

BFS, ARE, ASTRA

AKTUALISIERTE SCHÄTZUNG ZUM SCHWERVERKEHRS-BEDINGTEN ANTEIL AN DEN STRASSENKOSTEN



inFRAS

Bericht Phase I

Zürich / Bern, 25. Mai 2012

Markus Maibach, Daniel Sutter, Infrac

Martin Buck, SNZ

Stefan Suter, Christoph Lieb, Ecoplan

ECOPLAN



SNZ Ingenieure und Planer AG

THUNSTRASSE 22
CH-3005 BERN
T +41 31 356 61 61
F +41 31 356 61 60

POSTFACH, CH-6460-ALTDORF
T +41 41 870 90 60
F +41 41 872 10 63

WWW.ECOPLAN.CH

DÖRFLISTRASSE 112
CH-8050 ZÜRICH

TELEFON +41 44 318 78 78
FAX +41 44 312 64 11
EMAIL INFO@SNZ.CH

WWW.SNZ.CH

INFRAS

BINZSTRASSE 23
POSTFACH
CH-8045 ZÜRICH
t +41 44 205 95 95
f +41 44 205 95 99
ZUERICH@INFRAS.CH

MÜHLEMATTSTRASSE 45
CH-3007 BERN

WWW.INFRAS.CH

INHALT

1.	Einleitung	4
1.1.	Ausgangslage und Auftrag	4
1.2.	Heutige Praxis in der Strassenrechnung	4
1.3.	Empfehlungen des Methodikberichts 2011	6
1.4.	Ziel und Aufbau der vorliegenden Studie	8
2.	Ergebnisse der bisherigen Schweizer Studien	10
3.	Übersicht über die methodischen Ansätze	13
3.1.	Einleitung	13
3.2.	Expertenansatz	13
3.3.	Ökonometrische Verfahren	15
3.4.	Spieltheoretische Verfahren	17
3.5.	Fazit	18
4.	Expertenansatz	20
4.1.	Methodisches Vorgehen	20
4.2.	Definition Schwer- und Leichtverkehr	21
4.2.1.	Grundlagen	21
4.2.2.	Unterschiede zwischen Schwer- und Leichtverkehr	23
4.3.	Untersuchungsrahmen: Konten gemäss Strassenrechnung	25
4.4.	Dimensionierungsschritte und Kostenrelevanz	27
4.4.1.	Übersicht	27
4.4.2.	Auswirkungen der Breite und Länge	30
4.4.3.	Auswirkungen der Höhe	32
4.4.4.	Auswirkungen des Gewichts	33
4.4.5.	Tunnelbauwerke	39
4.5.	Zusammenzug und Systematik	42
4.5.1.	Dimension, Gewicht und Dynamik	43
4.5.2.	Übertragung in den Kontenplan	46
4.5.3.	Wesentliche Unterschiede zur bisherigen Methodik der Strassenrechnung	46
4.6.	Herleitung des Stichprobenumfangs für die Detailanalyse	47
4.6.1.	Kostenrelevanz der Konten	47
4.6.2.	Vorschlag Stichprobenumfang der Fallbeispiele	49
4.7.	Repräsentativität der Stichprobe und Hochrechnung auf die Schweiz	50

5.	Alternative Methodik	52
5.1.	Ziele und Methode	52
5.2.	Ökonometrischer Ansatz	52
5.2.1.	Auslegeordnung	52
5.2.2.	Mögliche Vorgehensvarianten	59
5.3.	Validierung mit Wegekostenrechnung D	63
6.	Umsetzungsvorschlag für Phase II	65
6.1.	Expertenansatz	65
6.1.1.	Hinweise zur inhaltlichen Bearbeitung	65
6.1.2.	Zugesicherte Fallbeispiele	65
6.1.3.	Bearbeitung der Fallbeispiele	67
6.2.	Alternativmethode	68
6.3.	Zusammenzug Vorschlag Phase II	68
6.3.1.	Finanzbedarf Expertenansatz	68
6.3.2.	Finanzbedarf Alternativmethode	71
6.4.	Zusammenzug	73
6.4.1.	Arbeitsschritte und Budget	73
6.4.2.	Zeitplan und Ausblick Phase III	74
6.5.	Entscheidbedarf	74
	Anhang A: Kontenplan der Strassenrechnung	75
	Anhang B: Dimensionierungs- und Prozessschritte	77
	Anhang C: Protokoll des Expertenworkshops vom 2. Mai 2012 in Ittigen	87
	Literatur	96

1. EINLEITUNG

1.1. AUSGANGSLAGE UND AUFTRAG

Die Strassenrechnung ist Teil der Transportrechnung des BFS und wird als fester Bestandteil der Verkehrsstatistik seit 1984 publiziert. Seither haben verschiedene Revisionen stattgefunden. Im Rahmen der BFS-Arbeiten zur Revision der Transportrechnung 2010 soll auch die Strassenrechnung an neue methodische Erkenntnisse angepasst werden.

In einer mit diesem Auftrag ausgelösten Zusatzstudie zur Transportrechnung (INFRAS / Ecoplan 2011¹), im Folgenden als Methodikbericht 2011 bezeichnet, sind verschiedene Revisionspunkte für die Strassenrechnung untersucht und Vorschläge für deren Umsetzung oder Vertiefung ausgearbeitet worden. Es hat sich gezeigt, dass ein zentraler Revisionspunkt die methodisch richtige Ermittlung des Anteils des Schwerverkehrs an den gesamten Strasseninfrastrukturkosten ist. Da die Kosten des Schwerverkehrs ein wichtiges Element zur Bestimmung der LSVA sind, ist diesem Thema besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Im vorliegenden Bericht wird dieser Revisionsbedarf der Strassenrechnung vertieft untersucht. Im Zentrum steht die methodisch korrekte und empirisch abgestützte Bestimmung des Anteils der Kosten für den baulichen Unterhalt, für Verbesserungen und Ausbauten sowie für Neubauten im schweizerischen Strassennetz, welcher direkt dem Schwerverkehr zugewiesen werden kann.

1.2. HEUTIGE PRAXIS IN DER STRASSENRECHNUNG

Bei der Bestimmung des Schwerverkehrsanteils geht es um die Frage, wie die Kosten der Strassenrechnung auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien verteilt werden. Im Folgenden sollen deshalb die Kostenkategorien der Strassenrechnung kurz vorgestellt werden und es soll gezeigt werden, wie diese Kosten in der heutigen Strassenrechnung auf die Fahrzeugkategorien verteilt werden:²

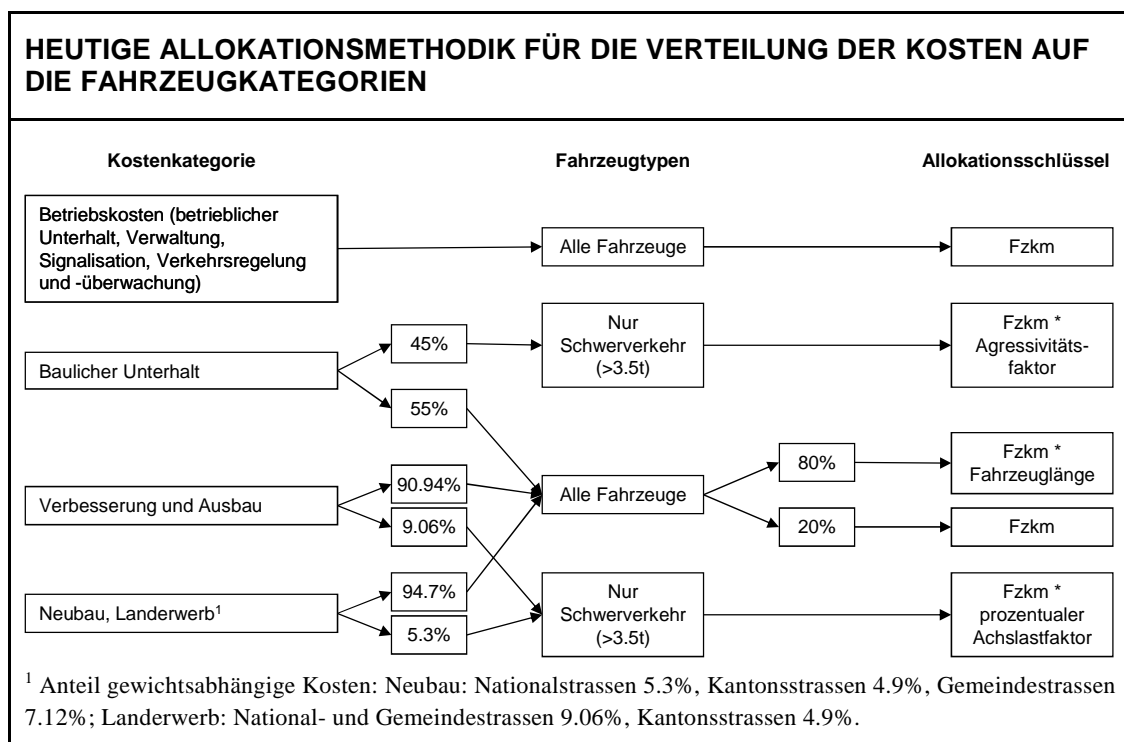
› **Betriebskosten:** Zu dieser Kostenkategorie zählen die Verwaltung, Strassensignalisation, Verkehrsregelung und -überwachung (Betriebskosten I) sowie der betriebliche Unterhalt (Betriebskosten II). Da ein Grossteil dieser Kosten unmittelbar von der Benutzung der Infrastruktur abhängt, erfolgt eine benutzungsorientierte Kostenzuteilung, indem die Betriebskosten ent-

¹ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung.

² Die folgenden Ausführungen beruhen auf BFS (2003), Schweizerische Strassenrechnung: Revision 2000, S. 19-31 bzw. INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 49.

sprechend den zurückgelegten Fahrzeugkilometern (Fzkm) auf die verschiedenen Fahrzeugkategorien verteilt werden.

- › **Baulicher Unterhalt:** Ein Anteil von 45% des baulichen Unterhalts (inkl. Finanzierungskosten) wird als sogenannte **gewichtsabhängige Kosten I** bezeichnet. Diese Kosten werden ausschliesslich auf die verschiedenen Kategorien des Schwerverkehrs verteilt, indem die Fzkm mit einem so genannten Aggressivitätsfaktor gewichtet werden. Die verbleibenden 55% des baulichen Unterhalts sind Teil der Kapazitätskosten. Darunter werden diejenigen Kosten verstanden, die den Fahrzeugkategorien „nicht verursachergerecht angelastet werden können“. Der Grossteil von 80% der **Kapazitätskosten** wird als „mit der Fahrbahn in Zusammenhang stehend“ angesehen. Die Kosten werden entsprechend der mit der Länge der Fahrzeuge gewichteten Fzkm auf alle Fahrzeugkategorien verteilt. Die verbleibenden 20% der Kapazitätskosten sind Kosten, welche nicht mit der Fahrbahn bzw. mit der Verkehrsintensität zusammenhängen. Diese Kosten werden mit den ungewichteten Fzkm verteilt.
- › Der Grossteil der übrigen Kosten gehört ebenfalls zu den Kapazitätskosten, wobei die Prozentsätze unterschiedlich sind: 90.94% der Kosten für **Verbesserung und Ausbau** und 94.7% der Kosten für **Neubau und Landerwerb** gelten als Kapazitätskosten. Deren Verteilung auf die Fahrzeugkategorien wurde bereits oben beschrieben.



Figur 1 Quelle: INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 132.

- › Die verbleibenden Kosten für Verbesserung, Ausbau, Neubau und Landerwerb sowie für die dazugehörigen Finanzierungskosten werden als **gewichtsabhängige Kosten II** bezeichnet. Dies sind Investitionen, die dem Schwerverkehr direkt angelastet werden. Diese Kosten werden gemäss den mit prozentualen Achslastfaktoren gewichteten Fzkm auf den Schwerverkehr verteilt.

