeigen einen Vergleich der Staudauern illustrativ für verschiedene Räume (oben links jeweils auf Basis Staustatistik, oben rechts auf Basis ASTRA-Messungen, unten überlagert für einen unmittelbaren Vergleich; braun = Staustatistik, blau = Online-Zählungen; hell=2008, mittlere Färbung = 2009, dunkel=2010). Die Figuren dokumentieren eine nennenswerte Zunahme im Zeitraum 2008-2010.

VERGLEICH STAUDAUER IM RAUM BASEL GEMÄSS STAUSTATISTIK BZW. ASTRA-ZÄHLSTELLEN-AUSWERTUNG 2008/2009/2010



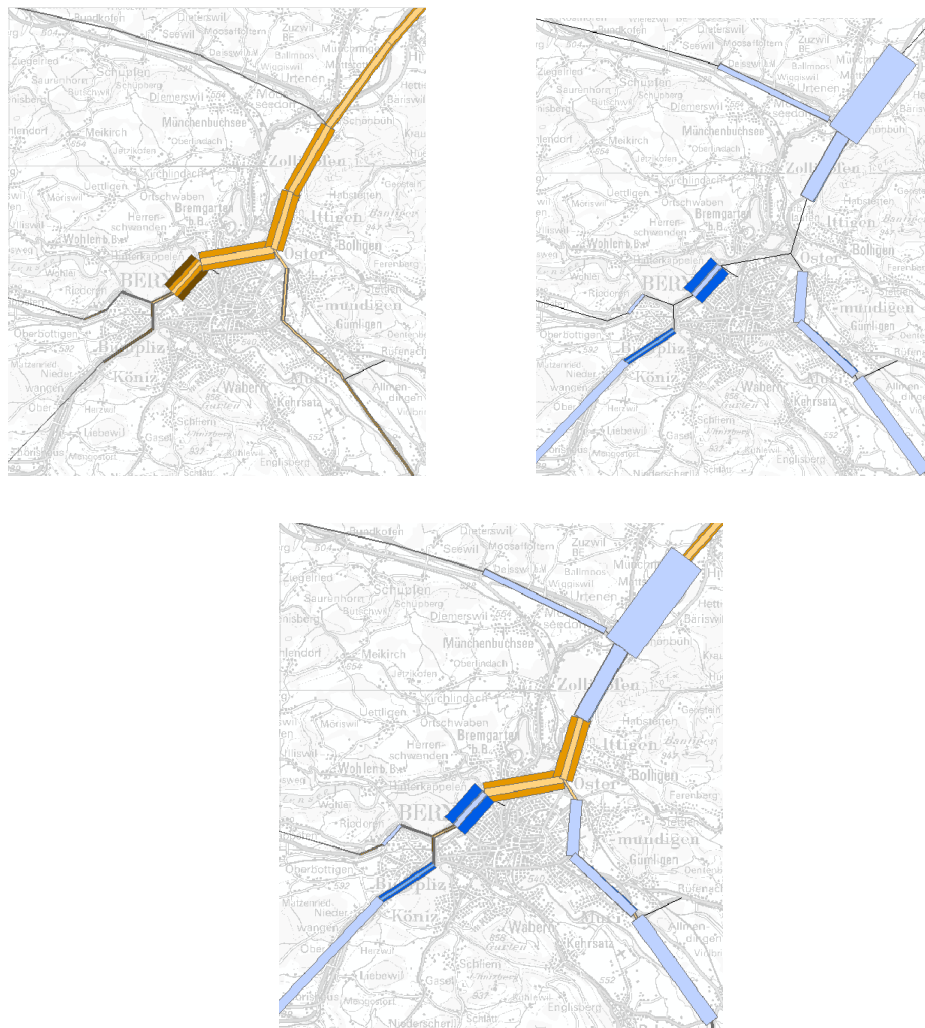
Figur 5 Der Vergleich der Staudauern gemäss Staustatistik bzw. ASTRA-Zählungen im Raum Basel zeigt eine recht gute Übereinstimmung. (Quelle: braun = Staustatistik, blau = Online-Zählungen; hell=2008, mittlere Färbung = 2009, dunkel=2010).

VERGLEICH STAUDAUER IM RAUM ZÜRICH GEMÄSS STAUSTATISTIK BZW. ASTRA-ZÄHLSTELLEN-AUSWERTUNG 2008/2009/2010



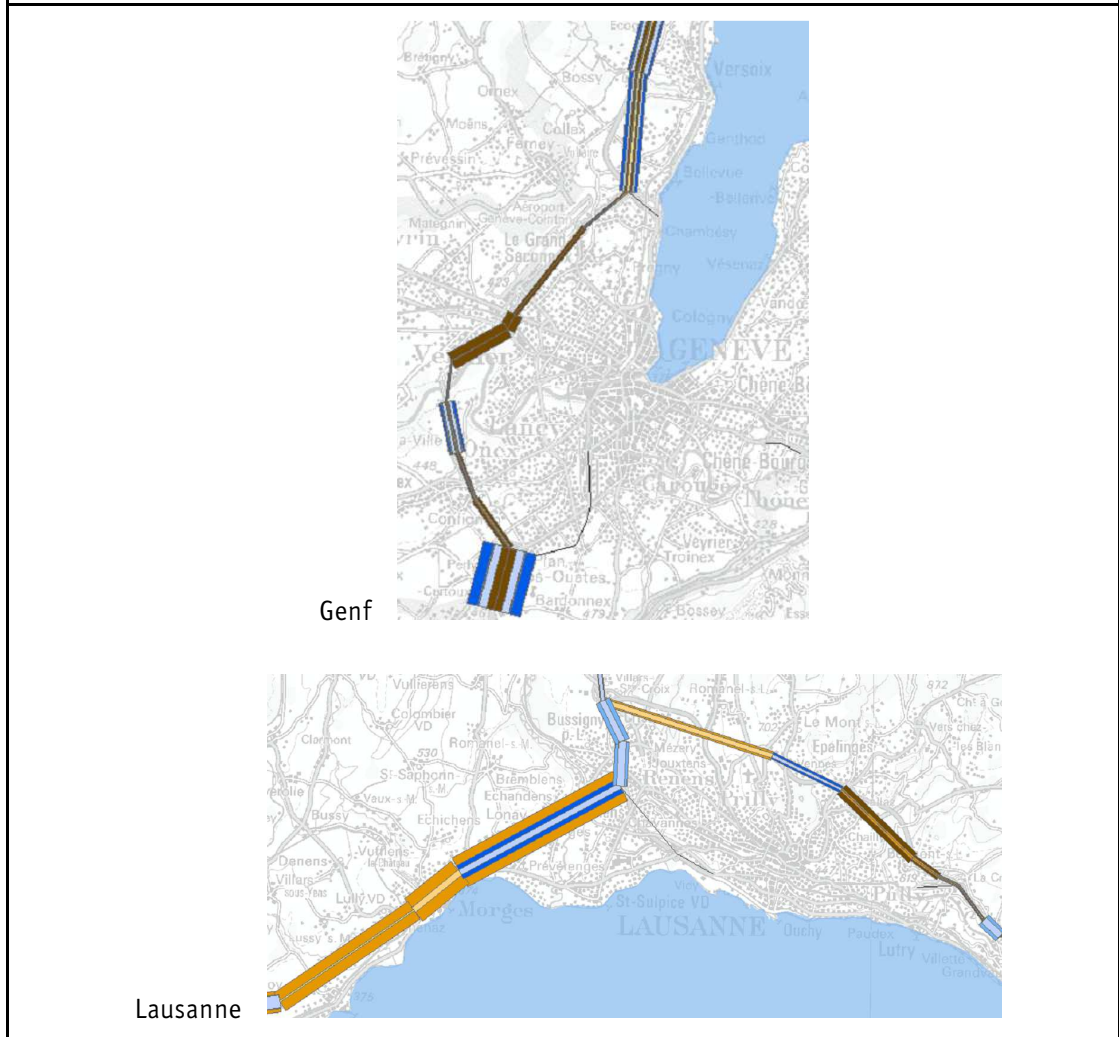
Figur 6 Im Raum Zürich weist die Staustatistik tendenziell höhere Staudauern aus als es aus den ASTRA Messungen ableitbar ist. Für eine Interpretation der zeitlichen Entwicklung ist zu berücksichtigen, dass im Raum Zürich im Jahr 2009 stufenweise die Südumfahrung (Üetlibergtunnel, A4) eröffnet wurde. (Quelle: braun = Staustatistik, blau = Online-Zählungen; hell=2008, mittlere Färbung = 2009, dunkel=2010).

VERGLEICH STAUDAUER IM RAUM BERN GEMÄSS STAUSTATISTIK BZW. ASTRA-ZÄHLSTELLEN-AUSWERTUNG 2008/2009/2010



Figur 7 Im Raum Bern weist die Staustatistik deutlich tiefere Staudauern aus als es aus den ASTRA Messungen ableitbar ist. (Quelle: braun = Staustatistik, blau = Online-Zählungen; hell=2008, mittlere Färbung = 2009, dunkel=2010).

VERGLEICH STAUDAUER IN DER WESTSCHWEIZ (OBEN GENÈVE, UNTEN LAUSANNE) GEMÄSS STAUSTATISTIK BZW. ASTRA-ZÄHLSTELLEN-AUSWERTUNG 2008/2009/2010

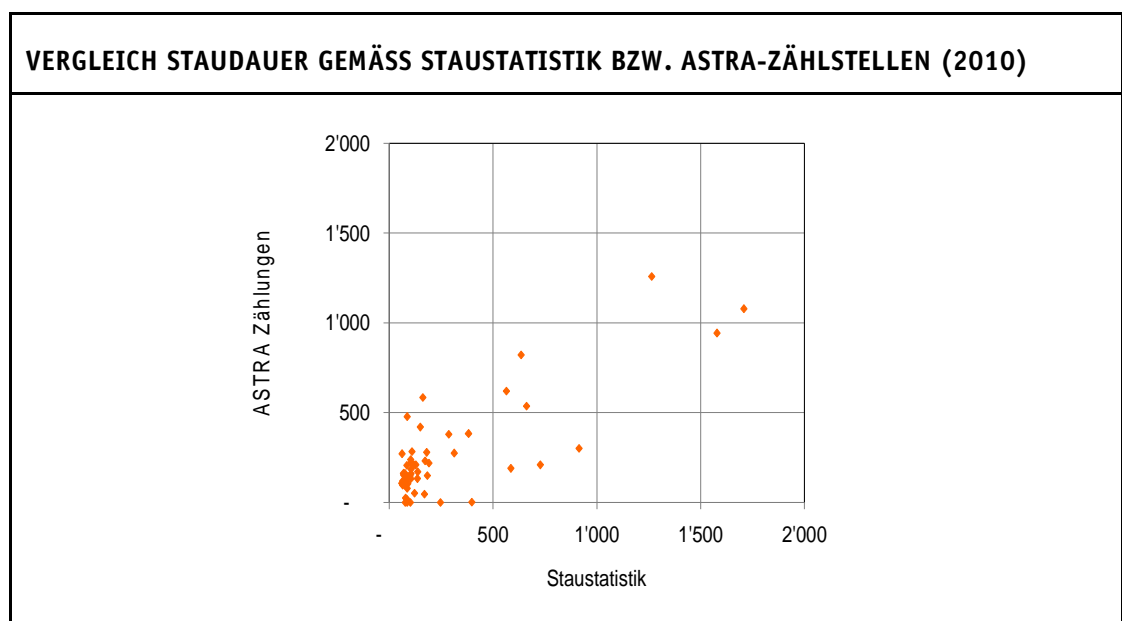


Figur 8 In Genf weist die Stautistik deutlich tiefere Staudauern aus als es aus den ASTRA Messungen ableitbar ist, in Lausanne ist es eher umgekehrt. (Quelle: braun = Stautistik, blau = Online-Zählungen; hell=2008, mittlere Färbung = 2009, dunkel=2010).

Dieser Vergleich zeigt, dass es keine einheitliche Tendenz gibt, die in jedem Fall eine Unter- oder Überschätzung der einen Datenquelle im Vergleich zur anderen zeigen würde. Die Größenordnung der Staudauern an einzelnen Querschnitten stehen in der Regel in nicht un-
plausiblen Verhältnis (vgl. Figur 9). Allerdings gibt es eine Reihe von Ausreissern. Während einzelne „grosse“ Staus (etwa im Raum Zürich) in der Stautistik eher überschätzt werden, fehlen darin häufig kleinere Staus, die in der Summe durchaus nicht vernachlässigbar sind. Auch im direkten Vergleich kann gezeigt werden, dass die Zähler-Aufzeichnungen mit