1.3. EMPFEHLUNGEN DES METHODIKBERICHTS 2011

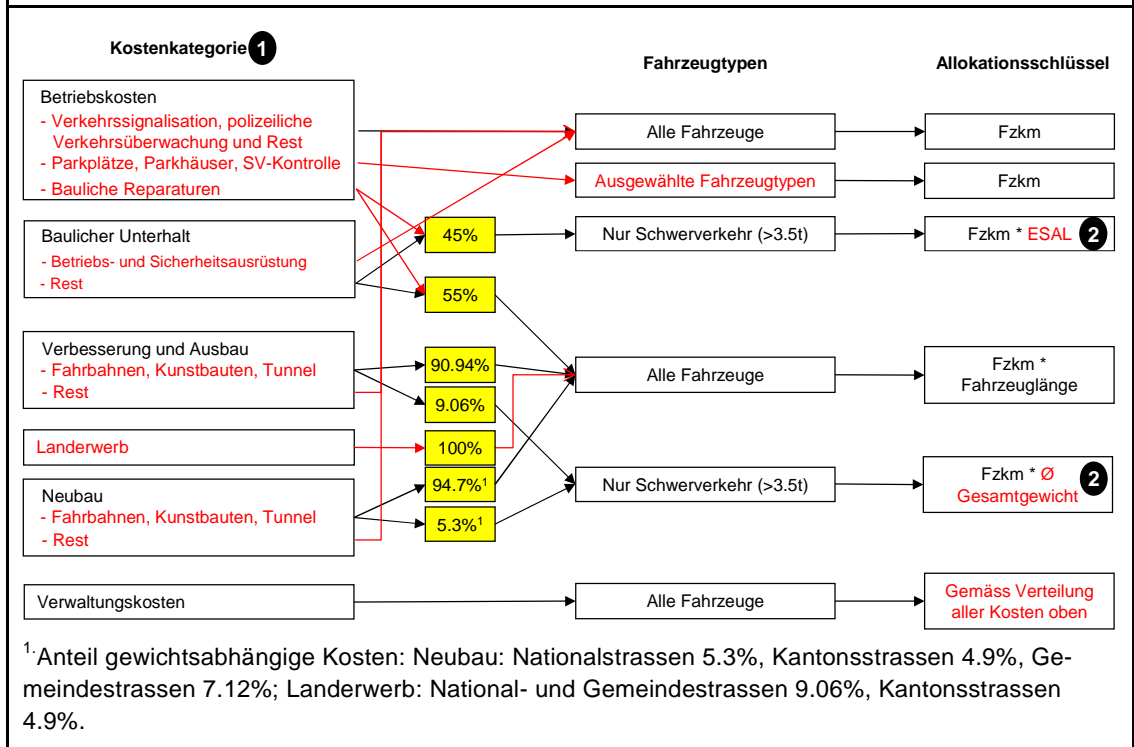
Im Vergleich zur ausländischen Praxis zeigt sich, dass durch die aktuelle Methodik der Schweizerischen Strassenrechnung dem Schwerverkehr nur ein überraschend tiefer Anteil der Kosten angelastet wird.³ Dies liegt nicht an der Grundmethodik. Diese umfasst einen transparenten Allokationsmechanismus mit Kapazitätskosten und gewichtsabhängigen Kosten nach Kostenarten und entspricht auch im Quervergleich mit dem Ausland dem „State-of-the-Art“.

Entsprechend ergibt sich gemäss INFRAS / Ecoplan (2011) kein Handlungsbedarf bezüglich der grundsätzlichen Methode an sich, wohl aber bezüglich der detaillierten Ausgestaltung der Kostenallokation auf die Fahrzeugkategorien. Konkret wurden die in der untenstehenden Figur festgehaltenen drei Revisionspunkte vorgeschlagen (für eine detaillierte Beschreibung der Vorschläge siehe INFRAS / Ecoplan 2011):

1. Es soll nicht mehr nur mit den vier Überkonten Betriebskosten, baulicher Unterhalt, Verbesserung und Ausbau sowie Neubau und Landerwerb gerechnet werden. Vielmehr sind diese Überkonten weiter in Detailkonten unterteilen, was eine genauere und damit verursachergeringere Zuteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien erlaubt. Diese Detaillierung bei der Kostenzuscheidung ist mit der aktuell verfügbaren Datengrundlage problemlos möglich.
2. Es wurden neue Allokationsschlüssel für die gewichtsabhängigen Kosten ermittelt (vgl. auch separate Studie von Perret & Ould Henia 2010), um die Veränderungen (Einführung LSVA und der 40t-Limite) berücksichtigen zu können. Es wird empfohlen, die bisherigen Aggressivitätsfaktoren durch ESAL (equivalent single axle load = standardisierte Achslast eines gesamten Fahrzeuges) zu ersetzen und den bisherigen prozentualen Achslastfaktor durch das durchschnittliche Gesamtgewicht eines Fahrzeuges.
3. Schliesslich wurde auch eine Anpassung der Fahrzeugkategorien sowie die Umsetzung des Territorialprinzips empfohlen, die für die vorliegende Studie jedoch nicht von Relevanz ist (und aus Figur 2 nicht ersichtlich ist).

³ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 62-63.

ALLOKATIONSMETHODIK FÜR DIE VERTEILUNG DER KOSTEN AUF DIE FAHRZEUGKATEGORIEN GEMÄSS INFRAS / ECOPLAN (VEREINFACHT); ÄNDERUNGEN ROT HERVorgehoben



Figur 2 Quelle: INFRAS/Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 133.

Zudem wurde empfohlen, die Anteile der Kosten, welche mittels Verteilschlüssel direkt dem Schwerverkehr zugewiesen werden, zu überprüfen. Diese Verteilschlüssel sind in Figur 2 gelb hervorgehoben. Ihre Überprüfung ist Gegenstand der vorliegenden Studie. Dabei soll der Fokus in der vorliegenden Studie ausgedehnt werden, weil der Schwerverkehr nicht nur aufgrund seines Gewichts höhere Kosten verursacht, sondern auch aufgrund anderer Eigenschaften (z.B. Breite, Höhe, Länge vgl. Kapitel 4). Deshalb wird im Folgenden **nicht mehr nur** von **gewichtsabhängigen Kosten** gesprochen, sondern allgemeiner von **schwerverkehrsbedingten Kosten**.

Im Methodikbericht 2011 ist anhand einzelner Beispiele und anhand eines Literaturüberblicks gezeigt worden, dass die bisher verwendeten Anteile deutlich zu tief liegen könnten (baulicher Unterhalt neu ca. 80% statt wie bisher 45%, Verbesserung und Ausbau ca. 25% statt 9.06%, Neubau ca. 10% statt 5.3%). Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass diese Anpassungen die vom Schwerverkehr zu tragenden Kosten deutlich erhöhen würden (um ca. 50%⁴).

⁴ INFRAS/Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 121 und 130.

Da nur auf wenigen Einzelbeispielen beruhend ist die Datengrundlage im Methodikbericht 2011 viel zu wenig breit, um eine empirisch gut abgestützte Empfehlung für neue Verteilschlüssel abgeben zu können. Angesichts der potenziellen Grössenordnung der möglichen Veränderungen drängt sich eine vertiefende Analyse aber unmittelbar auf. Im Rahmen der vorliegenden Studie sollen deshalb die in Figur 2 gelb hervorgehoben Anteile basierend auf einer Analyse des Normenwesens und breiteren Datenbasis bestimmt werden. Für die einzelnen Detailkonten sollen im Rahmen von repräsentativen Stichproben die schwerverkehrsbedingten Kosten möglichst detailliert abgeschätzt werden.

1.4. ZIEL UND AUFBAU DER VORLIEGENDEN STUDIE

Ziel der Arbeiten ist es, die Vorschläge aus dem Methodikbericht 2011 bezüglich schwerverkehrsbedingter Kostenanteile umzusetzen: Es soll also überprüft werden, ob die in Figur 2 gelb hervorgehoben Prozentsätze (teilweise nach Strassenkategorien (National-, Kantons- und Gemeindestrassen) differenzierte Werte) noch aktuell sind. Gegebenenfalls sind neue Werte vorzuschlagen.

Um die Akzeptanz der Ergebnisse zu erhöhen, sind im Rahmen von Workshops mit Vertretern von Bund, Kantonen und Gemeinden sowie der Wissenschaft die Vorschläge der Arbeitsgemeinschaft diskutiert und plausibilisiert worden. Der **Workshop** zu den Kerninhalten des vorliegenden Zwischenberichts hat am 2. Mai 2012 in Ittigen stattgefunden. Das Protokoll des Workshops ist in Anhang C zu diesem Zwischenbericht wiedergegeben.

Das Projekt ist in drei Phasen aufgeteilt:

- › Phase I soll zunächst die bisherigen Erkenntnisse nochmals würdigen und den Analyserahmen für die zwei Methoden konkretisieren. Dazu ist die Stichprobe zu dimensionieren, der Prozess für die Festlegung der gewichtsabhängigen Anteile festzulegen und die Hochrechnungsmethode darzulegen. Als Ergebnis resultieren konkrete Vorschläge für die Umsetzung.
- › Phase II setzt die erarbeiteten Vorschläge um. Der Auftraggeber entscheidet dabei, welche der vorgeschlagenen Methoden tatsächlich umgesetzt werden.
- › Phase III konsolidiert die Ergebnisse und erarbeitet die Empfehlungen.

Der vorliegende Bericht fasst die Ergebnisse der ersten Phase zusammen. Der Bericht ist wie folgt gegliedert:

- › In Kapitel 2 wird eine kurze Übersicht über die der heutigen Strassenrechnung und den aktuell verwendeten Prozentsätzen zu Grunde liegenden Studien gegeben.

- › In Kapitel 3 wird kurz erläutert, mit welchen methodischen Ansätzen der schwerverkehrsbedingte Anteil an den Strassenkosten bestimmt werden kann und teilweise im Ausland bestimmt wird.
- › In Kapitel 4 wird der Expertenansatz in allen Details entwickelt. Dabei geht es insbesondere um die Gründe für Mehrkosten für den Schwerverkehr, um die Bildung der Stichprobe zuhanden von Phase II und um die Hochrechnung der Stichprobe auf die Schweiz.
- › In Kapitel 5 werden die Möglichkeiten für alternative Ansätze ausgeleuchtet.
- › In Kapitel 0 werden die Erkenntnisse der ersten Phase zusammengefasst und es wird ein konkreter Vorschlag für die Umsetzung in der zweiten Phase ausgearbeitet.

2. ERGEBNISSE DER BISHERIGEN SCHWEIZER STUDIEN

Die Methodik und die verwendeten Prozentsätze der heutigen Strassenrechnung basieren auf einer Studie der ETH Zürich (Scazziga 1984) und in aktualisierter Form einer Studie der EPF Lausanne (LAVOC 2000).

In der Studie der ETH Zürich ging es einerseits darum, verschiedene offene Punkte aus dem Schlussbericht der Kommission Nydegger (1972) zu vertiefen und andererseits die Gewichtsabhängigkeit aller Kostenpositionen in der Strassenrechnung zu überprüfen, insbesondere durch Detailanalyse der Angaben von Kantonen und Gemeinden. Die Untersuchungen erfolgten auf der Basis von detaillierten Datenerhebungen in vier Kantonen mit 21 Gemeinden und mit Hilfe von schriftlichen Fragebogen. Eine grössere Herausforderung bei den zurück erhaltenen Daten bestand darin, dass die Kantone und Gemeinden bei der Zuteilung der Strassenbaukosten zu den Kategorien Neubau, Verbesserung und Ausbau und baulicher Unterhalt eine uneinheitliche Praxis anwendeten. Dies führte einerseits zu einem grösseren Streubereich bei der Interpretation der Daten und andererseits zu noch grösseren Unsicherheiten bei den gewichtsabhängigen Kostenpositionen, welche ihrerseits auf diesen Hauptkategorien beruhen.

Erwähnenswert ist die Prämisse der „minimalen Strasse“, welche der ETH-Studie zu Grunde gelegt wurde. In den Kapiteln 2.4 und 5.1 der Studie wird richtigerweise darauf hingewiesen, dass sich schwere Fahrzeuge auch in ihren Abmessungen (Breite, Länge, Höhe) wesentlich vom Leichtverkehr unterscheiden. Die konkrete Berücksichtigung der grösseren Abmessungen (v. a. Breite und Höhe) in der Strassenrechnung wurde aber argumentativ abgelehnt. Eine eingehende Betrachtung der dabei verwendeten Argumente zeigt, dass ein Grossteil der Begründungen aus heutiger Sicht kaum mehr stichhaltig ist und die Prämisse der „minimalen Strasse“ nicht in aller Konsequenz berücksichtigt wurde. Es sei aber an dieser Stelle festgehalten, dass mit dem seinerzeitigen Stand des Wissens und des Normenwesens sowie der damals geltenden Regelungen (z.B. Höchstgeschwindigkeiten 130/100 verglichen mit 120/80 heute) die Argumentationen vertretbar waren.

Mit der Auswertung von insgesamt 49 Fallbeispielen (32 auf Kantonsstrassen (KS) und 17 auf Gemeindestrassen (GS)) konnten die Kostenanteile für verschiedene Projektelemente (Land-erwerb, Projektierung und Bauleitung, Erdbau, Oberbau, Beläge sowie Kunstbauten und Nebenanlagen) mit prozentualen Anteilen an den gesamten Projektkosten beziffert werden. Die Analyse und Bestimmung der gewichtsabhängigen Kosten beschränkte sich anschliessend ausschliesslich auf die Elemente des Strassenaufbaus (Erdbau, Oberbau und Beläge). Dabei wurde die Prä-

misse der „minimalen Strasse“ so angewendet, dass für die verschiedenen Schichten ein Standard-Aufbau für Leichtverkehr definiert wurde und die absoluten Mehrkosten für eine schwerverkehrstaugliche Verstärkung des Aufbaus mittels m^2/m^3 -Kosten der entsprechenden Materialien bestimmt wurden. Für „Kunstbauten und Nebenanlagen“ wurde auf eine Experteneinschätzung aus früheren Jahren abgestützt, aus welcher sich (bei Brücken) ein gewichtsabhängiger Anteil von 7.5% ableiten liess.

Als Ergebnis der Studie resultierten folgende Prozentsätze für die gewichtsabhängigen Kosten:

- › Neubau: 4.2% (GS), 5.5% (KS), 5.6% (NS = Nationalstrassen)
- › Verbesserung und Ausbau: 4.7% (GS), 6.9% (KS), keine Bestimmung für NS
- › Kunstbauten und Nebenanlagen: sowohl für Neubau wie auch für Verbesserung und Ausbau (alle Strassenkategorien): 7.5%
- › Baulicher Unterhalt⁵: 45% (GS, KS), keine Bestimmung für NS

Die Studie der EPF Lausanne (2000) hatte zum Ziel, verschiedene Aspekte der Strassenrechnung, unter anderem auch die Bestimmung der gewichtsabhängigen Anteile, zu überprüfen und mit aktuellem Datenmaterial zu validieren. In Bezug auf die methodischen Überlegungen zur Bestimmung der gewichtsabhängigen Strassenbaukosten wurde weitgehend auf Scazziga (1984) abgestellt und eine erneute Diskussion zur Bedeutung der grösseren Abmessungen von schweren Fahrzeugen wurde nicht geführt.

Spezielles Augenmerk wurde auf die Positionen betrieblicher und baulicher Unterhalt sowie Verbesserung und Ausbau gelegt, da diese seit 1985 für alle Strassenkategorien getrennt vorlagen (im Gegensatz zu Scazziga 1984, vgl. Fussnote 5). Verschiedene Modellrechnungen und mathematische Analysen führten zur Erkenntnis, dass einerseits bei der Erfassung der Kosten auf Stufe Gemeinde und Kantone weiterhin eine grosse Uneinheitlichkeit besteht, welche die Aussagekraft der Datenanalysen schmälert und dass andererseits und mangels besserer Datengrundlagen der Prozentsatz von 45% beim baulichen Unterhalt beibehalten werden sollte.

Eine umfassende Aktualisierung der gewichtsabhängigen Anteile bei den Konten Neubau und Verbesserung und Ausbau konnte anhand aktueller Kostenansätze (Kilometerkosten für

⁵ Direkt verwendete Schadensanteile basierend auf M. Blumer, „Die Beanspruchung des Schweizerischen Strassennetzes durch den Schwerverkehr und die daraus entstehenden Strassenkosten“, Strassentransport 17/82 bis 1/83. Folgendes ist zusätzlich zu berücksichtigen: Die Position „Baulicher Unterhalt“ war in der Strassenrechnung 1979 noch nicht separat ausgewiesen und wurde als Anteil aus dem Konto „Verbesserung und Ausbau“ berechnet. Ansonsten hätte ein wesentlich höherer Anteil gewichtsabhängiger Kosten resultiert (66.3% bei GS und 93.4% bei KS).

Neubaustrecken und Brücken sowie aktuellere m²-Kosten für verschiedene Materialien beim Strassenbau) vorgenommen werden. Dies führte zu den heute verwendeten prozentualen Anteilen für Erneuerung und Ausbau (9.06%) sowie für Neubau (differenziert nach GS (7.12%), KS (4.9%) und NS (5.3%), bzw. zum entsprechenden Prozentsatz in der Kapitalrechnung (7.05%).

Auf weitergehende Ausführungen zu diesen beiden Studien wird an dieser Stelle verzichtet und auf das Kapitel 4 des vorliegenden Berichts verwiesen, in welchem jeweils bei spezifischen Aussagen ein Vergleich mit den beiden Studien erfolgt.

3. ÜBERSICHT ÜBER DIE METHODISCHEN ANSÄTZE

3.1. EINLEITUNG

Die Hauptfrage in der vorliegenden Studie ist es, welche Kostenanteile des baulichen Unterhalts, des Ausbaus und des Neubaus direkt dem Schwerverkehr zugerechnet werden können. Die heute gültigen Anteile (vgl. Figur 2) sind zu überprüfen und falls nötig sind Vorschläge für eine Anpassung zu unterbreiten.

Die Allokation soll dabei fair sein: Die **verursacherbezogene Fairness** beinhaltet, dass Kosten, die von einer Fahrzeugkategorie verursacht werden (z.B. Abnutzung der Strasse), auch dieser zugeordnet werden. Die **veranlassungsbezogene Fairness** bedeutet, dass den Fahrzeugkategorien, die für die Bereitstellung bestimmter Anlagemerkmale oder -dimensionierungen verantwortlich sind, die entsprechenden Kosten auch angelastet werden.⁶

Für die Überprüfung und allfällige Neubestimmung der zur Diskussion stehenden Kostenverteilungsschlüssel stehen grundsätzlich drei verschiedene methodische Ansätze zur Verfügung:

- › Expertenansatz (Äquivalenzziffern und inkrementeller Ansatz)
- › Ökonometrisches Verfahren
- › Spieltheoretisches Verfahren

Diese drei Ansätze werden im Folgenden (Abschnitte 3.2 bis 3.4) kurz vorgestellt und diskutiert. Im Anschluss daran werden in Abschnitt 3.5 erste Schlussfolgerungen für die in dieser Studie anzuwendende Methodik gezogen. Eine ausführlichere Darstellung der für verschiedene Kostenkategorien verwendeten Allokationsmethoden in der internationalen Literatur findet sich in INFRAS / Ecoplan (2011, Abschnitt 3.4, insbesondere Abschnitt 3.4.2).⁷

3.2. EXPERTENANSATZ

Beim Expertenansatz wird ingenieurtechnisches Fachwissen verwendet, um die Kosten möglichst gerecht verteilen zu können. Der Expertenansatz kann in zwei Verfahren unterteilt werden, in die Äquivalenzziffern und in die inkrementellen Kosten.

Die schweizerische Strassenrechnung entspricht in weiten Teilen einem Allokationsverfahren auf der Basis von **Äquivalenzziffern**. Bei diesem Verfahren werden ingenieurtechnische Erfahrungen und Expertenwissen dazu eingesetzt, nachvollziehbare Zuordnungsregeln für Kostenka-

⁶ Prograns / IWW (2007), Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstrassen in Deutschland, S. 16.

⁷ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung. Methodik Strassenrechnung.

tegorien auf Fahrzeugtypen anzuwenden. Vorausgesetzt wird ein hoher Kenntnisstand über die Hintergründe von Kostenverursachung und -veranlassung verschiedener Nutzergruppen und deren Variation über Verkehrssituationen und die Zeit. Mit den Äquivalenzziffern erfolgt eine möglichst faire Zuteilung der Kosten auf die Fahrzeugkategorien aufgrund der Kostenverursachung und der Kostenveranlassung, die beide von Experten bewertet werden.

In der Schweizer Strassenrechnung werden Äquivalenzziffern verwendet, um verschiedene Kostenbestandteile auf die Fahrzeugkategorien aufzuteilen (vgl. Figur 1: Verteilung über Fzkm bzw. Fzkm gewichtet mit Fahrzeuglänge, Aggressivitätsfaktor oder prozentualem Achslastfaktor). Ähnliche Verfahren sind auch im Ausland sehr verbreitet.

In einer ähnlichen Logik operiert das **inkrementelle Verfahren**, das auf einer direkten Umsetzung des Konzepts der Kostenveranlassung beruht.⁸ Dieses Verfahren geht von einer Standardstrasse aus und weist – ebenfalls auf Basis von ingenieurtechnischen Erfahrungswerten – die Kosten von zusätzlichen baulichen Massnahmen aus, die vorgenommen werden, um die Fahrbahn auf die technischen Anforderungen von z.B. schwereren oder breiteren Fahrzeugen aufzurüsten (vgl. FHCA 1982, 1997). Manchmal wird dieses Vorgehen auch Ansatz der vermeidbaren Kosten genannt, wenn untersucht wird, welche Kosten wegfallen, wenn eine Fahrzeugkategorie die Strasse nicht mehr benutzt (anstatt welche Kosten zusätzlich entstehen, wenn eine zusätzliche Fahrzeugkategorie dazukommt). In der Schweiz nannte Scazziga (1984⁹) dieses Vorgehen den **Ansatz der minimalen Strasse**, d.h. es wird untersucht, wie hoch die Kosten der Strasse wären, wenn nur der Leichtverkehr sie benutzen würden.¹⁰

Mit dem inkrementellen Verfahren werden bspw. Massnahmen zur Verringerung der Steigung oder zusätzliche Kosten für Erdarbeiten und zur Verstärkung des Asphaltbelags für schwere Fahrzeuge schon bei der Erhebung der Kosten separat ausgewiesen. Das Verfahren wird sowohl in den amerikanischen „Highway Cost Allocation Studies“ angewendet (FHCA 1982, 1997), als auch in der deutschen Wegekostenrechnung für Bundesfernstrassen bei der Verteilung der Kosten der Fahrbahnen (vgl. Protrans / IWW 2007).

Die Schweizer Strassenrechnung beruht grundsätzlich auf diesem Ansatz. Entsprechend wird dieses Verfahren bisher zur Bestimmung der in der vorliegenden Studie interessierenden Kosten, die direkt dem Schwerverkehr zugeschrieben werden können, angewendet (vgl. gelb hervorge-

⁸ Doll (2003), Allokation gemeinsamer Kosten der Strasseninfrastruktur, S. 45.

⁹ Scazziga (1984), Ermittlung der gewichtsbedingten Mehrkosten in der Strassenrechnung, S. 33.