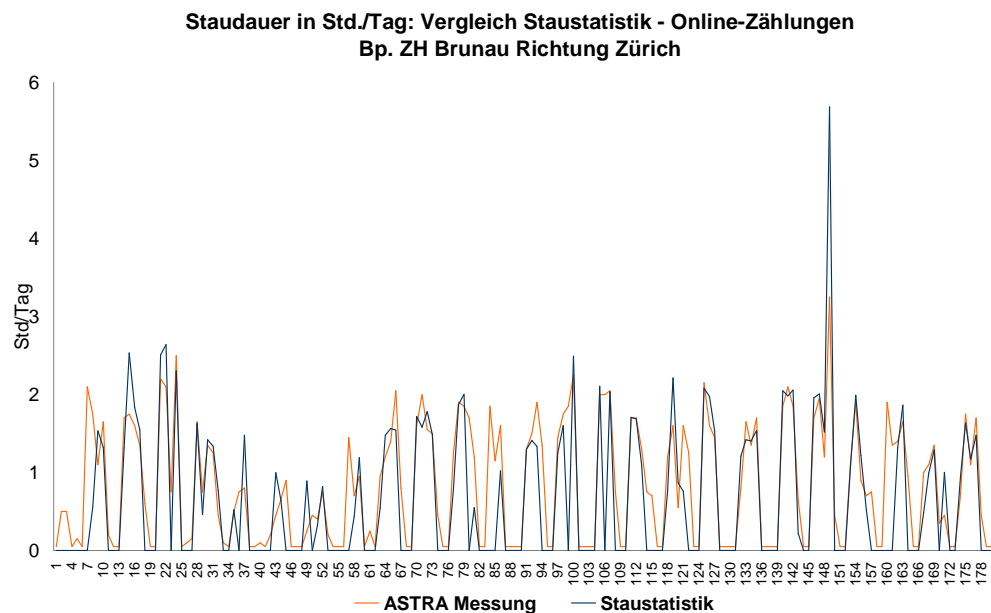
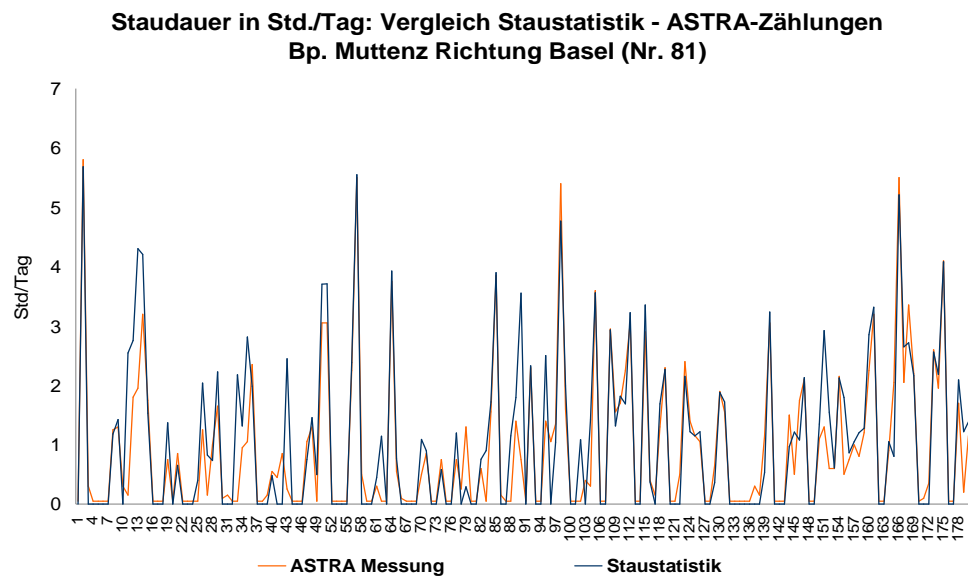
der wie oben skizzierten Definition von Stau (Stufe F) sich mit den Staudauern laut Angaben der Staustatistik durchaus gut decken können (vgl. Bsp. Muttenz oder Zürich Brunau in Figur 10). Es sei aber nicht verhehlt, dass sich auch Beispiele finden, wo Staustatistik und ASTRA-Online-Messungen kaum zur Deckung gebracht werden können (z.B. ZH Nordumfahrung). In Bern ist die Staustatistik eher tief (vgl. Figur 7), in der Westschweiz ist es gegenläufig (Figur 8): in Genf ist gemäss Staustatistik die Staudauer deutlich kleiner als die Zählstellenmessungen erwarten lassen, im Raum Lausanne ist es gerade umgekehrt. Trotz dieser Divergenzen beurteilen wird diesen Vergleich positiv im Sinne als mit den Online-Messungen der Zählstellen eine durchaus belastbare Datenbasis besteht, um weitergehende Analysen zu unternehmen. Vorteilhaft ist dabei, dass diese Messungen von gewissen Zufälligkeiten bezüglich Meldung bzw. Nicht-Meldung unbeeinflusst sind. Andererseits haben die Zählstellen ihre eigenen Unwägbarkeiten (wie Registrierungsausfälle), die das Gesamtbild aber kaum nennenswert beeinflussen.

Ein direkter Vergleich der Summe der Staudauer aus den beiden Quellen ist nicht möglich, da die Zählstellen lediglich eine Querschnittsaussage ermöglichen. Benachbarte Zählstellen könnten durchaus die gleichen Stauphänomene messen. Eine Aufsummierung der Auswertungen der Zählstellen-Staudauern würde Doppelzählungen umfassen und deshalb irreführend sein.



Figur 9 Der Vergleich der Staudauern gemäss Staustatistik bzw. ASTRA-Zählungen lässt darauf schliessen, dass mit den Geschwindigkeitsangaben der Zählungen ähnliche Grössenordnungen erreichbar sind. Im Idealfall müssten die Punkte in diese Grafik auf einer Geraden liegen, welche vom Nullpunkt zum Punkt (2000;2000) führt; dann bestünde eine 100%ige Übereinstimmung.

VERGLEICH STAUDAUER GEMÄSS STAUSTATISTIK BZW. ASTRA-ZÄHLSTELLEN-AUSWERTUNG (DATEN ERSTES HALBJAHR 2010)



Figur 10 Der Vergleich der Staudauern gemäss Staustatistik bzw. ASTRA-Zählungen in diesen Einzelfällen zeigt eine recht gute Übereinstimmung. Vertikal sind die Anzahl Staudstunden pro Tag aufgetragen, horizontal die Tage des ersten Halbjahrs 2010.

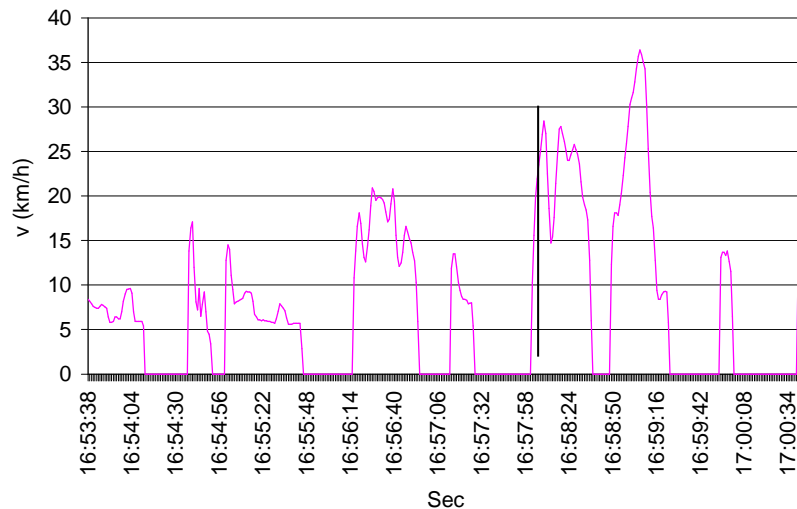
3.2.4. BERECHNUNG DER STAUZEITKOSTEN AUF DER BASIS DER ASTRA-MESSUNGEN

Die automatischen Verkehrsmessungen lassen nicht nur die Ermittlung der Staudauer zu, sondern auch jene der Fahrzeug-Staustunden an diesen Orten, da alle drei Parameter dafür (vgl. Gleichung 1, Abschnitt 2.4) vorliegen, d.h. die Messungen enthalten Angaben zur Anzahl betroffener Fahrzeuge wie auch zur Ziel- sowie aktuellen Geschwindigkeit. Allerdings zeigt eine genauere Analyse der Momentan-Geschwindigkeiten insbesondere im tieferen Geschwindigkeitsbereich, dass die effektiven Reisegeschwindigkeiten systematisch tiefer liegen als die von den Zählern registrierten Momentangeschwindigkeiten. Das kann am Beispiel real gemessener Fahrtenprofile illustriert werden: In einer Pilot-Studie für das BAFU, in der es um die Herleitung von Fahrmustern (im Kontext des Emissionsverhaltens von Strassenfahrzeugen) ging (INFRAS 2009), wurden Fahrprofile von einer Vielzahl zufällig gewählter Personen aufgenommen (GPS-Registrierung). Eines der Profile führte über die Zählstelle Wallisellen, vgl. Figur 11. Dieses Fahrprofil weist eine mittlere Reisegeschwindigkeit von 7.5 km/h auf. Der oder die FahrerIn passierte am 3.10.2008, 16.58.08 Uhr die Messstelle 286. Am Querschnitt zeigt das Fahrzeug eine Momentangeschwindigkeit von 23.5 km/h (der Passagezeitpunkt bzw. -ort ist in der Figur mit einem schwarzen Balken markiert). Die ASTRA-Messung weist ihrerseits für das 3-Minuten-Intervall für die Passagezeit dieses Fahrzeugs einen Mittelwert von 19 km/h aus. In welcher Relation stehen nun diese Geschwindigkeiten zueinander? Von Interesse ist insbesondere die Frage, was die Messstelle, die Momentangeschwindigkeiten an einem Querschnitt misst, als Mittelwert ausgibt, und wie sich das mit der realen Reisegeschwindigkeit deckt.

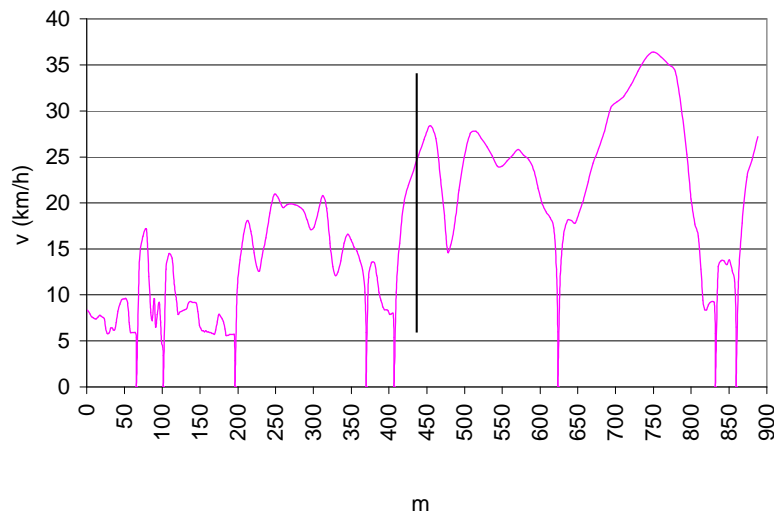
Unterstellen wir einmal, das aufgenommene Fahrprofil über diese Strecke (hier rund 900 m lang) sei repräsentativ, und dass dieses Fahrprofil unabhängig ist vom Ort der Messung. Dann würde die Messstelle im statistischen Mittel 17.5 km/h registrieren. Dieser Wert ergibt sich, wenn jeder (Distanz-) Abschnitt des Profils mit der gleichen Wahrscheinlichkeit gewichtet wird wie jeder andere (Distanz-) Abschnitt. Dazu muss das Fahrprofil über der Distanz (und nicht über der Zeit) aufgetragen werden, denn die Messgeräte können nur fahrende Fahrzeuge registrieren (vgl. unten). Je tiefer die Geschwindigkeit, desto grösser die Diskrepanz zwischen der Aufzeichnung über Distanz und Aufzeichnung über die Zeit. Die von den Messgeräten ausgewiesenen Messgeschwindigkeiten sind deshalb systematisch als zu hoch zu betrachten. Dies ist besonders markant, wenn Stillstandsphasen im Fahrprofil vorkommen, gilt aber auch für Profile ohne Stillstandsphase (vgl. Beispiel in Annex 1).