¹⁰ Bei Scazziga (1984, S. 33) wird zudem unterstellt, dass der Ausbaustandard der minimalen Strasse geringer ist als sonst üblich (kürzere Lebensdauer). Dieser zweite Punkt scheint uns aber für die vorliegende Fragestellung nicht sinnvoll zu sein, denn auch wenn nur Leichtverkehr eine Strasse benutzt, soll sie den gewohnten Ausbaustandard bieten. Den höheren Ausbaustandard dem Schwerverkehr anzulasten wäre nicht fair.

hobene Prozentsätze in Figur 2). Das inkrementelle Verfahren wurde auch eingesetzt, um die zwei im Rahmen des Methodikberichts 2011 analysierten Fallbeispiele zu berechnen. Dabei wurde ingenieur-wissenschaftliches Wissen – z.B. in Form vorhandener Normierungen und Normen im Strassenbau für verschiedene Bauteile einer Strasseninfrastruktur – verwendet, um zu bestimmen, in welchem Umfang der Schwerverkehr „Kostentreiber“ für die anfallenden Kosten für den Neubau, die Erneuerung und den baulichen Unterhalt ist.

Als Alternative zum inkrementellen Expertenansatz sind grundsätzlich die beiden in den folgenden Abschnitten kurz beschriebenen Methoden denkbar.

3.3. ÖKONOMETRISCHE VERFAHREN

Bei ökonomischen Verfahren steht die statistische Analyse verfügbarer Daten im Vordergrund. Dabei wird untersucht, ob es zwischen verschiedenen Attributen (Variablen) einen statistisch signifikanten Zusammenhang gibt. Im vorliegenden Fall können beispielsweise Daten zu den Verkehrsinfrastrukturkosten mit Verkehrsdaten verglichen werden, um den Einfluss des Schwerverkehrs auf die Kosten zu analysieren. Zur Untersuchung von statistischen Zusammenhängen werden in ökonomischen Verfahren oft Regressionsanalysen durchgeführt. Dabei sind sowohl einfache lineare Regressionen als auch multiple Regressionen (linear oder nicht-linear) möglich. Konkret wäre mittels einer ökonomischen Analyse der Einfluss von verkehrlichen Merkmalen (z.B. Fahrleistung, Achslast) nach Fahrzeugkategorien auf die Kategorien der Infrastrukturkosten (Erneuerungskosten, Unterhaltskosten, Betriebskosten) abzuschätzen, unter Berücksichtigung weiterer Faktoren wie Klima, Bauweise, regionale Faktoren.¹¹

Im vorliegenden Fall beziehen sich die verkehrlichen Merkmale auf den Schwerverkehrsanteil. Bei den Kostenkategorien geht es um die Kosten für den baulichen Unterhalt, für den Ausbau und die Verbesserung der Strasseninfrastruktur. Teilweise wird auch der Zusammenhang zwischen dem Verkehrsvolumen und dem Zustand der Strasse geschätzt und dann über Einheitskosten in Geldeinheiten umgerechnet (sogenannter duration approach). Am bekanntesten ist der AASHO-Tests, die in den 1950er und 60er Jahren durchgeführt wurden und als Ergebnis die Regel der vierten Potenz fanden: Die Belastung der Strasse nimmt mit der vierten Potenz des

¹¹ Link et al (2009), Wegekosten und Wegekostendeckung des Strassen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007, S. 63 und Link et al. (2007), Cost Allocation Practices in the European Transport Sector. Deliverable 1 of CATRIN, S. 11.

Achsgewichts zu (später wurde diese Regel auf die dritte Potenz reduziert).¹² Diese Erkenntnis wird heute häufig im Rahmen der Methode der Äquivalenzziffern verwendet.

Ökonometrische Verfahren haben den Vorteil, dass sie auf statistischen Grundlagen und damit im vorliegenden Fall auf effektiv angefallenen Kosten (Ausgaben) basieren. Entsprechend sind die Schätzungen unabhängig vom ingenieurwissenschaftlichen und betrieblichen Wissensstand und damit unabhängig von den Annahmen, welche im Rahmen des Expertenansatzes getroffen werden müssen. Aus diesen Gründen kann dieser Ansatz zu einer „Objektivierung“ der Kostenaufteilung führen. Am internationalen Expertenworkshop vom 27. August 2010, welcher im Rahmen des Methodikberichts 2011 durchgeführt wurde, ist der Ansatz in dieser Hinsicht gewürdigt worden.

Die Qualität der Schätzungen hängt jedoch stark von der Qualität der verwendeten Daten ab. Zudem ist die Verfügbarkeit verlässlicher statistischer Daten oft begrenzt, was eine Differenzierung der Ergebnisse schwierig macht. Deshalb ergeben ökonometrische Verfahren in der Regel eher pauschalisierte Resultate.

Ein weiteres Problem stellen starke Korrelationen zwischen den Fahrleistungen der Fahrzeugkategorien dar. Zudem hängen die Ausgaben für Strassenunterhalt von der Haushaltslage des Staates ab.¹³ Mit ökonometrischen Verfahren können die zusätzlichen Kosten bei einem steigenden Schwerverkehrsanteil bestimmt werden. Das Verfahren scheitert jedoch an der Frage, wie stark die Kosten steigen, wenn eine Strasse neu für den Schwerverkehr freigegeben wird (Sprungkosten von Null Fahrzeugen des Schwerverkehrs auf eines). So sind ökonometrische Verfahren auch für die Aufteilung der Kosten des Neubaus weniger geeignet, weil hier der Schwerverkehrsanteil kaum eine Rolle für die Höhe der Kosten spielt (eher die Frage, ob überhaupt Schwerverkehr zugelassen ist).

Statistisch-ökonometrische Verfahren zur Allokation der Strasseninfrastrukturkosten auf die Fahrzeugkategorien (z.B. Schwerverkehr) sind in der Wegekostenrechnung Österreichs angewandt worden.¹⁴ Für die Schweiz liegt eine im Rahmen von UNITE erarbeitete Untersuchung vor (INFRAS 2002), die auf Basis einer ökonometrischen Analyse die Infrastrukturgrenzkosten für einzelne Fahrzeug- und Kostenkategorien auf Autobahnen ermittelt hat. Dabei resultierten folgende Grenzkosten:

- › Für laufenden Unterhalt: PW und LKW: 0.4 Rappen pro Fzkm
- › Für baulichen Unterhalt: PW 0.21-0.28 Rappen pro Fzkm, LKW 4.5 – 6.4 Rappen pro Fzkm

¹² Link et al. (2007), Cost Allocation Practices in the European Transport Sector. Deliverable 1 of CATRIN, S. 17-18.

¹³ Doll (2003), Allokation gemeinsamer Kosten der Strasseninfrastruktur, S. 48.

¹⁴ Doll (2003), Allokation gemeinsamer Kosten der Strasseninfrastruktur, S. 47.

› Für Erneuerungen: PW 0.15-0.6 Rappen pro Fzkm, LKW 0.5-0.93 Rappen pro Fzkm.

Allerdings zeigte sich auch hier die Schwierigkeit, dass aufgrund von Korrelationen direkt keine statistisch signifikanten Grenzkosten für verschiedene Fahrzeugkategorien abgeleitet werden konnten. Diese wurde in einem indirekten Verfahren über Brutto-Gewichtsindikatoren nachträglich ermittelt und können allenfalls zur Validierung von mit anderen Verfahren ermittelten Grenzkosten verwendet werden. Auch international müssen fahrzeugkategorispezifische Kosten meist im Nachgang zur ökonometrischen Analyse über Allokationsfaktoren aus Ingenieurwissenschaften bzw. Expertenmeinungen bestimmt werden.¹⁵

3.4. SPIELTHEORETISCHE VERFAHREN

Eine weitere Alternative bieten spieltheoretische Verfahren. Dieser Ansatz rückt die Fairness und die Gerechtigkeit der Allokation knapper Ressourcen in den Vordergrund, welche von mehreren Gruppen gemeinsam genutzt werden. Aus spieltheoretischen Überlegungen soll eine faire und effiziente Lösung bei der Aufteilung gemeinsamer Kosten abgeleitet werden, welche von den betroffenen Fahrzeugkategorien gemeinsam getragen wird. Im vorliegenden Fall würden aus real bestimmbar Kosten verschieden dimensionierter Strassenvarianten charakteristische Kostenverlaufskurven ermittelt.

Die Spieltheorie bildet eine Verhandlungslösung ab, die sich ergibt, wenn sich die einzelnen Akteure (hier Fahrzeugkategorien) kooperativ verhalten. Denn sie wissen, dass sie auch in Zukunft immer wieder miteinander dasselbe Spiel spielen werden (z.B. Neubau Strasse, deren Kosten aufzuteilen sind) und sich deshalb ein kurzfristig möglicher Gewinn auf lange Sicht nicht auszahlt, da sich die anderen Spieler dann in Zukunft nicht mehr kooperativ verhalten würden. Eine konsistente theoretische Aufarbeitung der Spieltheorie bei der Kostenallokation im Strassenverkehr findet sich in Doll (2003). Spieltheoretische Überlegungen haben für die Kostenaufteilung bei Tragschichten von Fahrbahnen Eingang in die deutsche Wegekostenrechnung für Bundesfernstrassen gefunden.¹⁶

Doll hat gezeigt, dass die Spieltheorie bei den Baukosten zu demselben Ergebnis wie das inkrementelle Verfahren führt, und dass die Spieltheorie dieselben notwendigen Eigenschaften

¹⁵ Link et al. (2007), Cost Allocation Practices in the European Transport Sector. Deliverable 1 of CATRIN, S. 14.

¹⁶ Protrans / IWW (2007), Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstrassen in Deutschland, S. 110. Die deutsche Wegekostenrechnung stützt sich für die Allokation der Infrastrukturkosten hauptsächlich auf den inkrementellen (Experten-)Ansatz und in einzelnen Fällen (Bauteilen) auf spieltheoretische Verfahren. Die schwerverkehrsbedingten Kostenanteile je Bauelement aus der deutschen Wegekostenrechnung können deshalb auch direkt für die Überprüfung der Ergebnisse aus dem inkrementellen Ansatz verwendet werden.

der Kostenaufteilung erfüllt wie die Methode der Äquivalenzziffern.¹⁷ Das spieltheoretische Verfahren wird oft kombiniert mit dem Expertenansatz: Mit dem Expertenansatz werden die direkt zuteilbaren Kosten bestimmt und die Spieltheorie wird eingesetzt, um die Kosten, die verschiedene Fahrzeugkategorien gemeinsam verursachen (in der Schweizer Terminologie insbesondere die Kapazitätskosten), zu verteilen.¹⁸ Auch bei Allokationen, welche die Spieltheorie anwenden, wird die hier im Zentrum stehende Frage, welche Kosten direkt dem Schwerverkehr zugeteilt werden können, also über den Expertenansatz gelöst.

3.5. FAZIT

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht der **Expertenansatz**, konkret das **inkrementelle Verfahren** (auch Ansatz der minimalen Strasse genannt). Mehrere Gründe sprechen für dieses Verfahren:

- › Der Expertenansatz passt unmittelbar zur Grundmethodik der Schweizer Strassenrechnung, welcher im Methodikbericht 2011 bestätigt wurde.
- › In der Schweiz wurde dieses Verfahren bisher zur Bestimmung der in der vorliegenden Studie interessierenden Kosten, die direkt dem Schwerverkehr zugeschrieben werden können, angewendet (vgl. gelb hervorgehobene Prozentsätze in Figur 2). Das inkrementelle Verfahren wurde auch für die zwei Fallbeispiele in INFRAS/Ecoplan (2011) eingesetzt.
- › Das ökonometrische Verfahren kann für die Aufteilung der Kosten von Neubauten kaum sinnvoll eingesetzt werden. Zudem können mit dem ökonometrischen Verfahren die Sprungkosten von keinem Schwerverkehr auf ein Fahrzeug des Schwerverkehrs kaum abgeschätzt werden.
- › Wie gesehen wird – selbst wenn die Spieltheorie eingesetzt wird – für die hier interessierende Frage oft der Expertenansatz verwendet. Gegen eine Anwendung der Spieltheorie sprechen zudem die komplexe und sehr datenintensive Anwendung dieses stark wissenschaftlich geprägten Ansatzes in der Praxis.

Der Nachteil des Expertenansatzes liegt allerdings darin, dass er naturgemäss teilweise auf subjektiven Experteneinschätzungen beruht, was ihn grundsätzlich verwundbar gegenüber anderslautenden Experteneinschätzungen macht. Diesem Nachteil soll durch die Bildung eines Expertenpools mit Personen aus Wissenschaft und Praxis Rechnung getragen werden, die die Entstehung und Umsetzung des Ansatzes begutachten sollen.

¹⁷ Doll (2003), Allokation gemeinsamer Kosten der Strasseninfrastruktur, S. 81 und 103.

¹⁸ Link et al. (2007), Cost Allocation Practices in the European Transport Sector. Deliverable 1 of CATRIN, S. 20.

Um diesem Nachteil entgegenzutreten, ist es zudem **denkbar, zur Validierung der Ergebnisse** aus dem Expertenansatz eine **ökonometrische Schätzung** durchzuführen. Eine solche drängt sich v.a. dann auf, wenn die Ergebnisse aus dem Expertenansatz stark uneinheitlich ausfallen bzw. stark streuen und / oder die Beurteilung im Expertenpool kontrovers ausfällt. Mit der ökonometrischen Schätzung könnte eine gewisse „Objektivierung“ der Kostenaufteilung erreicht werden, weil die Schätzung auf tatsächlichen Kostenzahlen beruht und weil für die Herleitung keine ingenieurwissenschaftlichen Annahmen benötigt werden (wie im Expertenansatz).

Im Expertenansatz sollen anhand von konkreten Projekten (baulicher Unterhalt, Ausbau und Neubau) untersucht werden, welche Kostenreduktionen sich ergeben hätten, wenn die Strasse nur für den Leichtverkehr unter 3.5t hätte dimensioniert und gebaut werden müssen. Damit werden die direkt dem Schwerverkehr zuteilbaren Kosten ermittelt.

Im folgenden Kapitel 4 wird der Expertenansatz ausführlich beschrieben und das detaillierte Vorgehen erarbeitet. In Kapitel 5 folgen die Ausführungen zum möglichen ökonometrischen Ansatz als mögliche Ergänzung und Plausibilisierung.

4. EXPERTENANSATZ

4.1. METHODISCHES VORGEHEN

Hypothetischer Ansatz: Dimensionierung auf den Leichtverkehr

Die hypothetische Dimensionierung auf Leichtverkehr inkl. Ermittlung der Kostendifferenz ist die inhaltliche Kernaufgabe des vorliegenden Projekts und soll anhand einer Stichprobe von Strassenbauprojekten untersucht werden.

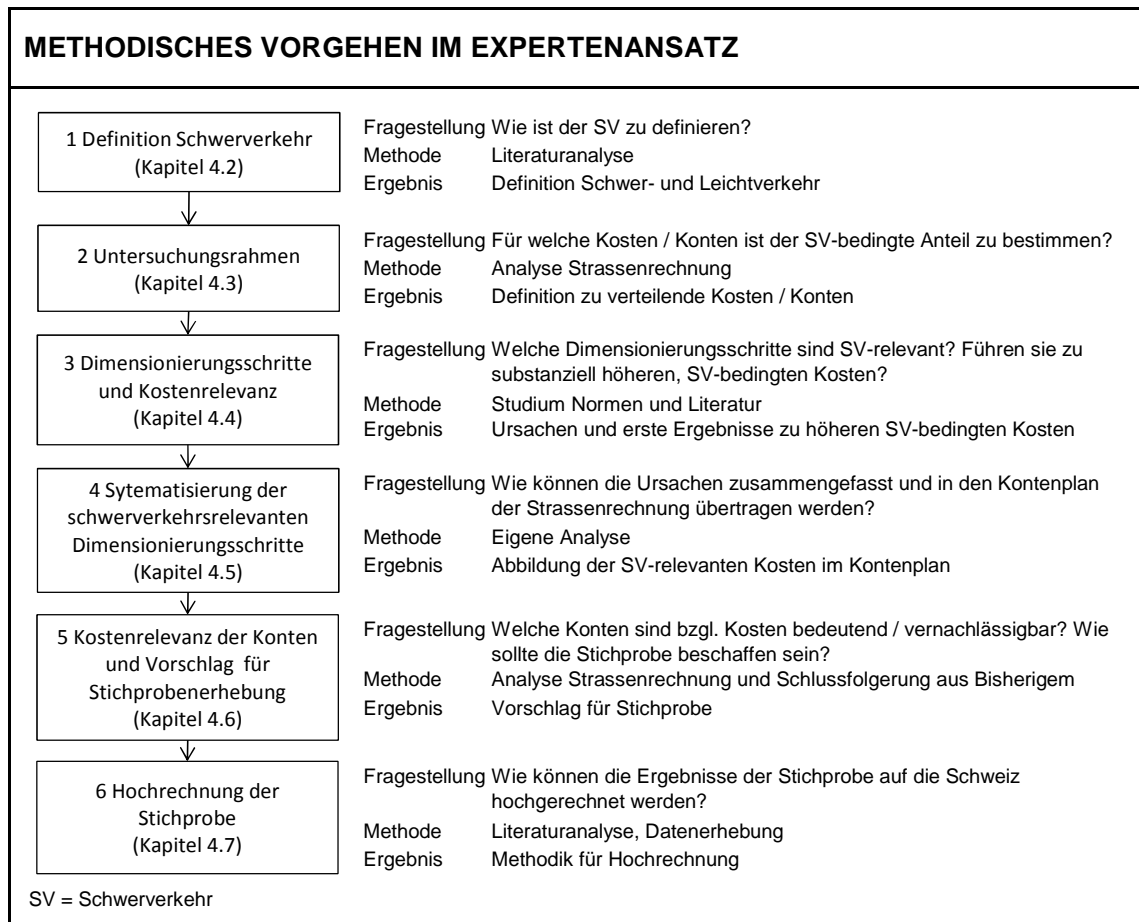
Die Anwendung des hypothetischen Ansatzes erfordert profundes bauingenieur-technisches Wissen, indem für irgendein beliebiges Strassenprojekt der Dimensionierungs- und Kostenschätzungsprozess nochmals mit der Prämisse „Dimensionierung auf Leichtverkehr“ analysiert und die kostenrelevanten Unterschiede in begründeter Form festgehalten werden müssen.

Das Bauingenieurwesen stützt sich auf Erfahrungen und das darauf basierende Normenwerk ab. Je nach Fragestellung besteht dabei vielfach Ermessens- und Auslegungsspielraum, namentlich auch bei der Wahl von Modellen. Im Folgenden soll deshalb dieser Ermessensspielraum ausgeleuchtet und eine Systematik vorgeschlagen werden, wie die Dimensionierung auf Leichtverkehr bei der Untersuchung der Fallbeispiele erfolgen soll. Die Vorschläge basieren auf der langjährigen Erfahrung von in der Praxis tätigen Ingenieuren und wurden im Rahmen des Expertenworkshops mit Fachleuten diskutiert und bereinigt.

Vorgehensschritte

Die folgende Figur zeigt das gewählte methodische Vorgehen im Expertenansatz:

1. Die vorliegende Studie soll die schwerverkehrsbedingten Kosten quantifizieren. Entsprechend muss in einem ersten Arbeitsschritt definiert werden, was unter dem Schwerverkehr – und seinem Gegenstück dem Leichtverkehr – zu verstehen ist.
2. Weiter muss der Untersuchungsrahmen geklärt werden, d.h. welche Kosten bzw. welche Konten der Strassenrechnung für die vorliegende Untersuchung relevant sind, d.h. in welchen Konten ein Teil der Kosten direkt dem Schwerverkehr zuzuteilen sein dürfte.
3. Dann wird genau untersucht, bei welchen Schritten die Frage der Dimensionierung auf Schwer- bzw. Leichtverkehr eine Rolle spielt und ob bei diesen Schritten relevante Kostenunterschiede zwischen der Dimensionierung auf Schwer- bzw. Leichtverkehr bestehen.
4. Darauf werden die relevanten Dimensionierungsschritte systematisiert. Insbesondere geht es auch um die Frage, in welchen Konten der Strassenrechnung welche Dimensionierungsschritte relevant sind.



Figur 3

- Im Folgenden wird anhand der Strassenrechnungen geprüft, wie hoch die Kosten in den relevanten Konten in den letzten Jahren waren. Basierend darauf und aus den früheren Ergebnissen wird ein Vorschlag für die in Phase II zu erhebende Stichprobe erstellt.
- Schliesslich ist noch festzulegen, wie unterschiedliche Ergebnisse für unterschiedliche Strassentypen (z.B. innerorts / ausserorts) zusammengefasst werden können bzw. wie die Stichprobe auf den Schweizer Durchschnitt hochgerechnet werden kann.

4.2. DEFINITION SCHWER- UND LEICHTVERKEHR

4.2.1. GRUNDLAGEN

Das Bundesamt für Statistik weist in der Strassenrechnung das Ergebnis für den Schwerverkehr separat aus. Es versteht unter dem Schwerverkehr die Fahrzeuge über 3.5t, insbesondere Last-

wagen (ohne Anhänger), Lastenzüge (mit Anhänger), Sattelzüge (inkl. Auflieger) und Cars. Dies ist auch die Definition, welche für die Berechnung der LSVA verwendet wird.¹⁹

Bei der Berechnung der Ergebnisse der Strassenrechnung werden die gewichtsabhängigen Kosten aber auch auf die Busse (inkl. Trolleybusse) des öffentlichen Verkehrs verteilt. Hier werden die öffentlichen Busse also ebenfalls als Schwerverkehr betrachtet, bei der Ausweisung des Endergebnisses werden die öffentlichen Busse jedoch beim Schwerverkehr nicht miteinbezogen. Dies ist auf eine politische Festlegung zurückzuführen: Der öffentliche Verkehr soll durch die LSVA nicht belastet werden und ist deshalb gemäss Artikel 3 der Verordnung über eine leistungsabhängig Schwerverkehrsabgabe (SVAV) von der Abgabe befreit.

Für die Frage der Kostenverursachung spielt es keine Rolle, ob ein Bus öffentlich oder privat ist. Deshalb werden die öffentlichen Busse in diesem Bericht als Teil des Schwerverkehrs verstanden. In einem späteren Schritt, der ausserhalb des vorliegenden Berichtes liegt, werden die Kosten des Schwerverkehrs dann auf die einzelnen Fahrzeugkategorien verteilt (vgl. Figur 2). Dabei kann der öffentliche Verkehr vom übrigen Schwerverkehr getrennt werden. Dies ist bereits in der heutigen Strassenrechnung so geregelt.

Damit ergeben sich für den vorliegenden Bericht folgende Definitionen, die von einem Grenzwert von 3.5t ausgehen:²⁰

- › **Schwerverkehr:** Lastwagen, Lastenzüge, Sattelzüge, Cars und öffentliche Busse
- › **Leichtverkehr:** Personenwagen, Lieferwagen, Motorräder, Mofas

Beim inkrementellen Ansatz (oder **Ansatz der minimalen Strasse**, vgl. Kapitel 3.2) wird analysiert, welche Kosten anfallen würden, wenn nur der Leichtverkehr die Strasse benutzen würde. In der Praxis wird der überwiegende Teil der Fahrleistung beim Leichtverkehr von Personenwagen und Motorrädern erbracht (rund 93 %, BFS 2010). Besonders bedeutsam für die vorliegende Fragestellung ist die Fahrzeugkategorie Lieferwagen, welche substanziell grössere Fahrzeugabmessungen aufweist als die Personenwagen. Die Fahrleistung beträgt rund 6% des Leichtverkehrs.²¹ Es wäre aus methodischer Sicht fragwürdig und würde dem Gebot der Fairness (vgl.

¹⁹ Vgl. auch INFRAS/Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 101-104.

²⁰ Es ist die Frage aufgetaucht, wie mit **Militärfahrzeugen** umzugehen ist. Das Militär wird in der Strassenrechnung bisher nicht betrachtet. Aus folgendem Grund sind Militärfahrzeuge auch für die vorliegende Studie nicht relevant: Es geht hier um die Ermittlung des direkt dem Schwerverkehr anzulastenden Kostenanteils. Um welchen Schwerverkehr (Lastwagen, Busse oder eben Militärfahrzeuge) es sich handelt ist erst zu beachten, wenn es darum geht, die dem Schwerverkehr zugewiesenen Kosten auf die einzelnen Fahrzeugkategorien des Schwerverkehrs zu verteilen. Diese Frage ist nicht Gegenstand des vorliegenden Auftrages.