FAHRPROFIL ÜBER DER ZEIT BZW. ÜBER DER DISTANZ

**Fahrprofil und Passage am Querschnitt Zst-Nr. 286
Wallisellen, Ri. Zürich
3.10.2008**

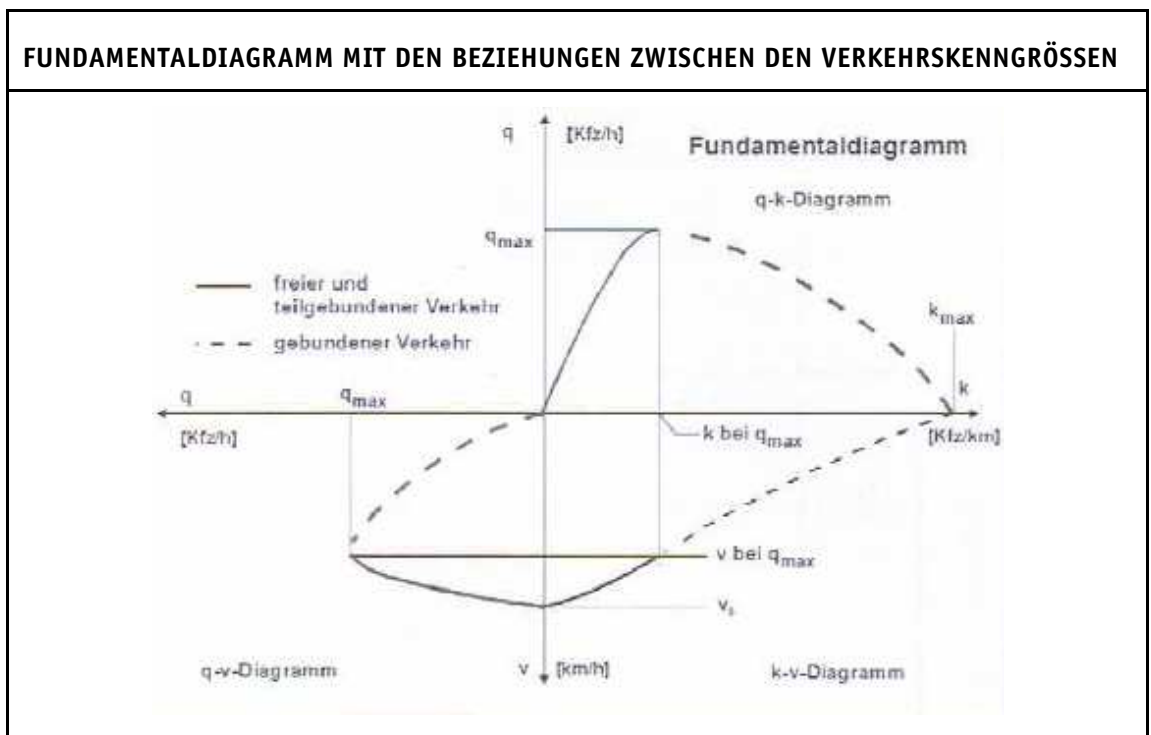


**Fahrprofil und Passage am Querschnitt Zst-Nr. 286
Wallisellen, Ri. Zürich
3.10.2008**

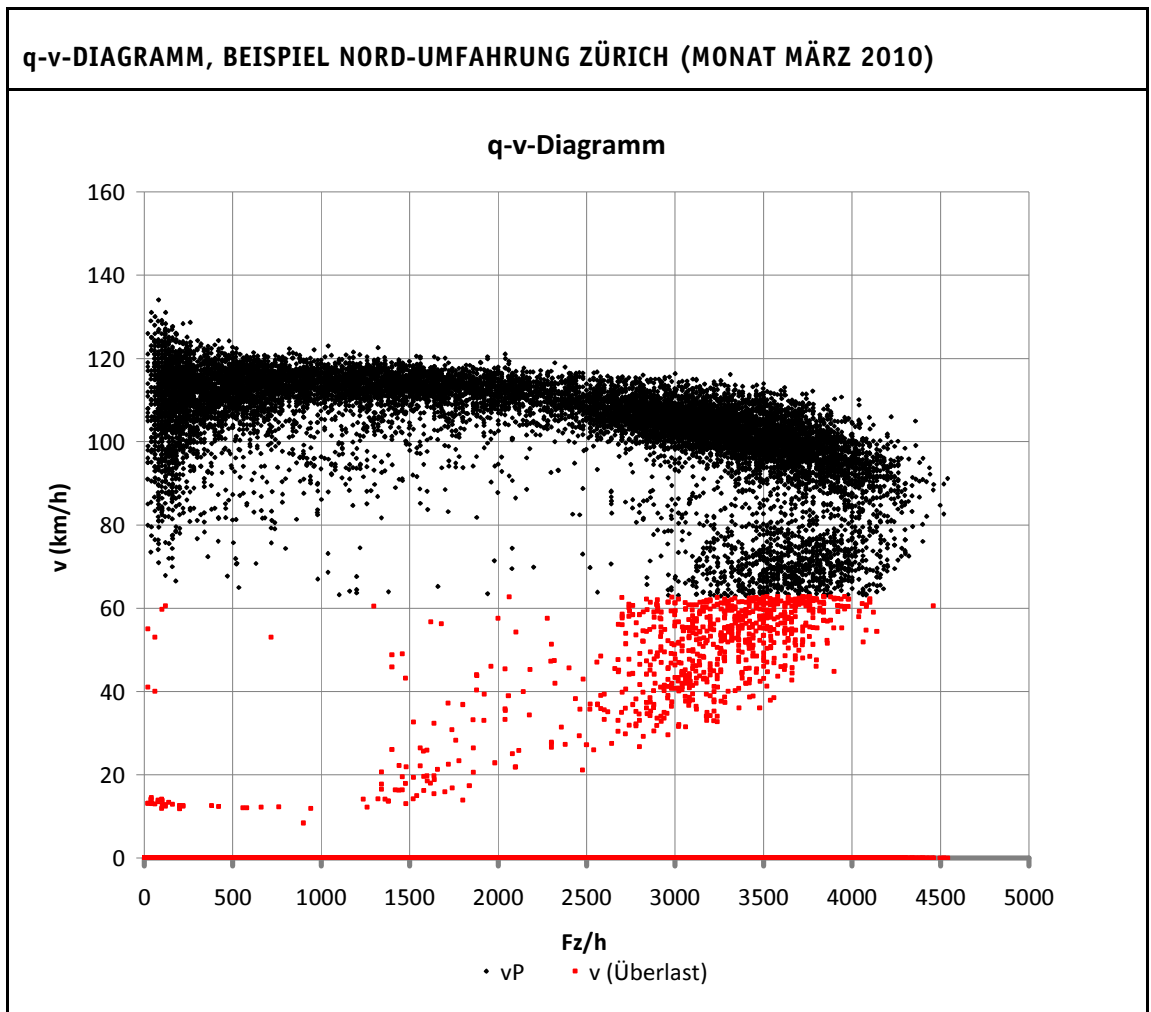


Figur 11 Beispiel eines real (und zufällig) aufgenommenen Fahrprofils im Raum Wallisellen. Am 3.10.2008, um 16.57.58 führte das Fahrprofil an der Zählstelle Nr. 286 vorbei. Die schwarze, vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der Passage an der Zählstelle an. Das Fahrprofil weist eine mittlere Reisezeit von 7.5 km/h auf. Das Messgerät hat 23 km/h registriert, was aber hier irrelevant ist. Wesentlicher ist, dass das Messgerät für dieses Fahrprofil im statistischen Mittel 17.5 km/h registrieren würde. Dazu muss das Fahrprofil nicht über der Zeit (oben), sondern über der Distanz (unten) aufgetragen werden. Für diese Berechnung ist das distanzbezogene Fahrprofil das massgebende, weil die Messgeräte nur fahrende Fahrzeuge registrieren können. Die von den Messgeräten ausgewiesenen Messgeschwindigkeiten sind deshalb systematisch zu hoch, insbesondere wenn Stillstandsphasen im Fahrprofil vorkommen.

Aufgrund dieses Sachverhalts haben wir die gemessene Geschwindigkeit zwar als Kriterium für die Identifikation der Überlastung verwendet, d.h. ob ein 3-Minuten-Intervall zur Stufe F (Stau) gehört. Für die Bestimmung von „v Stau“ verwendeten wir jedoch den Ansatz, der mittels Fundamentaldiagramm ableitbar ist und den ProgTrans für ihre eigenen Berechnungen verwendet hat (ProgTrans 2011, Teilbericht 2, Kap. 3.2.3). Figur 12 zeigt das Fundamentaldiagramm in seiner Komplexform. Was hier besonders interessiert, ist das q-v-Diagramm (Figur 12, Quadrant unten links). Die anschliessende Figur 13 zeigt ein q-v-Diagramm, das mit empirischen Daten unterlegt ist (Beispiel der Nordumfahrung Zürich). Die Grafik zeigt, dass bei gleicher Verkehrsstärke (in Fz/h) zwei unterschiedliche Geschwindigkeitsbereiche auftreten können – ein Bereich mit höheren Geschwindigkeiten bei fließendem Verkehr (schwarz eingefärbte Punkte), und ein Bereich mit tieferen Geschwindigkeiten bei Überlast (rot eingefärbte Punkte). Im Folgenden interessiert nun die Frage, mit welcher mittleren Geschwindigkeit Fahrzeuge bei Überlast verkehren (also nur der in Figur 13 rot eingefärbte Bereich).



Figur 12 Fundamentaldiagramm (Quelle der Grafik: Brilon/Estel 2008, Bild 2-1)



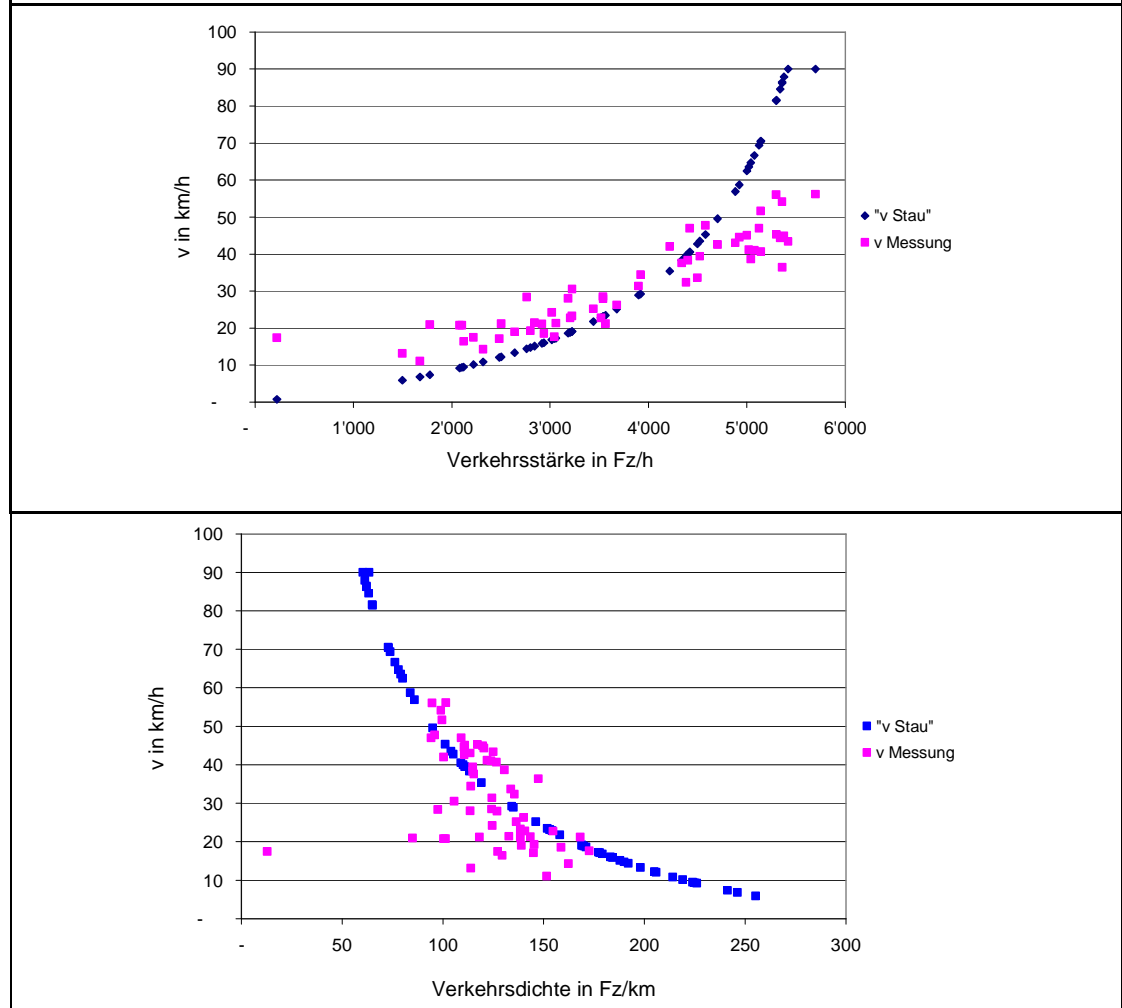
Figur 13 q-v-Diagramm, als Teil des Fundamentaldiagramms. Die Grafik zeigt alle 3-Minuten-Messpunkte des Monats März 2010 der Zählstelle Nr. 20, Nordumfahrung Zürich A1C, Richtung Glattbrugg. Rot eingefärbt sind Punkte, die gemäss oben ausgeführter Definition zur Stufe F („überlastet“) gezählt werden.

Über das Fundamentaldiagramm lässt sich dazu ein Geschwindigkeitsverlauf ableiten; es braucht allerdings Annahmen dazu, namentlich zu q_{\max} (der maximalen Verkehrsstärke) sowie zur Verkehrsdichte bei unterschiedlichen Verkehrsstärken. Wir übernehmen dazu die Annahmen von ProgTrans (TB 2, Kap. 3.2.3): Mit einer Verkehrsdichte von $D_{\max} = 110 \text{ Fz/km}$ bzw. einer Verkehrsdichte von 20 Fz/km bei einer maximalen Verkehrsstärke q_{\max} von $1800 \text{ Fz pro Stunde und Spur}$ kann so für jede Verkehrsstärke ein „v Stau“ berechnet werden. Als Untergrenze wurde ein Wert von 5 km/h eingesetzt.

Figur 14 (oben) illustriert an einem konkreten Beispiel den Vergleich zwischen diesen Funktionswerten und den gemessenen Momentangeschwindigkeiten. Sie bestätigen eine systematische Überschätzung der Geschwindigkeiten der ASTRA-Messungen bei Überlast insbe-

sondere bei tieferen Geschwindigkeiten. Irritierend an dieser Grafik ist der Umstand, dass demnach mit zunehmender Verkehrsstärke die Geschwindigkeit zunimmt. Das trifft für den Überlastbereich in der Tat zu, wie auch aus Figur 13 hervorgeht. Relevant ist allerdings für den Überlastbereich nicht die Verkehrsstärke als vielmehr die Verkehrsdichte, und die Geschwindigkeit nimmt, wie Figur 14 (unten) zeigt, tatsächlich mit zunehmender Verkehrsdichte ab.

ILLUSTRATION DER RELATION ZWISCHEN DEN BERECHNETEN GESCHWINDIGKEITEN („V STAU“) UND DEN GEMESSENEN MOMENTAN-GESCHWINDIGKEITEN, AUFGETRAGEN ÜBER DER VERKEHRSTÄRKE BZW. DER VERKEHRSDICHTE



Figur 14 Die blaue Funktion entspricht der in Anlehnung an das Fundamentaldiagramm berechneten Geschwindigkeiten bei Überlast, während die roten Punkte die gemessenen Werte zeigen. In der oberen Grafik ist die Geschwindigkeit über der Verkehrsstärke (in Fz/h), in der untern Grafik über der Verkehrsdichte (Fz/km) dargestellt. Mit zunehmender Verkehrsdichte nimmt die Geschwindigkeit ab. (Daten: Querschnitt Zählstelle 286, Wallisellen A1, 3.10.2008)

Mit diesen Präzisierungen war die Basis gelegt, auf der für alle Zeitintervalle aller Zählstellen die Fahrzeugstautunden gemäss Formel 1 (Abschnitt 2.4) ermittelt werden konnten.