²¹ Bemerkenswert ist aber die Zunahme der Fahrleistung bei den Lieferwagen um rund 30% in den letzten 10 Jahren, welche praktisch ausschliesslich den Lieferwagen mit Nutzlasten < 1t zugeordnet werden kann (BFS Mobilität und Verkehr 2012).

Kapitel 3.1) widersprechen, wenn bezgl. der Fahrzeugabmessungen beim Ansatz der minimalen Strasse auf die Dimensionen von Personenwagen abgestützt würde. Konsistenter erscheint für die Dimensionierung auf Leichtverkehr die Berücksichtigung der Abmessungen von Lieferwagen. Die Abstützung auf Lieferwagen entspricht sozusagen einem „at-least-Ansatz“ zu Gunsten des Schwerverkehrs: Dem Schwerverkehr werden mit dieser Festlegung weniger Kosten zugeschrieben als wenn die Dimensionierung auf Personenwagen ausgerichtet wäre.²²

4.2.2. UNTERSCHIEDE ZWISCHEN SCHWER- UND LEICHTVERKEHR

Der Schwerverkehr unterscheidet sich vom Leichtverkehr in zwei Aspekten: Der erste Aspekt betrifft das **Gewicht** (sowohl direkte physikalische Einwirkungen auf die Infrastruktur als auch Auswirkungen auf die Fahrdynamik und dadurch auf die Leistungsfähigkeit einer Strasse), der zweite Aspekt beinhaltet die geometrischen **Abmessungen** der Fahrzeuge, denn grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass leichtere Fahrzeuge auch kleinere Abmessungen aufweisen, bzw. schwerere grössere.

Es empfiehlt sich aus fachlicher Sicht, die Frage zu vertiefen, welche Beiträge die beiden Aspekte an die Kostenfolgen im Strassenbau liefern. Beispielsweise spielt das Gewicht beim Konto Landerwerb keine Rolle, entscheidend ist hier die Strassenbreite (in Abhängigkeit der Fahrzeugabmessungen). Bei den Fahrbahnen hingegen ist eine differenzierte Analyse angezeigt: das Fahrzeuggewicht spielt bei der Wahl des Belagsmaterials und der Dimensionierung des Oberbaus eine Rolle. Wenn aber gleichzeitig die Fahrbahn auf Grund geringerer Fahrzeugabmessungen (Dimensionierung auf Leichtverkehr) schmaler werden kann, wirkt sich diese Mindebreite auf die Bauwerksdimensionen und damit auch auf die Bauwerkskosten aus.

Beim **Fahrzeuggewicht** gibt es die oben erwähnte rechtlich eindeutige Unterscheidung zwischen Leicht- und Schwerverkehr mit der Grenze 3.5 t (Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) sowie zugehörige Verweise auf EU-Richtlinien). Die gewichtsrelevante Dimensionierung von Bauteilen gemäss Schweizer Normen folgt demnach auch dieser Grenze und verwendet für Fahrzeuge >3.5 t in vereinfachter Form meist die Begriffe

²² In den USA wird das inkrementelle Verfahren nicht nur für die Unterscheidung von Schwer- und Leichtverkehr verwendet, sondern für viele weitere Fahrzeugkategorien. In Analogie dazu könnte in der Schweiz auch analysiert werden, um wie viel die Kosten weiter fallen würden, wenn auch keine Lieferwagen verkehren dürften und in einem weiteren Schritt wenn nur noch Motorräder und Mofas verkehren dürften. Zudem könnte auch der Schwerverkehr weiter unterteilt werden. Dies würde den Aufwand für die Ermittlung jedoch massiv erhöhen, so dass auftragsgemäss nur die Unterscheidung von Schwer- und Leichtverkehr untersucht wird.

„Lastwagen“, bzw. „prozentualer Lastwagenanteil am Gesamtverkehrsaufkommen“. Für die Dimensionierung des Strassenaufbaus (v.a. Oberbau) werden als gewichtsrelevanter Aspekt auch die Achslasten berücksichtigt. Diese sind ebenfalls in der oben erwähnten Verordnung, bzw. den EU-Richtlinien mit maximalen Obergrenzen definiert.

In der erwähnten Verordnung sind zudem die maximal zulässigen **Fahrzeugabmessungen** in Breite, Höhe und Länge definiert. Diese Maximalabmessungen beziehen sich in der Realität praktisch ausschliesslich auf den Schwerverkehr und hier auf schwere Motorwagen. In den relevanten Schweizer Normen (v.a. geometrisches Normalprofil, SN 640 201) werden die entsprechenden Maximalwerte vor allem für die Breite und die Höhe direkt übernommen und dem Fahrzeugtyp „Lastwagen (LW)“ zugewiesen.

Etwas anspruchsvoller gestaltet sich die Bestimmung der Fahrzeugabmessungen für den Leichtverkehr resp. für die im vorliegenden Kontext interessierenden leichten Motorwagen bzw. Lieferwagen. Hierzu gibt es in der Verordnung keine „Zwischenmasse“ und theoretisch könnten auch leichte Motorwagen die rechtlich festgelegten Maximalwerte aufweisen. Breit angelegte Auswertungen im Zusammenhang mit der Überarbeitung der SN 640 201 (Geometrisches Normalprofil) und der SN 640 284 (Parkieren; Anordnung und Geometrie von Parkieranlagen) haben repräsentative Abmessungen zur Breite und Höhe von in der Schweiz zugelassenen Personen- und Lieferwagen aufgezeigt. Demnach lassen sich mit einer Breite von 2.20 m und einer Höhe von 3.00 m weit über 95% des Fahrzeugparks der leichten Motorwagen abdecken.

Für die vorliegende Studie werden deshalb folgende Definitionen für die schweren und leichten Motorwagen (stellvertretend für den Schwer- und Leichtverkehr) verwendet (die Festlegung wurde im Rahmen des Expertenworkshops als sinnvoll erachtet).

DEFINITION VON SCHWEREN UND LEICHTEN MOTORWAGEN			
	Schwere Motorwagen:	Leichte Motorwagen: (ohne Anhänger)	
	- Breite: 2.55 m	- Breite: 2.20 m	
	- Länge: 18.75 m	- Länge: 7.00 m	
	- Höhe: 4.00 m	- Höhe: 3.00 m	
	- Gewicht: > 3.5 t	- Gewicht: < 3.5 t	
	- Achslasten:	- Achslasten:	
	- Einzelachse: 11.5 t	- Einzelachse: -	
	- Referenzachse: 8.16 t	- Referenzachse: -	

Figur 4

4.3. UNTERSUCHUNGSRAHMEN: KONTEN GEMÄSS STRASSENRECHNUNG

Um den Expertenansatz umsetzen zu können, ist als nächstes festzulegen, welche Kostenkategorien überhaupt zu analysieren sind. Dabei wird von der Aufteilung der Kosten gemäss Kontenplan der Strassenrechnung (vgl. Anhang A) ausgegangen. Die folgende Tabelle zeigt, welcher Anteil der Kosten der relevanten Konten in der heutigen Strassenrechnung direkt dem Schwerverkehr zugewiesen wird. Bei Erneuerung, Ausbau und Neubau sind dies lediglich 5% bis 9%, beim baulichen Unterhalt hingegen 45% (Herkunft der Werte siehe Kapitel 2).

ANTEILE GEWICHTSABHÄNGIGE KOSTEN GEMÄSS HEUTIGER STRASSENRECHNUNG									
		An Fahrbahnen			Landerwerb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			
		Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau	
Gemeindestrasse		45%	9.06% / 7.05%	7.12% / 7.05%	9.06% / 7.05%	45%	9.06% / 7.05%	7.12% / 7.05%	
Kantonsstrassen		45%	9.06% / 7.05%	4.90% / 7.05%	4.90% / 7.05%	45%	9.06% / 7.05%	4.90% / 7.05%	
Nationalstrassen	Trasse	45%	9.06% / 7.05%	5.30% / 7.05%	9.06% / 7.05%				
	Brücke / Kunstbauten					45%	9.06% / 7.05%	5.30% / 7.05%	
	Betriebs- und Sicherheitsausrüstung					45%	9.06% / 7.05%	5.30% / 7.05%	
	Tunnel					45%	9.06% / 7.05%	5.30% / 7.05%	
	Diverses					45%	9.06% / 7.05%	5.30% / 7.05%	

Ausgabenrechnung / Kapitalrechnung (falls unterschiedlich)

Tabelle 1

Wie die Tabelle zeigt, können die Kosten nach drei Eigenschaften unterteilt werden:

- › 3 Strassenkategorien: Gemeinde-, Kantons- und Nationalstrassen
- › 3 Kostenkategorien: Baulicher Unterhalt, Erneuerung/Ausbau, Neubau (ausser bei Landerwerb)
- › 3 Strassenrechnungskonten: An Fahrbahnen, An Kunstbauten und Nebenanlagen sowie Landerwerb (Landerwerb ohne Differenzierung nach Kostenkategorien), wobei die Kunstbauten und Nebenanlagen bei den Nationalstrassen auf 4 weitere Unterkategorien unterteilt werden

Insgesamt gibt es damit 30 Konten, bei denen es den Anteil der direkt dem Schwerverkehr zuweisbaren Kosten zu bestimmen gilt. Um bei dieser grossen Zahl der zu untersuchenden Konten den Überblick nicht zu verlieren und um die Grösse der Stichprobe der zu analysierenden Fallbeispiele in Grenzen zu halten, ist es sinnvoll, gewisse Konten zusammenzulegen, was gleichbedeutend ist mit der Annahme, dass der Anteil der schwerverkehrsbedingten Kosten bei diesen Konten praktisch gleich gross ist. Die Zusammenlegung sollte aber nur unter gewissen Bedin-

gungen erfolgen: Die Anteile der schwerverkehrsbedingten Kosten sollten identisch oder zumindest ähnlich sein. Falls sie nicht identisch sind, sollte die Zusammenlegung nur erfolgen, wenn die entsprechenden Kostenbestandteile relativ unbedeutend sind, so dass eine gewisse Ungenauigkeit das Gesamtergebnis nur marginal verändert.

Für jede einzelne Zelle von Tabelle 1 sind im Rahmen der Phase I der Studie zwei Fragen zu beantworten:

- › Welche Schritte im Dimensionierungs- und Projektierungsprozess des jeweiligen Anlageteils sind schwerverkehrsrelevant?
- › Führen diese Schritte zu substantiell höheren Kosten bei den jeweiligen Anlageteilen, als wenn nur für den Leichtverkehr dimensioniert werden müsste?

Dies wird im Rahmen von Kapitel 4.4 und 4.5 analysiert. Dies soll zeigen, bei welchen Konten identische oder ähnliche Anteile der schwerverkehrsbedingten Kosten zu erwarten sind. Im Kapitel 4.6 wird dann untersucht, welche Kosten in den einzelnen Konten in der Strassenrechnung erfasst werden und daraus wird abgeleitet, welche Konten im Rahmen der Fallbeispiel zusammengefasst werden können.

Bevor diese Fragen analysiert werden, ist jedoch noch auf folgende vier Punkte hinzuweisen:

- › Wie die Tabelle 1 zeigt, werden in der heutigen Strassenrechnung in der Ausgaben- und Kapitalrechnung unterschiedliche Anteile verwendet. Tatsächlich beruhen aber alle Werte auf denselben Zahlen, nämlich auf den differenzierten Anteilen der Ausgabenrechnung. Für die Kapitalrechnung wurde hingegen ein Durchschnitt gebildet. Dieser Durchschnitt beruhte ursprünglich auf den Ausgaben des Jahres 1979.²³ Bei der Überarbeitung durch LAVOC (2000)²⁴ dürften es die Ausgaben des Jahres 1995 sein.²⁵ Eine Begründung, warum in der Kapitalrechnung der Durchschnitt verwendet wird und nicht dieselben detaillierteren Zahlen wie in der Ausgabenrechnung, konnten wir in den uns zur Verfügung stehenden Unterlagen nicht finden. Es scheint aber keine Gründe zu geben, warum nicht auch in der Kapitalrechnung mit den detaillierteren Anteilen der Ausgabenrechnung gerechnet werden könnte. **Folglich müssen im Rahmen dieses Projektes nicht unterschiedliche Anteile für Ausgaben- und Kapitalrechnung ermittelt werden.** Es genügt jeweils einen Anteil für die 30 Konten in Tabelle 1 zu bestimmen.