3.2.5. STAUZEITVERLUSTE AUF AUTOBAHNEN

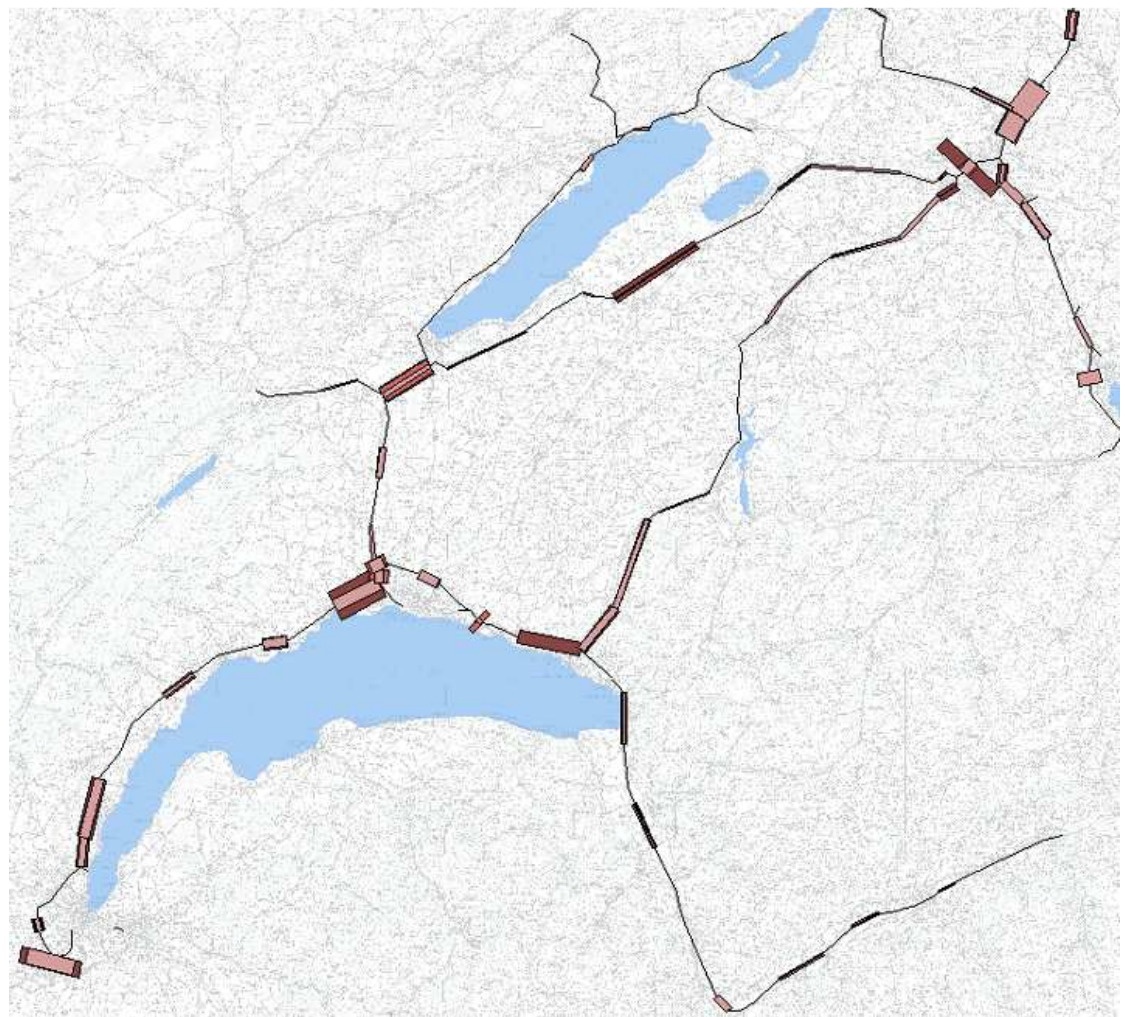
Die Berechnung der Fahrzeugstautunden wurden anschliessend für alle relevanten Zählstellen ermittelt. Dabei wurden die Werte zuerst als spezifische Verlustzeiten pro km berechnet, dann wurden sie mit den Distanzen jener Abschnitte des „location node“-Netzes multipliziert, denen die Zählstellen zugewiesen wurden. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass die spezifische Verlustzeit, die am Zählstellenquerschnitt gemessen wurde, jeweils für den ganzen Abschnitt gilt. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurde jedem Abschnitt lediglich eine Zählstelle zugewiesen. Dadurch und durch die Bedingung, dass Zählstellen nur dann in die Berechnung mit aufgenommen wurden, wenn die detaillierten Daten von mindestens drei Monaten pro Jahr zur Verfügung standen, sank die Zahl der berücksichtigten Zählstellen ab (auf 2008: 148, 2009: 158, 2010: 174 Zählstellen). So ergibt sich für das Jahr 2009 für die Summe aller berechneten Streckenabschnitte ein Gesamtwert von 3.65 Mio PW-Stautunden und 0.36 Mio LKW-Stautunden. Die nachstehenden Figuren illustrieren die Fahrzeugstautunden (dargestellt sind die spezifischen Fahrzeug-Stautunden pro km) für verschiedene Räume, und zwar für die Jahre 2008, 2009 und 2010.

ILLUSTRATION VON ORT UND AUSMASS DER FAHRZEUG-STAUSTUNDEN AUF DER BASIS DER ASTRA-MESSUNGEN (RAUM BASEL / ZÜRICH / LUZERN / OSTSCHWEIZ)



Figur 15 Die Grafik zeigt die Entwicklung der Fahrzeugstaustunden über die drei Jahre 2008/2009/2010 (hell=2008, mittlere Färbung=2009, dunkel=2010).

ILLUSTRATION VON ORT UND AUSMASS DER FAHRZEUG-STAUSTUNDEN AUF DER BASIS DER ASTRA-MESSUNGEN (RAUM WESTSCHWEIZ – BERN)



Figur 16 Die Grafik zeigt die Entwicklung der Fahrzeugstautunden über die drei Jahre 2008/2009/2010 (hell=2008, mittlere Färbung=2009, dunkel=2010).

ILLUSTRATION VON ORT UND AUSMASS DER FAHRZEUG-STAUSTUNDEN AUF DER BASIS DER ASTRA-MESSUNGEN (RAUM GOTTHARD - TESSIN)



Figur 17 Die Grafik zeigt die Entwicklung der Fahrzeugstauzeiten über die drei Jahre 2008/2009/2010 (hell=2008, mittlere Färbung=2009, dunkel=2010).

Diese Illustrationen zeigen, dass die Fahrzeugstauzeiten im Grossen und Ganzen durchaus den Erwartungen entsprechen. Gleichwohl gibt es zuweilen etwas überraschende Ergebnisse, für die sich aber durchaus plausible Erklärungen finden (etwa Baustellen). Diese sind – gemäss bundesgerichtlicher Vorgabe – nicht auszublenden, sondern sind Bestandteil der auszuweisenden Stauzeiten. Es fällt aber insbesondere auf, dass eine Reihe bekannter Staubrennpunkte nicht erscheinen. So etwa erscheint die Nord-Süd-Achse praktisch nicht, insbe-

sondere figuriert der Stau am Gotthard kaum (auf der Nordseite gar nicht, da keine geeignete Zählstelle vor dem Tunnel besteht; auf der Südseite einzig im Jahr 2009 in Quinto).

Ebenso fehlen in den Aufzeichnungen chronische Staus etwa an den Grenzpunkten (Basel, Chiasso etc.). Überdies zeigen diese Bilder auch, dass die dahinter liegenden Zahlen keinesfalls die vollständigen Verlustzeiten repräsentieren, sondern Punktbetrachtungen mit etlichen Lücken in der Aufzeichnung sind, die für eine gesamtschweizerische Aussage zu kompletieren sind.

Hochrechnung auf die Schweiz

Mit dem Bezug zum „location code“-Netz kann bestimmt werden, wie gross die Fahrleistung ist, welche auf diesen Zählstellen-Abschnitten verkehrt. Diese betragen beispielsweise für das Jahr 2009 knapp 30% der schweizerischen Fahrleistung auf Autobahnen. In der Annahme, dass die Zählstellen-Abschnitte in der Summe repräsentativ sind für die Verhältnisse auf dem ganzen Autobahnnetz, kann man die ermittelten Verlustzeiten entsprechend der Fahrleistung für das gesamte Autobahnnetz hochrechnen, wobei differenziert wird zwischen Schwer- und Nicht-Schwerverkehr. Das führt zu folgenden Ergebnissen (Details dazu finden sich in Annex 2).

FAHRZEUG-STAUSTUNDEN AUF AUTOBAHNEN PRO JAHR (IN MIO)			
	LMW	SMW	Summe
2008	10.44	0.78	11.23
2009	12.43	1.08	13.51
2010	18.51	1.65	20.16

Tabelle 3 Resultierende Fahrzeugstautunden (Mio) pro Jahr (vgl. auch Annex 2).

Die Annahme der Hochrechnung anhand der Fahrleistung scheint zumindest für die Jahre 2008 und 2009 gerechtfertigt, denn die Zählstellen wurden, wie oben bereits erwähnt, ursprünglich bewusst nicht direkt an Stau-Hotspots installiert. Erst in den jüngsten Jahren wurden zunehmend Zählstellen an hochbelasteten Querschnitten wie auch an einzelnen Ein/Ausfahrten eingerichtet, so etwa im Raum Zürich mit der Eröffnung des Uetlibergtunnels (4. Mai 2009) bzw. der A4/Westumfahrung (13. Nov. 2009). Der fahrleistungsbezogene Faktor könnte die Hochrechnung (im Jahr 2010) allenfalls etwas überzeichnen.

3.2.6. BERECHNUNG DER STAUZEITKOSTEN

Die Monetarisierung erfolgt unter Verwendung der gleichen Kostensätze, wie sie bereits in den beiden Vorläufer-Untersuchungen (Infras 2007, Ecoplan/Infras 2010) verwendet wurden. In der Studie 2007 (Kap. 4.1) sind auch die Datenquellen erläutert. Für die Pilotstudie 2010 wurden die Werte für das Jahr 2005 unverändert und ohne Teuerungsbereinigung übernommen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit sollen auch hier die gleichen Werte zum Zuge kommen, d.h. für eine PW-Stunde wird ein Kostensatz von CHF 28.2/h eingesetzt, für den Güterverkehr (Liefer- und Lastwagen) ein Wert von 116 CHF/h. Weil Lieferwagen zum Nichtschwerverkehr gezählt werden und weil in den Zählstellen-Daten des ASTRA (3-Minuten-Mittelwerte) nur eine Differenzierung zwischen Schwerverkehr und Nicht-Schwerverkehr gemacht wird, wird für den Nicht-Schwerverkehr die gleiche Gewichtung zwischen PW und Lieferwagen vorgenommen wie sie sich aus der Studie 2007 ergab (95.1% PW, 4.9% Lieferwagen), woraus ein mittlerer Wert von 32.5 CHF/FzH resultiert. Würde man die Lieferwagen gemäss ihrem Anteil an der Fahrleistung (10% gemäss ASTRA 2011) unterstellen, ergäbe sich ein Kostensatz von 37 CHF/FzH.

KOSTENSÄTZE GEMÄSS STAUZEITKOSTEN-STUDIE 2007 (AUTOBAHNEN, ANHANG 9)			
	Zeitverlust	Zeitkosten	Kostensatz
	Mio FzH	Mio CHF	CHF/FzH
PW	13.16	371.3	28.2
Lieferwagen	0.68	78.3	116.0
PW/LI	13.84	449.59	32.5
LW	1.16	135.1	116.0

Tabelle 4 Verwendete Kostensätze

Mit den Verlustzeiten multipliziert ergeben sich für das Jahr 2009 Gesamtstauzeitkosten auf Autobahnen von 529 Mio CHF/a, davon entfallen 125 Mio CHF auf den Schwerverkehr und 404 Mio CHF auf den Nicht-Schwerverkehr. Die nachstehende Tabelle enthält die entsprechenden Angaben für die drei Jahre 2008, 2009 und 2010 (Details finden sich in Annex 2).

STAUZEITKOSTEN PRO JAHR AUF AUTOBAHNEN (IN MIO CHF/A)			
	LMW	SMW	Summe
2008	339	91	430
2009	404	125	529
2010	602	191	793

Tabelle 5 Resultierende Fahrzeugstauzeitkosten (Mio CHF/a) auf Autobahnen (vgl. auch Annex 2).

Die Stauzeitkosten werden mit dieser Berechnungsmethode etwas tiefer (ca. 10%) veranschlagt als in der Studie von 2007. Ein wesentlicher Grund ist darin zu sehen, dass bei der Wahl der Annahmen hier bewusst ein „At least“-Ansatz verfolgt wurde. Dies bedeutet, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. Dies gilt beispielsweise für die Wahl der „Zielgeschwindigkeit“ (bei unbelasteter Verkehrsanlage), welche über einen Mittelwert realer Messwerte hergeleitet wurde. Überdies wurde für alle Jahre der Mittelwert 2010 unterstellt, der aufgrund zunehmender Überlastungen tendenziell tiefer lag als jener der Vorjahre. Dadurch werden nicht nur die Zeitverluste geringer eingestuft als wenn beispielsweise die zulässige Reisegeschwindigkeit gewählt worden wäre, sondern auch die Zahl der Stausituationen, welche überhaupt in die Berechnung einbezogen werden. Auch wurde die Staugeschwindigkeit gemäss der erwähnten Methodik festgelegt, selbst wenn der gemessene Geschwindigkeitsmittelwert kleiner ausfiel (vgl. Figur 14 oben), was die Stauzeiten ebenfalls tendenziell verkleinert.

In der zeitlichen Entwicklung zeigt sich eine ausgesprochene Dynamik. Die Verlustzeiten nehmen deutlich überproportional zur Fahrleistung zu. Demnach führen die zunehmenden Kapazitätsengpässe zu sprunghaft ansteigenden Zeitverlusten, Staustunden und Stauzeitkosten. Jedenfalls weist diese Entwicklung eine ähnliche Tendenz auf wie sie sich aus der Staustatistik ergibt (vgl. Figur 2). Allerdings übersteigt der Anstieg von 2009 auf 2010 die Zunahme der Staudauer gemäss Staustatistik (34%) deutlich. Das könnte zumindest teilweise darauf zurückzuführen sein, dass die fahrleistungsproportionale Hochrechnung die Stauzeiten bzw. Stauzeitkosten 2010 etwas überschätzt.

3.3. STAUZEITKOSTEN AUF DEM ÜBRIGEN STRASSENNETZ

3.3.1. AUSGANGSLAGE

Die Datenlage im Nicht-Autobahnbereich ist deutlich ungünstiger als jene bei den Autobahnen. Das ist heute nicht wesentlich anders als noch im Jahr 2007. Beispielsweise werden Stau-Angaben zum Nicht-Autobahnbereich zwar in der Staustatistik abgelegt, aber nicht aufbereitet und für statistische Zwecke ausgewertet.

Die Studie 2007 hat sich deshalb im Wesentlichen auf eine Studie des Kantons Zürich gestützt. Bemerkenswert an den dort rapportierten Zahlen ist der Umstand, dass lediglich 9% der insgesamt 7.3 Mio Fahrzeugstunden / Jahr (Bezugsjahr 2004) auf den Autobahnen stattfinden – ein Verzicht auf die Staus im Nicht-Autobahnbereich wäre also nicht zu rechtfertigen. Die Studie 2007 hat denn auch die Zürcher Studie als Basis für die Abschätzung des Staustunden-Totals genommen und unterstellt, dass die Stauzeitstunden im Kanton Zürich rund ein Drittel des schweizerischen Totals ausmachen. Das führte zur Zahl von 20 Mio. Fahrzeug-Verluststunden bzw. einem Betrag von 655 Mio. CHF/a. Man muss allerdings berücksichtigen, dass die Zürcher Studie eine Definition von Stau unterstellte, die von der hier verwendeten Überlast-Definition abweicht, indem sie Abweichungen zwischen Peak- und Off-Peak-Fahrzeit ermittelt hat, mithin also auch kleine Zeitverluste in Rechnung stellte. Deshalb hat die Studie 2007 auch eine Sensitivitätsrechnung angestellt, welche lediglich rund die Hälfte davon als „Stauzeitkosten“ ermittelte. Den Anteil des Schwerverkehrs an den Fahrzeug-Stauzeiten veranschlagte die 2007-er Studie auf 3%, jene der Stauzeitkosten auf 10.5% bzw. 69 Mio CHF. Die Pilotstudie 2010 übernahm den Wert der Stauzeitkosten aus der Staukostenstudie 2007 als Eckwert, stellte aber aufgrund der Analyse von differenzierten Zählstellendaten einen kleineren Anteil des Schwerverkehrs von 5.1% der Stauzeitkosten fest, woraus sich ein Wert von 33 Mio CHF ergab.

3.3.2. BERECHNUNG AUF DER BASIS EINER NEUEN DATENQUELLE

Ergänzend zu den bisherigen Überlegungen und Studienergebnissen werden, wie in Kap. 2.3 erläutert, für die Stauzeitkosten-Ermittlung auf dem Nicht-Autobahnnetz neue Datenquellen herangezogen, welche Zeitverluste direkt zu ermitteln vermögen. Diese sog. „Speed Profiles“ der Firma TomTom liefern den zeit- und damit verkehrsnachfrage-abhängigen Zeitbedarf für die Passierung der verschiedenen Streckenabschnitte des schweizerischen Strassennetzes (kodiert als Teleatlas-Netz).

Gleichzeitig wird die Beschreibung der Verkehrsbelastungen der einzelnen Streckenabschnitte für den Bereich des Kantons Bern aus dem entsprechenden Gesamtverkehrsmodell

herangezogen. So können die entsprechenden Zeitverluste direkt gemäss Gleichung 1 (Abschnitt 2.4) ermittelt werden. Allerdings ist analog zur Situation bei den Autobahnen festzulegen, welche Schwellenwerte für die Qualitätsstufe F zur Beschreibung von Überlast-Situationen herangezogen werden sollen. Wir orientieren uns dabei ebenfalls an Brilon/Estel (2008). Für Hauptstrassen schlagen sie die Stufe F vor für eine Situation, bei der die mittlere Reisegeschwindigkeit unter 40% der zulässigen Höchstgeschwindigkeit fällt (S. 45). Darin äussert sich das Zusammenwirken von Strecken und Knotenpunkten (deshalb ist der Wert auch tiefer als bei Autobahnen). Weil für einen Grossteil des Hauptstrassennetzes 80 km/h gilt, liegt demnach der Schwellenwert für diese Strassenkategorie bei 32 km/h, unter dem von Überlastung gesprochen werden kann. Erschliessungs- und lokale Sammelstrassen werden bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Dieser Ansatz unterscheidet sich also von jenem der Zürcher Studie, wo auch kleine Zeitverzögerungen mit enthalten sind.

Die Umsetzung dieses Ansatzes bedingte, dass zuerst die beiden Teletlas-Strassennetze miteinander in Beziehung gebracht werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die beiden Netzkodierungen offenbar beidseitig (TomTom und Kanton Bern) recht dynamisch weiter entwickelt wurden. Jedenfalls liessen sich lediglich rund 40% der Strassenabschnitte (bzw. der entsprechenden Fahrleistung) miteinander koppeln. Dadurch entsteht eine Art „Flickenteppich“ (vgl. Annex 3), der die Repräsentativität der Ergebnisse in Frage stellen kann. Eine Alternative hätte darin bestanden, die Verkehrsnachfrage in Form von Wunschlinien des GVM Kanton Bern (oder auch anderer Kantone wie etwa Zürich oder Basel) neu auf das „Speed Profile“-Strassennetz umzulegen. Dies konnte aus zeitlichen und Aufwandgründen im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt werden. Weil die Strukturen (z.B. Geschwindigkeitsverteilungen, Verteilung der Fahrleistung nach Strassentypen etc.) des „reduzierten Netzes“ nicht völlig abweichen von jenem des GVM, kann der Datensatz gleichwohl als zweckmässige Datenquelle eingestuft werden, da dies exakt jener Information entspricht, die letztlich gesucht ist.

Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse. Darin ist unterstellt, dass die Verlustzeiten für das Modellgebiet mit Faktoren, die den Fahrleistungsanteilen entsprechen, auf die Verhältnisse in der Schweiz hochgerechnet werden können. Bei den PW ist das ein Faktor 10.7, bei Liefer- und Lastwagen sind die Faktoren mit 8.2 bzw. 7.1 etwas tiefer (der Kehrwert dieser Faktoren entspricht den prozentualen Anteilen der Fahrleistungen, welche im Modellgebiet zurückgelegt werden). Zurückhaltung ist angezeigt bei den Zahlen des Schwerverkehrs, weil dies keine originären Zahlen aus dem GVM sind, sondern aus dem nationalen

Modell ausgelöst wurden, auf die kantonale Ebene projiziert, dann als Basisbelastung auf das Strassennetz umgelegt und schliesslich mit Zählwerten kalibriert wurden. Diese Angabe scheint deshalb wesentlich weniger verlässlich in dieser „Mikrobetrachtung“ als der Personenverkehr, welcher Inhalt des GVM ist. Die Verlustzeiten können überdies zeitlich nicht genau einem Jahr zugeordnet werden, da die Nachfragezahlen sich auf das Jahr 2007 beziehen, die Speed Profile aber neueren Datums sind. Der Mix dieser beiden Datensätze dürfte approximativ den Zustand 2009 repräsentieren. Sie lassen aber keine Bildung einer Zeitreihe (2008/2009/2010) zu. Es bleiben Vorbehalte, was die Repräsentativität betrifft.

STAUZEITEN UND -KOSTEN PRO JAHR AUF NICHT-AUTOBAHNEN AUF DER BASIS VON „SPEED PROFILES“						
		PW	LI	LMW	SNF	Total
Verlustzeiten Modellgebiet	Mio FzStd/a	1.30	0.03	1.33	0.02	1.35
Faktoren Sample->CH		10.7	8.2		7.1	
Verlustzeiten CH	Mio FzStd/a	13.85	0.25	14.09	0.14	14.23
Kostensatz	CHF/FzH	28.3	116.0	29.8	116.0	
Verlustzeitkosten	Mio CHF/a	391.8	28.6	420	15.7	436

Tabelle 6 Resultierende Fahrzeugstauzeitkosten pro Jahr auf dem Nicht-Autobahn-Strassennetz auf der Basis von „Speed Profile“-Daten sowie einer Gewichtung mit Hilfe von Daten des GVM des Kantons Bern (Annahme: Zeitpunkt ca. 2009). Vorbehalte bleiben insbesondere bei den (sehr geringen) Stauzeiten des Schwerverkehrs.

3.3.3. WÜRDIGUNG

Die Diskrepanzen dieser Zahlen für den Nicht-Autobahnbereich sind etwa im Vergleich zur Zürcher Studie markant. Die „Zürcher Zahlen“ sind deutlich höher als die „Berner Zahlen“. Das hängt v.a. mit der Definition von „Überlast“ zusammen. Setzt man ein strenges Kriterium an, so geben die Berner Zahlen eine brauchbare Basis. Die so resultierende Zahl von 420 Mio CHF (PW 392 Mio CH und Lieferwagen 29 Mio CHF) liegt damit zwangsläufig unter der Zahl der Staukostenstudie 2007, welche sich an den Zürcher Zahlen (also Verlustzeiten inklusive kleinen Zeitverzögerungen) orientierte. Man kann zwar die Repräsentativität der Berner Zahlen in Frage stellen. Doch kann man diesen Wert im Sinne des „at least“-Ansatzes vertreten.

Unplausibel ist dagegen die Zahl der Stauzeitkosten des Schwerverkehrs (16 Mio CHF), der mit 1% an Stauzeiten bzw. 3.6% an Stauzeitkosten rund 4 x tiefer liegt als es die Staukostenstudie 2007 ermittelte (69 Mio CHF), welche die Anteile des Schwerverkehrs mit dem

VM UVEK abgeschätzt hat. Die Pilotstudie 2010 ihrerseits hat aufgrund von Analysen von Zählstellendaten einen Wert von 33 Mio CHF abgeschätzt.

Angesichts dieser Spannbreiten und im Sinne des „At least“-Ansatzes gehen wir für die weitere Analyse des dem Schwerverkehr anlastbaren Anteils der Stauzeitkosten im nächsten Abschnitt von einem Wert von 33 CHF Mio aus. Darin ist die Annahme impliziert, dass die Verlustzeiten des Schwerverkehrs auf dem Nicht-Autobahn-Netz 2% der Gesamt-Verlustzeiten ausmachen (bei einem Fahrleistungsanteil von 3.8%). Zum Vergleich: die entsprechenden Zahlen auf Autobahnen betragen 8% Verlustzeiten bei einem Fahrleistungsanteil von 5.8% (gemäss Analyse in Abschnitt 3.2 für das Jahr 2009⁶). Ein Wert von 2% für Nicht-Autobahnen scheint deshalb eher an der untern Grenze zu liegen.

Damit ergibt dies für das Jahr 2009 und den Nicht-Autobahnbereich die folgenden Gesamt-Stauzeitkosten („Basisrechnung“ mit den früher verwendeten Kostensätzen):

› Nicht-Schwerverkehr:	420 MioCHF
› Schwerverkehr:	33 Mio CHF
› Total (Nicht-Autobahnbereich):	453 Mio CHF

Wie oben ausgeführt, lässt sich aus diesen Angaben keine zeitliche Entwicklung herleiten.

3.4. ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend ergeben sich somit als Basis für die weiteren Analysen folgende Gesamtstauzeitkosten: (bei den Autobahnen kann nach Jahren differenziert werden, beim übrigen Strassennetz wird jeweils immer von den gleichen Zahlen ausgegangen):

⁶ Diese Zahlen sind gewichtete Anteile des Lastwagenverkehrs (ohne Busse) am DTV (durchschnittl. täglicher Verkehr), ausgewertet über alle Zählstellen des Jahres 2009.

GESAMTE FAHRZEUG-VERLUSTZEITEN UND STAUZEITKOSTEN FÜR 2008, 2009, 2010

Fahrzeugverlustzeiten in Mio Fzh/a			2008
Mio FzH/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	10.4	0.78	11.2
übriges Strassennetz	14.1	0.28	14.4
Total	24.5	1.07	25.6

Fahrzeugverlustzeiten in Mio Fzh/a			2009
Mio FzH/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	12.4	1.08	13.5
übriges Strassennetz	14.1	0.28	14.4
Total	26.5	1.36	27.9

Fahrzeugverlustzeiten in Mio Fzh/a			2010
Mio FzH/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	18.5	1.65	20.2
übriges Strassennetz	14.1	0.28	14.4
Total	32.6	1.93	34.5

Stauzeitkosten total in Mio CHF/a			2008
Mio C HF/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	339	91	430
übriges Strassennetz	420	33	453
Total	759	124	883

Stauzeitkosten total in Mio CHF/a			2009
Mio C HF/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	404	125	529
übriges Strassennetz	420	33	453
Total	824	158	982

Stauzeitkosten total in Mio CHF/a			2010
Mio C HF/a	LMW	SMW	Summe
Autobahnen	602	191	793
übriges Strassennetz	420	33	453
Total	1'022	224	1'246

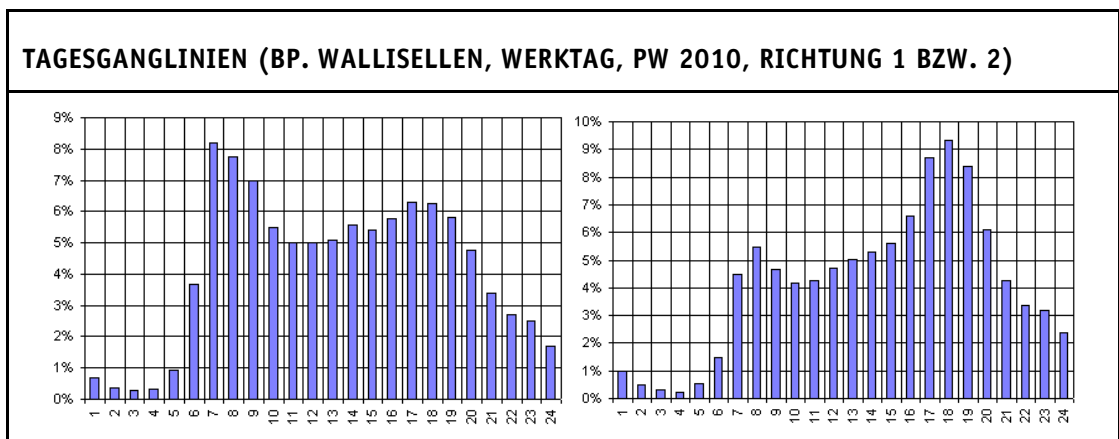
Tabelle 7 Verlustzeiten und Fahrzeugstauzeitkosten pro Jahr. Ausgehend von diesen Werten wird im folgenden Kapitel der dem Schwerverkehr anzulastende Anteil abgeschätzt. Beim Nicht-Autobahnnetz lassen die Datengrundlagen keine Bildung einer Zeitreihe zu, deshalb wird immer das gleiche Mengengerüst unterstellt.