²³ Scazziga (1984), Ermittlung der gewichtsbedingten Mehrkosten in der Strassenrechnung, S. 46-50 und LAVOC (2000), Compte routier, Vérification des coefficients de répartition des coûts, S. 13-14.

²⁴ LAVOC (2000), Compte routier, Vérification des coefficients de répartition des coûts.

²⁵ Aus der Studie geht nicht klar hervor, woher die verwendeten Gewichtungsfaktoren stammen (S. 39 und 45), es dürfte sich jedoch um Zahlen von 1995 handeln (S. 23).

- › Gemäss den Vorschlägen im Methodikbericht 2011 wird auch ein Teil des betrieblichen Unterhalts direkt dem Schwerverkehr zugewiesen (was in Tabelle 1 nicht ersichtlich ist): Ein Teil der Kosten des betrieblichen Unterhalts²⁶ bezieht sich auf kleinen baulichen Unterhalt, der gleich verteilt wird wie der bauliche Unterhalt selbst.²⁷ Diese Kosten sind bei der Bestimmung des Anteils der schwerverkehrsbedingten Kosten miteinzubeziehen und ebenfalls neu zu verteilen.
- › Die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung der Nationalstrassen wurden von INFRAS/Ecoplan (2011) zu 100% über die Fzkm auf die Fahrzeugkategorien verteilt, so dass sie jetzt nicht relevant wären. Es gibt jedoch Hinweise, dass ein substanzieller Teil der Sicherheitsausrüstung vor allem bei Tunnels durch den Schwerverkehr bedingt ist. Dies soll im Rahmen des vorliegenden Berichtes nochmals geprüft werden.
- › Der Landerwerb wurde von INFRAS/Ecoplan (2011) zu 100% den Kapazitätskosten zugewiesen, weil der Landerwerb unabhängig vom Gewicht ist. Da der Fokus aber von den gewichtsabhängigen auf die schwerverkehrsbedingten Kosten abgeändert wurde, sind nun die Landkosten miteinzubeziehen, weil für den Schwerverkehr breitere Strassen gebaut werden müssen als für den Leichtverkehr.

4.4. DIMENSIONIERUNGSSCHRITTE UND KOSTENRELEVANZ

4.4.1. ÜBERSICHT

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf der detaillierten Untersuchung der folgenden beiden Fragen:

- › Welche Schritte im Dimensionierungs- und Projektierungsprozess des jeweiligen Anlageteils sind schwerverkehrsrelevant?
- › Führen diese Schritte zu substanziell höheren Kosten bei den jeweiligen Anlageteilen, als wenn nur für den Leichtverkehr dimensioniert werden müsste?

Planung, Projektierung, Bau und Wertherhalt des Strassennetzes inklusive der zugehörigen Kunstbauten sind Gegenstand eines umfassenden Normenwerks, welches seinerseits auf Erkenntnissen aus mehreren Fachdisziplinen des Bauingenieurwesens basiert. Für die vorliegende

²⁶ Konkret bei Kantons- und Gemeindestrassen 10% der Kosten in den fünf Konten „An Fahrbahnen, „Maschinen, Geräte und Fahrzeuge“, „Werkhöfe und Magazine“, „Anschaffungen Maschinen, Fahrzeuge“ sowie „Neubau, Ausbau, Landerwerb, Werkhöfe“, bei Nationalstrassen 100% des kleinen baulichen Unterhalts (ohne Einzelmassnahmen an El. mech).

²⁷ INFRAS/Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 146-147 und 151-152.

Fragestellung erscheint es sinnvoll, die Analyse der schwerverkehrsrelevanten Prozess- und Dimensionierungsschritte zuerst entlang der Normgliederung vorzunehmen und diese anschliessend mit Hilfe einer Relevanzbetrachtung möglichst mit der Systematik des Kontenplans in Übereinstimmung zu bringen. Die erste Stufe der Analyse erfolgte demnach gemäss folgenden Kategorien:

Trasseebau (Fahrbahn):	Entwurf und Dimensionierung
Trasseebau (Fahrbahn):	Geotechnik und Grundbau
Kunstabau:	Entwurf, Tragwerksanalyse, Detailstatik

Die vorläufigen Ergebnisse der Analyse sind für jede dieser Kategorien in Tabellenform **im Anhang B** ersichtlich. Die Inhalte des letzten Spaltenblocks der Tabellen in Anhang B (Neubau, Ausbau & Erneuerung, Baulicher Unterhalt) werden Hauptgegenstand der Phase II sein und anhand von Fallbeispielen überprüft bzw. verifiziert werden.

Mit dieser detaillierten Analyse lassen sich im Sinne einer Relevanzbetrachtung die für die vorliegende Fragestellung relevanten Auswirkungen konkret bezeichnen. Diese werden unter Berücksichtigung der ursächlichen Unterschiede zwischen schweren und leichten Motorwagen (Breite/Länge, Höhe, Gewicht) in der nachstehenden Figur im Überblick gezeigt und in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert.

RELEVANTE AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER FAHRZEUGABMESSUNGEN UND –GEWICHTE				
Schwere Motorwagen:		Leichte Motorwagen: (ohne Anhänger)		Relevante Auswirkungen:
- Breite:	2.55 m	- Breite:	2.20 m	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrbahn-/ Strassenbreiten (inkl. Entwässerung) - Knotengrösse (Fläche) - Flächenbedarf/ Landerwerb
- Länge:	18.75 m	- Länge:	7.00 m	
- Höhe:	4.00 m	- Höhe:	3.00 m	<ul style="list-style-type: none"> - Lichte Höhe bei Kunstbauten - Tunnelquerschnitt - Überkopf-Signalisation - Trassierung (Längenprofil)
- Gewicht:	> 3.5 t	- Gewicht:	< 3.5 t	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrdynamik - LF/ Kapazität (Beschleunigungs-/ Bremsverhalten) - in Steigungen - Lärmemissionen - Trassierungsparameter (v.a. Längsneigung Strasse) - BSA (v.a. Tunnel-Lüftung) - Passive Sicherheit - Ober- und Unterbau Fahrbahn - Konstruktion Kunstbauten (Verkehrslasten)
- Achslasten:		- Achslasten:		
- Einzelachse:	11.5 t	- Einzelachse:	-	
- Referenzachse:	8.16 t	- Referenzachse:	-	

Figur 5 LF: Leistungsfähigkeit; BSA Betriebs- und Sicherheitsausrüstung

Die wichtigsten Ergebnisse des Expertenworkshops zum Thema **Dimensionierungsschritte** und **kostenrelevant Auswirkungen** auf die Konten Neubau, Erneuerung/Ausbau und baulicher Unterhalt (für die Ergebnisse im Detail vgl. Anhang C):

- › Die Berücksichtigung der Dimensionierung wird als sehr sinnvoll erachtet, da nicht nur das höhere Gewicht des SV zu Zusatzkosten führt, sondern auch dessen geometrische Abmessungen.
- › Die vorgeschlagene Dimensionierung beim Leichtverkehr auf den Lieferwagen gemäss Figur 5 deckt weit über 95% des aktuellen Lieferwagenparks ab und wird als zielführend eingestuft. Der restliche Prozentsatz kann als „übergrosse“ Fahrzeuge des Leichtverkehrs interpretiert werden. Auch in einer reinen „Leichtverkehrswelt“ würde nicht auf diese „Ausnahmetransporte“ dimensioniert, genauso wie dies heute auch beim Schwerverkehr nicht der Fall ist.
- › Im innerstädtischen bzw. innerkommunalen Bereich sind häufig andere Faktoren als die Fahrzeugdimensionen entscheidend für die Dimensionierung der Strassen. Bei der Fallbeispielanalyse in Phase II ist dieser Aspekt zu beleuchten. Es ist zu prüfen, ob entsprechend differenzierte Prozentsätze gebildet werden müssen. Dabei wird aber folgendes Analogieargument zu berücksichtigen sein, welches sich aus der konsequenten Anwendung des gewählten Expertenansatzes ergibt: Die gleichen Gründe, welche in einer Welt mit SV dazu führen, dass innerorts nicht Normbreiten realisiert werden (keine durchgehende Umsetzung des LKW-LKW-Begegnungsfalls), würden auch in einer reinen Leichtverkehrswelt bewirken, dass teilweise schmaler gebaut würde (keine durchgehende Umsetzung des Grundbegegnungsfalls Lieferwagen-Lieferwagen).
- › Am Expertenworkshop werden bei den in Anhang B beschriebenen Dimensionierungsschritten keine Lücken identifiziert.
- › Bei Brücken wird der Ansatz „Dimensionierung auf den Leichtverkehr“ als schwierig umsetzbar eingestuft, da es kein Modell für reine „Leichtverkehrsbrücken“ gibt. Bei den meisten Brücken für den Strassenverkehr ist i.d.R. das Eigengewicht der für die Auslegung der Tragfähigkeit relevante Faktor und nicht der Verkehr, welcher auf der Brücke zirkuliert. Für diesen Fall lässt sich bezgl. der Tragwerksdimensionierung kaum ein gewichtsabhängiger Anteil herleiten, welcher direkt dem SV anzulasten wäre. In der Fallbeispielanalyse in Phase II ist dieser Punkt zu validieren.

4.4.2. AUSWIRKUNGEN DER BREITE UND LÄNGE

Die Breite der **Fahrbahn** und damit auch des gesamten Strassenkörpers wird mitbestimmt von der bei der Dimensionierung zu Grunde gelegten **Fahrzeugbreite**. Wird das gesamte Strassen-netz getreu dem hypothetischen Ansatz „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ betrachtet, liessen sich die Strassenbreiten für alle Strassentypen um **rund 15 – 25%** vermindern. Die Normabmessungen aus dem geometrischen Normalprofil (GNP) setzen sich aus den Grundab-messungen der Fahrzeuge (Fahrzeugbreite) sowie verschiedenen Zuschlägen (Bewegungsspiel-raum, Sicherheitszuschlag, Gegenverkehrszuschlag) zusammen. Auf **Nationalstrassen** kann davon ausgegangen werden, dass weitgehend gemäss der entsprechenden Norm dimensioniert wird. Diese Annahme gilt auch für einen grossen Teil des **Kantonsstrassennetzes**.

Vor allem auf Kantonsstrassen innerorts oder auf Passstrassen sowie auf dem kommunalen Strassennetz werden aus Platz-, Optimierungs- oder Kostengründen häufig die **Normbreiten unterschritten**. Vor allem im Innerortsbereich und auf städtischen Netzen ist aber gleichzeitig die Knotendichte wesentlich grösser. Die zu ermöglichenden Abbiegevorgänge (mit entspre-chenden Schleppkurven) führen in den Knoten (konventionell oder Kreisel) zu einer Aufweitung des Strassenkörpers. Am Beispiel eines **Kreisels** konnte festgestellt werden, dass die Strassen-fläche bei Dimensionierung auf leichte Motorwagen um **rund 25 - 50 %** verkleinert werden könnte. Eine ähnliche Grössenordnung ist auch bei lichtsignalgesteuerten Knoten zu erwarten, bei welchen die feindlichen Ströme, v. a. auf dem verkehrsorientierten Strassennetz, aus Lei-stungsfähigkeits- und Sicherheitsgründen räumlich konsequent getrennt werden müssen.