4. BERECHNUNG DES ANTEILS DER DURCH DEN SCHWERVERKEHR VERURSACHTEN STAUZEITKOSTEN

4.1. METHODIK

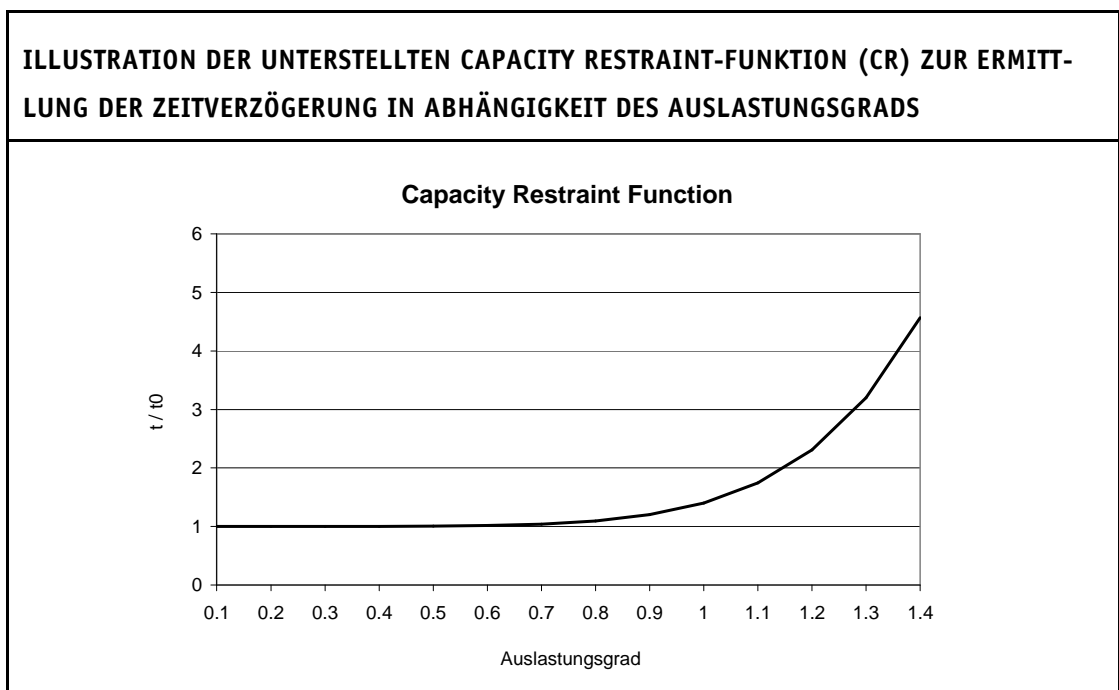
Wie in Abschnitt 2.4 dargelegt, orientieren wir uns für die Ermittlung des Anteils der dem Schwerverkehr anzulastenden Stauzeitkosten an der Methodik, die bereits in der Pilotstudie 2010 angewendet wurde. Datenseitig liegt kein grundlegend neuer Wissensstand vor. Hingegen applizieren wir die Methodik auf dasselbe Mengengerüst (im Teil Autobahnen), welches bereits die Basis bildete für die Stauzeitkosten-Abschätzung in Abschnitt 3.2. Die Methodik sieht Folgendes vor:

- › In einem ersten Schritt werden die heutigen Stauzeitkosten pro Streckenabschnitt anhand der Abschnitte mit Zählstellen wie in der vorangehenden Analyse modellhaft abgebildet. Die Ergebnisse aus Kapitel 3 gelten dabei als Eckwerte.
- › Für die Berechnung wird je „typische Stunde“ der Vergleich zwischen Nachfrage und Kapazität gemacht. Die Nachfrage wird nach Fahrzeugkategorien differenziert. Weil die Differenzierung Schwer- / Leichtverkehr im Zentrum steht, werden hier als empirische Grundlage die automatischen Verkehrszählungen in einer speziellen Auswertung des ASTRA verwendet, welche die Nachfrage stündlich aggregiert und nach Fahrzeugkategorien differenziert (sog. Swiss7- oder Swiss10-Zählungen, mit der Differenzierung nach PW, LI, Cars, MR und LW/LZ/SZ (=SNF [schwere Nutzfahrzeuge])). Diese Fahrzeugkategorien werden letztlich bei der Ausweisung der Stauzeitkosten zu leichten (PW, LI, MR) bzw. schweren Motorwagen (Cars, SNF) zusammengezogen (LMW, SMW).
- › Die stündlichen Verkehrsmengen werden anhand von Tagesganglinien bestimmt, differenziert je Zählstelle nach Fahrzeugkategorien und Tagestypen [Werktag, Samstag, Sonntag] sowie nach Monaten und überdies richtungsgetreunt (vgl. Figur 18). Diese stündliche Verkehrsmenge wird dann mit der Leistungsfähigkeit verglichen, die aus Unterlagen des nationalen Personenverkehrsmodells übernommen wird (VM UVEK), welche in der Regel mit der bei der Stauberechnung verwendeten Kapazitätsangabe übereinstimmt. Gleichzeitig müssen auch die Geschwindigkeitsverhältnisse im unbelasteten Zustand festgelegt werden. Als Ausgangsgeschwindigkeit wird die in der vorausgehenden Analyse als v_{freeflow} ermittelte Geschwindigkeit festgelegt, woraus sich als Kehrwert die Fahrzeit t_0 ergibt.



Figur 18 Beispiel von Tagesganglinien

- › Im Weiteren waren sog. Capacity Restraint-Funktionen festzulegen. Diese machen eine Aussage über die Zunahme des Zeitbedarfs in Abhängigkeit der Auslastung auf den jeweiligen Strassenabschnitten. Das sind sensitive Parameter. Im Rahmen dieser Arbeit konnten keine Vertiefungen durchgeführt werden, um solche Parameter speziell für die relevanten Stausituationen herzuleiten und entsprechend zu eichen. Sie wurden in Anlehnung an das VM UVEK festgelegt.



Figur 19 Capacity restraint functions drücken aus, wie sich die mittlere Fahrzeit auf einem Streckenabschnitt in Abhängigkeit der Auslastung verändert.

- › Schliesslich sind eine Reihe ergänzender Annahmen zu treffen, namentlich sind die Gewichtungsfaktoren für die verschiedenen Fahrzeugkategorien festzulegen, um diese in sog. Personenwageneinheiten (PWE) umzurechnen. Wir verwenden an dieser Stelle erneut den Wert von 2.5 PWE/Schwerverkehrsfahrzeug (wie in der Pilotstudie 2010), im Unterschied zur Staukostenstudie 2007, wo noch ein Wert von 3.0 verwendet wurde. ProgTrans postuliert in ihrer Studie (Kap. 5.5 TB1, S. 21) einen Wert von 2.0. Sie anerkennen zwar den Wert von 2.5 PWE (Personenwageneinheiten) für den Schwerverkehr, nennen aber als LMW-Wert 1.25, woraus sich ein Verhältnis von 2.0 ergeben soll. Folgt man z.B. einer Literaturquelle von Prognos/IWW (2002) [zitiert nach CE et.al. 2008], so sind Lieferwagen mit 1.2 einzusetzen. Da der Lieferwagen-Anteil in der Regel vergleichsweise gering ist⁷, müsste ein gewichteter Wert deutlich näher bei 1.0 liegen und sicher nicht bei 1.25. Zudem bewirken auch Motorräder (die wir mit 0.9 eingesetzt haben) eine Reduktion des Wertes für die LMW näher zu 1.0. Würde man im übrigen die (nach Gewichtsklassen differenzieren) Werte von Prognos/IWW für die LKW applizieren, käme man gar auf einen Wert von 3.76 für den Schwerverkehr (statt 2.5). Ein Wert von 2.5 ist demnach gerechtfertigt.
- › So lässt sich für einen bestimmten Querschnitt die „Stauzeit“ als Differenz zwischen dem Zeitbedarf in einer Ausgangssituation, d.h. dem unbelasteten Netz, und einer Situation mit der effektiven Belastung ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass LMW und SMW im unbelasteten Netz in der Regel unterschiedliche Ausgangsgeschwindigkeiten haben (so gilt auf Autobahnen für Lastwagen Tempo 80, während für PW in der Regel die Limite bei 120 km/h liegt). Das führt bei den PW tendenziell zu höheren Zeitdifferenzen (und damit Stauzeiten) als bei den SNF.
- › Die Stauzeitkosten schliesslich ergeben sich durch Einbezug von Kostensätzen, wobei die gleichen Ansätze wie im vorgängigen Kapitel (vgl. Tabelle 4) eingesetzt werden.
- › So lässt sich je Zählstelle ein Referenz-Zustand (faktisch der heutige Zustand bzw. ein Zustand eines bestimmten Jahres – je nach Wahl des Zeitpunkts der Zählstellenwerte) abbilden. Die gesamten Fahrzeugstauzeiten bzw. Stauzeitkosten ergeben sich dann durch Hochrechnung auf die entsprechenden Jahres-Eckwerte gemäss Tabelle 7 (vgl. Abschnitt 3.4).
- › Entsprechend der Vorgabe des Bundesgerichts wird dann ein zweiter Zustand *ohne* Schwerverkehr berechnet. Operationell wird dies mit einem PWE-Faktor von 0.0 umgesetzt.

7 Gemäss Zählstellen-Auswertungen des Jahres 2009 sind es auf Autobahnen rund 10% der leichten Motorwagen, auf Nicht-Autobahnen rund 6%.

- › Die Differenz zwischen den beiden Zuständen lässt sich als der vom Schwerverkehr verursachte Anteil an den Stauzeitkosten interpretieren. Einen Teil davon trägt der Schwerverkehr selbst, einen Teil der Nicht-Schwerverkehr. Letzteres ist die gesuchte Belastung.
- › Im Sinne einer Sensitivität berechnen wir auch die in der Pilotstudie angewandte Variante (mit PWE-Faktor 1.0).

4.2. ERGEBNISSE

Die skizzierte Methode wird appliziert für die Autobahn-Zählstellen, d.h. auf das gleiche Mengengerüst wie es in Kapitel 3 zur Bestimmung der Gesamtstauzeiten verwendet wurde. In einem ersten Schritt werden die Stauzeiten für die verschiedenen Zustände berechnet und anschliessend mit Kostensätzen in Franken transformiert.

Für die Nicht-Autobahnen verzichten wir auf eine Modellapplikation, da bereits die Gesamtkostenschätzung auf Analogieschlüssen basiert. Deshalb wird hier lediglich eine Abschätzung anhand der Relationen im Autobahnbereich angefügt. Letztere sagt aus, dass den Stauzeitkosten von 125 Mio CHF beim Schwerverkehr ein Anteil von 225 Mio CHF gegenübersteht, den der Schwerverkehr dem Nicht-Schwerverkehr verursacht. Wir übertragen das auf den Nicht-Autobahnbereich. Gemäss dieser Analogie entstehen dem Nicht-Schwerverkehr weitere rund $2 \times 33 \text{ Mio CHF} = 66 \text{ Mio CHF}$ ⁸. In der Summe ergeben sich die Ergebnisse gemäss nachstehender Tabelle (Annex 4 gibt dazu auch die zugrundeliegenden Stauzeiten):

⁸ Der Verhältnisfaktor wird marginal erhöht gegenüber dem Autobahnbereich, weil im Hauptverkehrsstrassen- und namentlich im Innerortsbereich der Einfluss die relative Beeinträchtigung überproportional ist. Man könnte durchaus einen höheren Faktor rechtfertigen. Im Sinne des „at least“-Ansatzes wird hier der Faktor auf lediglich 2 gesetzt. Das lässt sich auch aufgrund der Art der CR-Funktionen begründen: In Nicht-Autobahn-Bereich kommen Funktionen zur Anwendung, welche eine höhere Sensitivität bereits im Bereich des Auslastungsgrads aufweisen. Das heisst: eine vergleichbare Modellapplikation für Nicht-Autobahnen würde einen höheren Wert als im Autobahnbereich produzieren. Der Faktor 2 ist also eher eine konservative Schätzung.

GESAMT- SOWIE VOM SCHWERVERKEHR VERURSACHTE STAUZEITKOSTEN (IN MIO CHF; 2009)

Zustand		LMW	SMW	Total
		Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF
Referenz V2.5	AB	404	125	529
	übr. Strassen	420	33	453
	Total	824	158	982
Virtueller Zustand V1.0	AB	244	61	305
	übr. Strassen	378	17	394
	Total	664	78	742
	Differenz			
	AB	160	64	224
	übr. Strassen	42	16	59
Virtueller Zustand V0.0	Total	203	80	283
	AB	179	0	179
	übr. Strassen	354	0	354
	Total	533	0	533
	Differenz			
	AB	225	125	350
	übr. Strassen	66	33	99
	Total	291	158	449

Tabelle 8 Gesamte Fahrzeugstauzeitkosten sowie vom Schwerverkehr verursachte Kosten (2009). Demnach überbürdet der Schwerverkehr – unter den Vorgaben des Bundesgerichts – den übrigen Verkehrsteilnehmern 291 Mio CHF. Gemäss der moderateren Variante laut Ansatz der Pilotstudie 2010 beträgt der entsprechende Betrag 203 Mio CHF.

Demnach betragen unter Beachtung der Vorgaben des Bundesgerichts die vom Schwerverkehr verursachten Stauzeitkosten 291 Mio CHF.

Ursprünglich wurden die Kosten für das Jahr 2009 auf 254 Mio veranschlagt. Gemäss neuen Vorgaben sowie überarbeiteter Gesamtkostenschätzung steigen die Kosten auf 291 Mio CHF. Dass der Betrag nicht noch höher ausfällt (etwa bis zu den unter unveränderten Rahmenbedingungen erwartbaren rund 400 Mio CHF) ist darauf zurückzuführen, dass bei der Gesamtkostenschätzung der „at least“-Ansatz verfolgt wurde und bei der Festlegung von Annahmen bewusst konservative Werte angesetzt wurden.

Würde die moderatere Variante gewählt (wie in der Pilotstudie vorgeschlagen, mit PWE 1.0) würde sich der Betrag auf 203 Mio CHF belaufen, also um rund 50 Mio CHF reduziert. Die Begründung ist hier dieselbe: es wurde die Gesamtkostenschätzung reduziert, und in der Folge sinkt auch der dem Schwerverkehr anlastbare Betrag.

Zeitliche Entwicklung 2008, 2009, 2010

Gefragt war gemäss Auftrag des Bundesverwaltungsgerichts in erster Linie die Ermittlung der für das Jahr 2009 dem Schwerverkehr anlastbaren Stauzeitkosten. Weil in Kapitel 3 zumindest für die Autobahnen eine Abschätzung der Gesamtstauzeiten für die drei Jahre 2008, 2009 und 2010 gemacht wurde, kann daraus auch eine Angabe für die dem Schwerverkehr anzulastenden Stauzeitkosten abgeleitet werden. Für das Jahr 2010 wurden allerdings bereits im Kapitel 3 Vorbehalte angebracht, die sich aus der Hochrechnungsproblematik ergeben⁹. Zudem beschränkt sich diese Abschätzung auf den Autobahnbereich, während für das übrige Strassennetz jeweils der gleiche Wert wie 2009 unterstellt wird. So ergibt sich für die dem Schwerverkehr anlastbaren Stauzeitkosten folgende Entwicklung (in Klammer sind jeweils die Angaben für die Variante wiedergegeben, wenn dem Schwerverkehr nur ein Teil der Lasten zugewiesen werden, entsprechend dem Ansatz in der Pilotstudie 2010; vgl. Annex 5):

› 2008	264 Mio CHF/a (194 Mio CHF/a),
› 2009	291 Mio CHF/a (203 Mio CHF/a),
› 2010	401 Mio CHF/a (280 Mio CHF/a).

Sensitivitätsbetrachtung Kostensätze

Man mag einwenden, dass die hier aus Gründen der Vergleichbarkeit verwendeten Kostensätze nicht mehr den heute aktuellen Stand wiedergeben. In der Tat liegen dazu heute Normen mit aktuelleren Kostensätzen vor (SN 641 822a [2009], SN 641 823 [2007] und SN 641 827 [2009]). Die nachstehende Tabelle zeigt die entsprechenden Werte¹⁰:

⁹ Angesichts der Zunahme stark belasteter Zählstellen kann eine fahrleistungsproportionale Hochrechnung der Stauzeiten von den Zählstellen auf den schweizerischen Gesamtwert zu einer Überschätzung führen. Aufgrund dessen wurden für 2010 auch die relativen Veränderungen aus dem Jahr 2009 (d.h. Differenzen virtuelle Zustände zum Referenzzustand) auf das Grundmengengerüst 2010 appliziert.

¹⁰ Wie weit diese Kostensätze realistischer sind als die bisher verwendeten, mag debattiert werden. Jedenfalls hat kürzlich ein Vertreter der Transportbranche den Wert einer Camion-Staustunde auf 89 CHF veranschlagt (Interview mit U. Giezendanner, März 2012, MediaPlanet). Dieser Wert liegt etwa in der Mitte zwischen den bisher verwendeten und den Norm-Werten. Relevanter für die hier zu ermittelnde Angabe sind jedoch die Werte des Nichtschwerverkehrs, denn diese bestimmen letztlich den dem Schwerverkehr anlastbaren Teil der Stauzeitkosten.

KOSTENSÄTZE IN CHF/FAHRZEUG-STUNDE GEMÄSS KNA-NORMEN		
	LMW	2009
PW	94.9%	37.03
LI	5.1%	37.44
LMW		37.05
	SMW	2009
SNF	96.3%	64.94
Bus	3.7%	313.40
SMW		74.09

Tabelle 9 Quelle: Normen zu Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr (SN 641 822a [2009], SN 641 823 [2007] und SN 641 827 [2009]).¹¹

Mit diesen Kostensätzen würden die Stauzeitkosten insgesamt um rund 10% steigen (von 982 auf 1084 Mio CHF im Jahr 2009)¹². Damit würden auch die dem Schwerverkehr anlastbaren Kosten leicht zunehmen, denn im vorliegenden Kontext wäre der relevante (über PW und Lieferwagen gewichtete) Kostensatz der Leichten Motorwagen mit 37 CHF/FzH etwas höher als der für die Ermittlung der Gesamtkosten unterstellte Wert von 32.5 CHF/FzH (Autobahnen) bzw. 29.8 CHF/FzH (Nicht-Autobahnen). Der Kostensatz für Schwere Motorwagen gemäss KNA-Norm ist zwar tiefer als der bisher unterstellte und beeinflusst die Gesamtstauzeitkosten), nicht aber die dem Schwerverkehr anlastbaren Kosten.

4.3. SCHLUSSBEMERKUNGEN

Diese Untersuchung hat in zeitlich eng begrenztem Rahmen die Gesamtstauzeitkosten überarbeitet und damit eine neue Basis gelegt für die Abschätzung des dem Schwerverkehr anlastbaren Anteils. Dabei konnten neue Grundlagen für eine Bestimmung der Gesamtstauzeitkosten herangezogen werden. Gleichwohl sind bereits für diesen Arbeitsschritt weitere

¹¹ Die Werte beziehen sich auf das Jahr 2009 und wurden wie folgt umgerechnet: Zeitkosten PV aus SN 641 822a: Anpassung mit Nominallohnwachstum (gemäss Norm); Zeitkosten GV aus SN 641 823: Anpassung mit Inflation (gemäss Norm); Zeitkosten Car und GV aus SN 641 827: Werte aufgeteilt in reallohnabhängig und –unabhängig: Anpassung mit Nominallohnwachstum bzw. Inflation.

Bei den PW wurden die Normwerte auch für den Besetzungsgrad verwendet. Würde der Besetzungsgrad gemäss BFS-Statistik (abgeleitet aus Fahr- bzw. Verkehrsleistung, d.h. Pkm/Fzkm) eingesetzt, würde sich der Wert 2009 um 1.95 CHF/FzH bzw. 5% erhöhen. Bei den Bussen (Car) ist ein Kostensatz des ÖV für Freizeitfahrten unterstellt, bei einem Besetzungsgrad gemäss BFS-Statistik (Pkm/Fzkm) von rund 21 Pers./Car.

Die Gewichtung PW/LI bei den Leichten Motorwagen bezieht sich auf die Staustudie 2007, jene beim Schwerverkehr auf die Stautundenanteile 2009 auf Autobahnen; würden Fahrleistungsanteile unterstellt, wäre der Reisebus-Anteil 5.5% und damit der Kostensatz leicht höher.

¹² Die Steigerung betrifft vor allen die LMW (von 824 auf 983 Mio CHF), während die Kosten der SMW von 158 auf 101 Mio CHF zurückgehen würden.

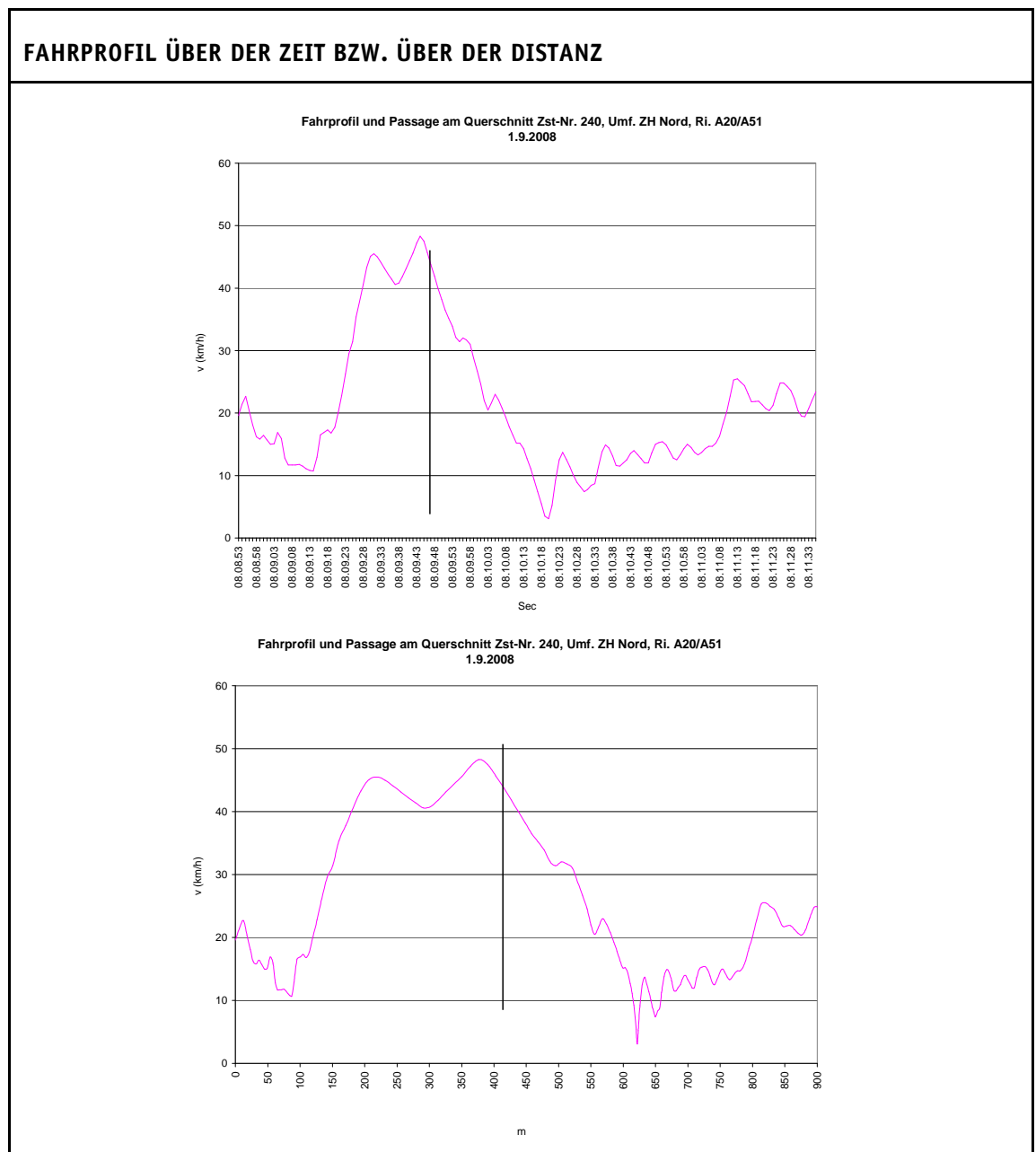
Vertiefungen angezeigt, um die Ausgangssituation noch belastbarer zu beschreiben. Vertiefungsbedarf betrifft zum einen die Repräsentativität der Zählstellenangaben, um aus den punktuellen Stausituationen in verlässlicher Form auf die Gesamtheit der Stauzeiten auf dem Autobahnnetz schliessen zu können. Zum andern ist absehbar, dass sich aufgrund der Entwicklung im Telekom- und Informatik-Bereich die Grundlagen deutlich verbessern werden. Insbesondere lassen Daten von Verkehrsteilnehmern (sog. Floating car data) direkte Rückschlüsse auf den effektiven Zeitbedarf im Verkehr zu. Damit können insbesondere Verkehrssituationen auf dem gesamten Strassennetz (und nicht nur auf Autobahnen) besser abgebildet werden. Solche Datenquellen sollten künftig Teil des Verkehrsmonitorings werden.

Allerdings sind damit für die hier gestellte Aufgabe (Bestimmung des Anteils der Stauzeitkosten, der dem Schwerverkehr anzulasten sei) noch nicht alle relevanten Fragen gelöst. Vielmehr steckt dahinter eine prognostische Aufgabe, nämlich wieviel Staus bzw. Verlustzeiten sich ohne Schwerverkehr ergäben, um aus dem Vergleich mit dem effektiven Verkehrszustand den Anteil des Schwerverkehrs als Stauverursacher abzuleiten. Erst damit wird man der Fragestellung gemäss Auffassung des Bundesgerichts gerecht. Die vorliegende Untersuchung hat diese Frage mit einem approximativen Ansatz zu ermitteln versucht und sich dabei am „at least“-Ansatz orientiert, also zurückhaltende Annahmen unterstellt, wo solche zwangsläufig zu treffen waren. Weil diese Annahmen aber sensitiv sind, ist es angezeigt, insbesondere auch dieser „prognostischen“ Frage nachzugehen. Verbesserungen und Abstützungen wären dabei von vertieften Analysen des empirischen Grundlagenmaterials, aber auch von speziellen Studien wie Verkehrsflusssimulationen zu erwarten.

Schliesslich sind auch die Kostensätze für die Höhe der Stauzeitkosten sensitiv. Die Auseinandersetzung auch mit diesem Aspekt sollte Bestandteil weiterer Vertiefungen sein.

ANNEX

ANNEX 1: ILLUSTRATION FAHRPROFIL (ZEIT VS. DISTANZ)



Figur 20 Beispiel eines Fahrprofils auf der Nordumfahrung Zürich (Quelle: Infrast 2009). Die schwarze, vertikale Linie zeigt den Zeitpunkt der Passage an der Zählstelle an. Das Fahrprofil weist eine mittlere Reisezeit von 21 km/h auf. Das Messgerät hat 37 km/h für das entsprechende 3-Min-Intervall registriert, im statistischen Mittel würde es für dieses Fahrprofil 27 km/h registrieren, ableitbar aus dem über der Distanz (unten) aufgetragenen Profil. Auch ohne Stillstandsanteile weist das Messgerät systematisch zu hohe Werte aus. In diesem Fall beträgt die Differenz 6 km/h.

ANNEX 2: FAHRZEUGSTAUSTUNDEN UND STAUZEITKOSTEN AUF AUTOBAHNEN FÜR DIE JAHRE 2008 BIS 2010

2008	Anz Zählst:	148	
Basisrechnung			
Makrozahlen CH	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	22'032	1'435	23'467
Fahrleistung Strasse total (CH) (Mio Fzkm/a)			
Zählstellen-Auswertung	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	6'957	499	7'456
% Fzkm by Zst abgedeckt	32%	35%	32%
Hochrechnungsfaktor	3.17	2.88	
Distanz:			
Km Netz (AB)			1'884
KM durch Zst abgedeckt			497.6
pot. Hochrechnungsfaktor			3.79

FzgStauStunden	LMW	SMW	Summe
FzgStauStd/a AB auf Zst	3'297'994	271'802	3'569'796
Annahme: Hochrechnungsfaktor	3.17	2.88	
FzgStauStd/a AB total in Mio	10.44	0.78	11.23
Kostensatz	32.5	116	
Stauzeitkosten in Mio CHF/a	339	91	430
% Anteile	79%	21%	100%

2009	Anz Zählst:	158	
Basisrechnung			
Makrozahlen CH	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	23'110	1'417	24'527
Fahrleistung Strasse total (CH) (Mio Fzkm/a)			
Zählstellen-Auswertung	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	6'793	474	7'267
% Fzkm by Zst abgedeckt	29%	33%	30%
Hochrechnungsfaktor	3.40	2.99	
Distanz:			
Km Netz (AB)			1'884
KM durch Zst abgedeckt			509.8
pot. Hochrechnungsfaktor			3.69
FzgStauStunden			
FzgStauStd/a AB auf Zst	3'653'862	360'639	4'014'501
Annahme: Hochrechnungsfaktor	3.40	2.99	
FzgStauStd/a AB total in Mio	12.43	1.08	13.51
Kostensatz	32.5	116	
Stauzeitkosten in Mio CHF/a	404	125	529
% Anteile	76%	24%	100%

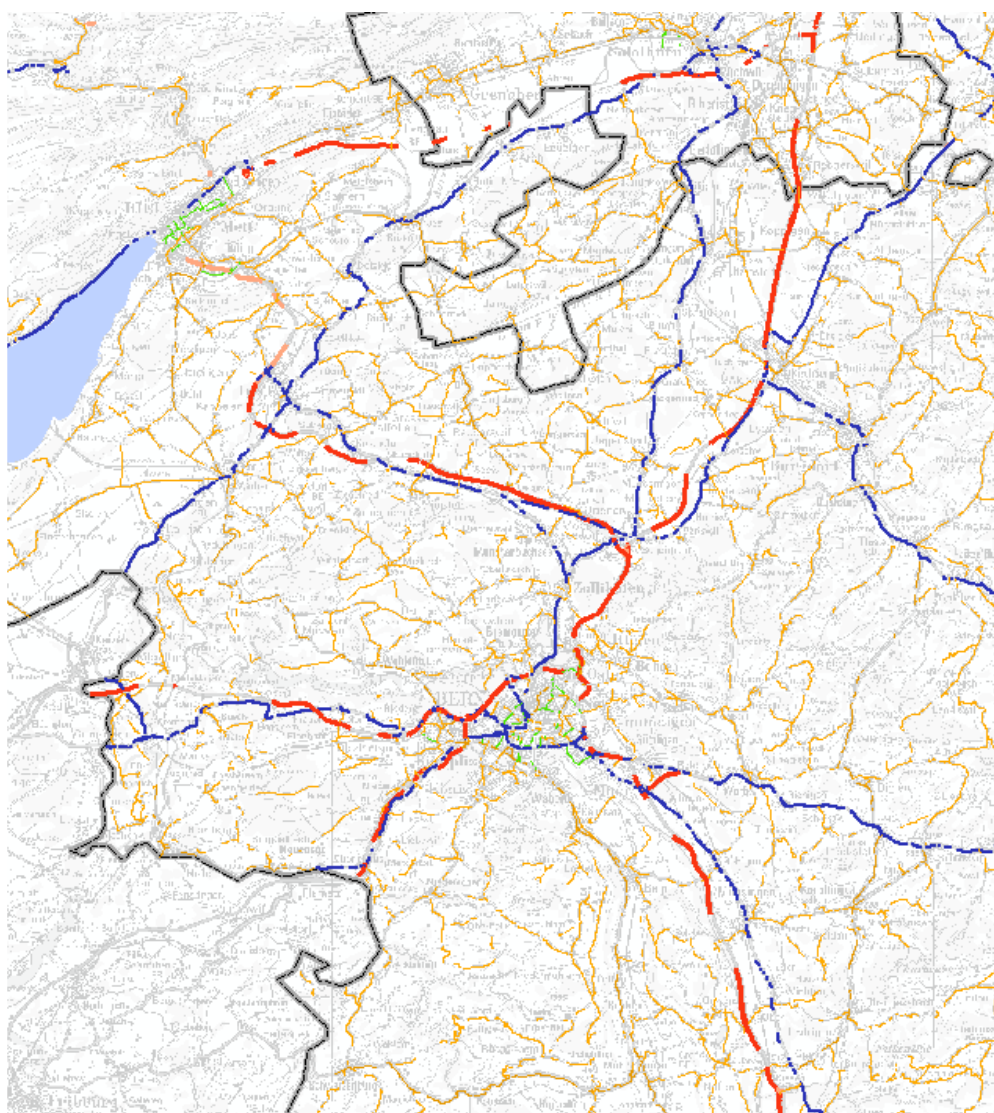
2010	Anz Zählst:	174	
Basisrechnung			
Makrozahlen CH	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	23'653	1'508	25'161
Fahrleistung Strasse total (CH) (Mio Fzkm/a)			
Zählstellen-Auswertung	LMW	SMW	Summe
Fahrleistung AB (in Mio Fzkm/a)	7'920	556	8'476
% Fzkm by Zst abgedeckt	33%	37%	34%
Hochrechnungsfaktor	2.99	2.71	
Distanz:			
Km Netz (AB)			1'884
KM durch Zst abgedeckt			542.2
pot. Hochrechnungsfaktor			3.47
FzgStauStunden	LMW	SMW	Summe
FzgStauStd/a AB auf Zst	6'198'883	607'025	6'805'908
Annahme: Hochrechnungsfaktor	2.99	2.71	
FzgStauStd/a AB total in Mio	18.51	1.65	20.16
Kostensatz	32.5	116	
Stauzeitkosten in Mio CHF/a	602	191	793
% Anteile	76%	24%	100%

Zum Vergleich die Angaben aus früheren Studien:

Staukosten-Studie 2007 (Mio CHF/a)	LMW	SMW	Summe
AB	450	135	585
% Anteile	77%	23%	100%
Pilotstudie 2010 (Mio CHF/a)	LMW	SMW	Summe
AB	545	40	585
% Anteile	93%	7%	100%

ANNEX 3: ILLUSTRATION DES GEMEINSAMEN NETZES „GVM BERN“ / „SPEED-PROFILES“

Die nachstehende Grafik zeigt jene Streckenabschnitte des GVM des Kantons Bern, für die sog. „Speed Profiles“ aus dem Datensatz von TomTom zugespielt werden konnten. Für die übrigen Netzteile konnte keine Übereinstimmung der Definitionen zwischen den beiden Datenquellen gefunden werden, da die Netzdefinitionen offenbar in unterschiedlicher Art und Weise weiterentwickelt wurden.



Legende: rot: Autobahnen, blau: Hauptverkehrsstrassen, braun: Verbindungsstrassen, grün: Sammelstrassen

ANNEX 4: STAUZEITEN UND STAUZEITKOSTEN ZUR BESTIMMUNG DES ANTEILS DES SCHWERVERKEHRS (2009)

Fahrzeug-Stauzeiten (in Mio FzH/a)				2009
Zustand		LMW	SMW	Total
		Mio FzH	Mio FzH	Mio FzH
Referenz V2.5	AB	11.0	1.08	12.0
	übr. Strassen	14.0	0.28	14.3
	Total	25.0	1.36	26.4

Virtueller Zustand V1.0	AB	6.7	0.53	7.3
	übr. Strassen	12.6	0.15	12.8
	Total	20.8	0.67	21.4
	Differenz zu Ref.			
	AB	4.2	0.55	4.8
	übr. Strassen	1.4	0.14	1.6
	Total	5.7	0.69	6.3

Virtueller Zustand V0.0	AB	5.0	0.0	5.0
	übr. Strassen	11.8	0.0	11.8
	Total	16.9	0.0	16.9
	Differenz zu Ref.			
	AB	5.9	1.08	7.0
	übr. Strassen	2.2	0.28	2.5
	Total	8.2	1.36	9.5

Staukosten (in Mio CHF/a)				2009
Zustand		LMW	SMW	Total
		Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF
Referenz V2.5	AB	404	125	529
	übr. Strassen	420	33	453
	Total	824	158	982

Virtueller Zustand V1.0	AB	243	61	304
	übr. Strassen	378	17	395
	Total	663	78	741
	Differenz zu Ref.			
	AB	161	64	225
	übr. Strassen	42	16	58
	Total	203	80	283

Virtueller Zustand V0.0	AB	179	0	179
	übr. Strassen	354	0	354
	Total	533	0	533
	Differenz zu Ref.			
	AB	225	125	350
	übr. Strassen	66	33	99
	Total	291	158	449

Kommentar:

Die zugrunde liegenden Berechnungen für die Autobahnen basieren auf Zeitverzögerungen in Abhängigkeit des Auslastungsgrads. Kerngrössen sind deshalb die Fahrzeug-Staustunden bzw. deren Differenzen zwischen den verschiedenen Zuständen. Diese werden dann mit Kostensätzen in Fahrzeugstaustunden umgerechnet. Bei der Gruppe der LMW hat sich gezeigt, dass die Anteile der Lieferwagen auf den Autobahnen 9.7% betragen (Basis: Zählstellen-Analyse des Jahres 2009). Während den höher belasteten Verkehrszeiten sind deren Anteile noch marginal höher (10.0%; Basis: die hier durchgeführten Berechnungen im Referenzzustand). Deshalb wurde hier diese Gewichtung für die Ermittlung der spezifischen Zeitkosten berücksichtigt. Das ergab einen gewichteten Kostensatz von 36.9 CHF/FzH¹³. Dabei wurde darauf verzichtet, rückwirkend bei den Berechnungen der Stauzeitkosten für die Jahre 2008 bis 2010 (vgl. Annex 2), wo in Anlehnung an die in der früheren Staukostenstudie aus dem Jahr 2007 ausgewiesene Gewichtung von 5.1% LI-Anteil ein Kostensatz von 32.5 CHF/FzH unterstellt wurde, eine Anpassung nach oben vorzunehmen. Das hätte die Stauzeitkosten auf Autobahnen um 13% nach oben getrieben. An Stelle dessen wurden die Gesamtkosten (von 404 Mio CHF) als gegeben betrachtet und das Ausgangsmengengerüst (FzH) angepasst, d.h. von 12.43 auf 11.1 Mio FzH reduziert. So ergab sich ein „Referenzzustand“ für diese Berechnungen. Die Folgerechnungen (um Differenzbetrachtungen abzuleiten) wurden dann in Relation zu diesem Referenzzustand gesetzt.

Für die Nicht-Autobahnen wurde für die LMW ein gewichteter Kostensatz von 29.8 CHF/FzH unterstellt. Dieser Wert ergab sich aus dem Mengengerüst des GVM Bern, dem ein Lieferwagenanteil von 1.75% zugrunde liegt. Aus einer Zählstellen-Analyse des Jahres 2009 ergab sich für die Nicht-Autobahn-Querschnitte jedoch ein Fahrleistungsanteil von 5.8%, was den Kostensatz um 12% auf 33.4 CHF/FzH erhöht hätte. Auch die Stauzeitkosten des LMW würden entsprechend höher ausfallen.

Zusammengenommen hätten diese beiden Aspekte der Gewichtung des Lieferwagen-Anteils dazu geführt, dass man die Stauzeitkosten um gut 12% höher hätte veranschlagen können, also nicht 824 Mio CHF/a, sondern rund 930 CHF/a. In der Folge würden die dem Schwerverkehr anzulastenden Staukosten höher ausfallen als in der Basisrechnung ausgewiesen. Im Sinne des „at least“-Ansatzes hat man in beiden Fällen die konservativeren Annahmen zugrundegelegt.

¹³ Darin sind auch Motorräder mit 1.8%igen Anteil und einem (vereinfacht angenommenen) Kostensatz von 50% der PW, d.h. 14.2 CHF/h) mit berücksichtigt.

ANNEX 5: ANTEILS DES SCHWERVERKEHRS AN DEN STAUZEITKOSTEN 2008 UND 2010

Staukosten (in Mio CHF/a)				2008
Zustand		LMW	SMW	Total
		Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF
Referenz V2.5	AB	339	91	430
	übr. Strassen	420	33	453
	Total	759	124	883

Virtueller Zustand V1.0	AB	197	42	239
	übr. Strassen	368	18	386
	Total	617	60	677
	Differenz zu Ref.			
	AB	142	48	191
	übr. Strassen	52	15	67
	Total	194	64	258

Virtueller Zustand V0.0	AB	142	0	142
	übr. Strassen	354	0	354
	Total	496	0	496
	Differenz zu Ref.			
	AB	198	91	288
	übr. Strassen	66	33	99
	Total	264	124	387

Staukosten (in Mio CHF/a)				2010
Zustand		LMW	SMW	Total
		Mio CHF	Mio CHF	Mio CHF
Referenz V2.5	AB	602	191	793
	übr. Strassen	420	33	453
	Total	1'022	224	1'246

Virtueller Zustand V1.0	AB	363	93	456
	übr. Strassen	379	17	396
	Total	783	110	893
	Differenz zu Ref.			
	AB	239	98	337
	übr. Strassen	41	16	57
	Total	280	114	394

Virtueller Zustand V0.0	AB	267	0	267
	übr. Strassen	354	0	354
	Total	621	0	621
	Differenz zu Ref.			
	AB	335	191	526
	übr. Strassen	66	33	99
	Total	401	224	625

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AB	Autobahnen
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTAG	Schweizerischer Nutzfahrzeugverband
ASTRA	Bundesamt für Strassen
CR	Capacity Restraint-Funktion
DTV	Durschnittlicher täglicher Verkehr
FzH	Fahrzeug-Stunde
Fzkm	Fahrzeug-Kilometer
GV	Güterverkehr
GVM	Gesamtverkehrsmodell
KNA	Kosten-Nutzen-Analyse
LI	Lieferwagen (hier gleichgesetzt mit LNF)
LMW	Leichte Motorwagen (Überbegriff für PW, Lieferwagen, Motorräder)
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LW	Lastwagen
LZ	Lastenzüge
MR	Motorräder
Pkm	Personen-Kilometer
PV	Personenverkehr
PW	Personenwagen
PWE	Personenwageneinheit
SMW	Schwere Motorwagen (Überbegriff für Schwere Nutzfahrzeuge und Busse)
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge
SVAG	Schwerverkehrsabgabegesetz
SZ	Sattelzüge
UVEK	Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
Viasuisse	Verkehrsinformationszentrale
VM UVEK	(Personen-) Verkehrsmodell des UVEK

LITERATURVERZEICHNIS

- ASTRA 2011: Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen, Jahresbericht 2010, 28.8.2011.
- Brilon/Estel (2008): Brilon, Werner; Estel, Anja: Differenzierte Bewertung der Qualitätsstufen im HBS im Bereich der Überlastung, Heft 999, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- CE Delft, Infrac, Fraunhofer Gesellschaft ISI, University of Gdansk (2008): IMPACT: Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport. Deliverable 1: Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Online im Internet: http://ec.europa.eu/transport/costs/handbook/doc/2008_01_15_handbook_external_cost_en.pdf (15.4.2010).
- Cosgrove and Holahan (2012): Cosgrove, Sarah B.; Holahan, William L., The External Congestion Costs of Differential Vehicle Sizes, Journal of Transport Economics and Policy, Vol. 46, Part I, pp. 56-78.
- Ecoplan/Infrac (2010): Berechnungsmethodik und Prognose der externen Kosten des Schwerverkehrs, Arbeitspaket 2 im Rahmen der Weiterentwicklung der LSVA im Auftrag des ARE, Schlussbericht Bern/Zürich/Altdorf, 18. August 2010
- Infrac (1998): Staukosten im Strassenverkehr. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strassen.
- Infrac (2007): Staukosten des Strassenverkehrs in der Schweiz. Aktualisierung 2000/2005. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich. Online: <http://www.are.admin.ch/themen/verkehr/00252/00472/02811/index.html?lang=de> (15.11.2007).
- Infrac (2009): GPS-based Recording of Driving Behaviour (Pilot Study), im Auftrag des BAFU, 2. Dez. 2009.
- ProgTrans (2011): Neuermittlung der erlittenen und verursachten Stauzeitverluste und Stauzeitverlustkosten des Schwerverkehrs, Teilberichte 1 und 2, im Auftrag ASTAG, 2011.
- Prognos / IWW (2002): Prognos AG, IWW, University of Karlsruhe (TH). Wegekostenrechnung für das Bundesfernstraßennetz unter Berücksichtigung der Einführung einer streckenbezogenen Straßenbenutzungsgebühr für schwere Nutzfahrzeuge, Schlussbericht für das BMVBW, Berlin. Basel/Karlsruhe, 2002.

- SN 641 822a (2009): Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Zeitkosten im Personenverkehr.
- SN 641 823 (2007): Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Zeitkosten im Güterverkehr.
- SN 641 827 (2009): Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Betriebskosten von Strassenfahrzeugen.
- TTI (1997): Quantifying congestion, Vol. 1, Texas Transportation Institute (Lomax T., et. al.), Transportation Research Board, Report 398, 1997.