Bei Abweichungen von den Normbreiten bei Passstrassen oder schwächer belasteten Kan-tonsstrassen ausserorts stellt sich die Frage, ob diese nicht genau gleich gebaut worden wären, auch wenn nur auf Leichtverkehr hätte dimensioniert werden müssen. Diese Frage muss aus methodischer Sicht klar verneint werden. Die Minderbreite von Lieferwagen gegenüber Lastwa-gen ist eine Tatsache und die konsequente Anwendung des hypothetischen Falls „Dimensionie-rung auf Leichtverkehr“ wird dazu führen, dass die Abweichung von der (hypothetischen) Normbreite in diesem Fall analog ausfallen muss wie bei der realen Abweichung - denn die Gründe, weshalb in der Realität von der Norm abgewichen wurde (oder wird), gelten gleicher-massen für den hypothetischen Fall, und diese haben nichts mit dem zu Grunde gelegten Dimen-sionierungsfahrzeug zu tun.

Berücksichtigung von Breite und Länge der Fahrzeuge in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Diese beleuchtet zwar verschiedene der oben aufgeführten Aspekte unter dem Gesichtspunkt der „minimalen Strasse“, verzichtet aber letztlich auf eine

quantifizierte Berücksichtigung in der Strassenrechnung. Aus damaliger Sicht und dem seinerzeitigen Stand des Wissens und des Normenwesens ist dies nachvollziehbar. Mit dem heutigen Stand des Wissens und unter konsequenter Anwendung des Modells der minimalen Strasse erscheint eine Vernachlässigung der Fahrzeugbreite nicht mehr vertretbar.

Grundlagenstudie der EPFL (2000): Hier waren lediglich die Überprüfung und die modellmässige Aktualisierung der gewichtsabhängigen Aspekte Gegenstand der Untersuchungen.

Fazit zu Breite/Länge der Fahrzeuge:

Die konsequente Anwendung des hypothetischen Falls „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ führt dazu, dass alle Strassen im Netz rund 15 – 25% schmaler wären und auch die gesamtschweizerische Strassenfläche um denselben Prozentsatz kleiner wäre. Da die Kosten für den Strassenbau in der Praxis, sei dies bei einem Neubau, bei Erneuerung/Ausbau oder beim baulichen Unterhalt, mit m²-Preisen abgeschätzt werden, erscheint es vertretbar, diesen Prozentsatz auch gleichzeitig als direkt dem Schwerverkehr anzurechnenden Kostenanteil zu betrachten. Diese Minderfläche lässt sich in einer weiteren Analogie auch direkt auf den erforderlichen Landerwerb bei Neu- oder Ausbauten anwenden.

Schliesslich stellt sich noch die Frage, inwiefern sich die Minderbreite der Strassen auch auf die Kunstbauten im Strassennetz anwenden lässt. Eine Minderbreite bei der Fahrbahn führt auch automatisch zu einer Minderbreite der zugehörigen Kunstbauten, zumindest bei Brücken, Unterführungen und Galerien (Tunnels werden im Kapitel 4.4.5 separat behandelt). Bei diesen Kunstbauten kann in einfacher Analogie ebenfalls davon ausgegangen werden, dass sich die Kosten für Neubau und Ausbau sowie für den baulichen Unterhalt proportional zur Breite, bzw. zum Volumen der Kunstbaute verhalten. Dadurch wäre der für die Fahrbahn ermittelte Kostenanteil des Schwerverkehrs von rund 15 – 25% auch auf die Kunstbauten anwendbar (ausgenommen Tunnel, s. Kapitel 4.4.5).

Die wichtigsten Ergebnisse des Expertenworkshops zu den Auswirkungen von Fahrzeuglänge und -breite (für die Ergebnisse im Detail vgl. Anhang C):

- › Verschiedene Argumente sprechen für eine eher konservative Anwendung der ausgewiesenen Bandbreite für die resultierende Minderbreite von Strassen, wenn nur auf den Leichtverkehr dimensioniert werden müsste. Bei der Festlegung sind aber die Normgrundlagen eine zentrale Basis.

- › Beim Prozentsatz für die Minderbreite des Strassennetzes dürften Differenzierungen nötig sein: Unterschiedliche Normerfüllung bei National- und Kantons-/Gemeindestrassen, Unterschiede inner- und ausserorts, differenzierte Analyse bei Erschliessungsstrassen.
- › Der unterstellte proportionale Zusammenhang von Minderbreite und Minderkosten wird als plausible Annahme eingestuft.

4.4.3. AUSWIRKUNGEN DER HÖHE

Die Fahrzeughöhe ist relevant bei Überführungen und sonstigen Anlageteilen über der Fahrbahn (z.B. über-Kopf-Signalisation, Fahrleitungen) und dann vor allem bei Tunnels (siehe separates Kapitel 4.4.5), Überdeckungen oder Galerien.

Wird die Fahrzeughöhe gemäss der Dimensionierung auf leichte Motorwagen um rund einen Meter verringert (- 25%), liesse sich die lichte Höhe der Bauteile über der Fahrbahn ebenfalls entsprechend verringern. Die Abstützungen bei Überführungen oder sonstigen Anlageteilen könnten dadurch etwas schlanker gehalten werden. Überschlägige Berechnungen zeigen aber, dass einerseits die Kosten der Stützen bezogen auf die gesamte Überführung vergleichsweise gering sind und andererseits der Einfluss einer leichten Verminderung des Eigengewichts der Stütze auf die Stützenstärke und die Kosten praktisch vernachlässigbar ist.

Ein weiterer Einfluss einer verminderten lichten Höhe resultiert bei der vertikalen Trassierung von Strassen im Bereich von Überdeckungen und Einschnitten. Nebst den verminderten Dimensionen der Überdeckung führen kleinere Abwicklungslängen im Bereich der Einschnitte zu einer grösseren Flexibilität bei der Festlegung des Längenprofils und können damit zu (trassierungsbedingten) Minderkosten bei den Kunstbauten führen. Dies hängt aber einerseits stark von der spezifischen Situation ab und diejenigen Situationen, bei welchen tatsächlich optimierte und kostengünstigere vertikale Trassierungen resultiert hätten, lassen sich weder mit vertretbarem Aufwand bestimmen, noch ist im Verhältnis zum gesamten Strassennetz mit einem relevanten Kostenanteil zu rechnen

Berücksichtigung der Höhe der Fahrzeuge in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Argumentation analog (ausgenommen Tunnel)

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

Fazit zur Höhe der Fahrzeuge:

Die Kostenrelevanz der Fahrzeughöhe bei Überführungsbauwerken oder Anlageteilen über der Fahrbahn wird als gering, bzw. vernachlässigbar eingeschätzt.

Gleiches gilt auch für eine allfällige optimierte und dadurch kostengünstigere vertikale Linienführung. Anders sieht es bei Tunnels oder tunnel-ähnlichen Bauwerken aus, welche im Kapitel 4.4.5 ausführlich behandelt werden.

Ergebnis des Expertenworkshops zum Thema **Auswirkungen der Fahrzeughöhe**: Die Einschätzung der geringen Kostenrelevanz der Fahrzeughöhe wird nicht in Frage gestellt.

4.4.4. AUSWIRKUNGEN DES GEWICHTS

Die gewichtsspezifischen Auswirkungen des Schwerverkehrs sind breit gefächert und auch indirekter Art (z.B. beeinflusst das Fahrzeuggewicht die Fahrdynamik des Fahrzeuges). Im Folgenden werden die aus unserer Sicht (kosten)relevanten Aspekte kurz erläutert.

a) Fahrdynamik

Breit angelegte Feldversuche im Rahmen von Forschungsarbeiten zeigen, dass mit zunehmendem Lastwagenanteil und zunehmender Strassenneigung eine **Kapazitätsabminderung** einhergeht. Diese kann auf Nationalstrassen bis über 20% betragen (richtungsbezogen), bei Hauptverkehrs- und regionalen Verbindungsstrassen bis zu 25% (im Querschnitt). Die Leistungsfähigkeit von innerstädtischen und kommunalen Strassennetzen wird massgeblich durch die Kapazität der Knoten bestimmt. Bei entsprechenden Leistungsfähigkeitsberechnungen fliesst der Schwerverkehr mit mindestens doppeltem Gewicht in die Berechnungen ein.

Wird mit einer eher konservativen Annahme die Kapazitätsabminderung durch den Schwerverkehr auf dem **gesamten Strassennetz** auf rund 5 – 15% beziffert und wiederum angenommen, dass in einem generell hoch ausgelasteten Netz die Kapazitätsbereitstellung mit (nicht-erforderlichen) Aus- oder Neubaukosten gleichgesetzt werden kann, so müsste diese Kapazitätsabminderung von 5 – 15 % bei der Dimensionierung auf leichte Motorwagen kostenseitig direkt dem Schwerverkehr zugerechnet werden.

Berücksichtigung der Fahrdynamik in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): nicht behandelt

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

b) Lärmemissionen

Ein zweiter Aspekt im Zusammenhang mit der Fahrdynamik beinhaltet die **Lärmemissionen** der schweren Motorwagen und damit die Kosten für den Lärmschutz. Untersuchungen und Publikationen des Cercle bruit postulieren, dass der Lärmanteil der Lastwagen auf dem gesamten Schweizer Strassennetz rund 70% beträgt. Unter der Annahme, dass zwischen dem Umfang der erforderlichen Lärmschutzmassnahmen entlang des Schweizer Strassennetzes und der Emissionssituation eine lineare Abhängigkeit besteht (Emissions-Immissions-Analogie), müsste der schwerverkehrsrelevante Anteil an den Kosten für Lärmschutzmassnahmen ebenfalls rund 70% betragen.

Berücksichtigung der Lärmemissionen in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): nicht behandelt

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

c) Trassierungsparameter

Die normbezogenen Richtwerte für die maximale **Längsneigung** von Strassen liegen für Strassen ohne Schwerverkehr 2% höher. Dadurch entstünde eine etwas grössere Flexibilität bei der Trassierung einer neuen Strassenanlage, indem diese sich (theoretisch) etwas umfeldverträglicher und vielleicht auch kostengünstiger in die bestehende Topographie einpassen liesse. Eine Quantifizierung dieses Aspekts lässt sich aber einerseits kaum mit vertretbarem Aufwand vornehmen, andererseits sind bei der Festlegung der horizontalen und vertikalen Linienführung meist andere Randbedingungen entscheidender (Meidung von sensiblen Gebieten, Umgehung von Hindernissen etc.).

Berücksichtigung der Längsneigung in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Ausführliche Argumentation und analoge Einschätzung wie oben

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

Anders sieht es aus mit **Zusatzstreifen in Steigungen** (früher „Kriechspuren“) auf dem verkehrsorientierten Strassennetz (vorwiegend Kantonsstrassen). Diese wurden und werden ausschliesslich in Funktion des Lastwagenanteils und der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Last- und Personenwagen angeordnet. Sämtliche Strassenbaukosten im Zusammenhang mit Zusatzstreifen in Steigungen lassen sich demnach zu 100% dem Schwerverkehr zurechnen.

Berücksichtigung der Zusatzstreifen in Steigungen in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Wurde argumentativ behandelt und mit Verweis auf und die Bedeutung von „langsamen“ PW mit Anhängern (geringere Motorisierung) nicht berücksichtigt. Dies ist aus heutiger Sicht nicht mehr vertretbar und die allfällige Anordnung von Zusatzstreifen erfolgt ausschliesslich auf Grund des Schwerverkehrsanteils.

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

d) Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA)

Unter dem Begriff Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (BSA), welcher in der Kontierung der Nationalstrassenrechnung separat geführt wird, werden alle elektro-mechanischen Anlagenteile subsummiert. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit beinhaltet dies die Elemente Energieversorgung, Beleuchtung, Lüftung, Signalisation, Überwachungsanlagen, Kommunikations- und Leittechnik, Kabelanlagen und weitere Nebeneinrichtungen (Klima, Entfeuchtung etc.). Die meisten dieser Elemente spielen vor allem bei der Ausrüstung von Strassentunnels eine bedeutende Rolle. Ausser der Lüftung, welche im Zusammenhang mit Tunnelbauwerken (Kap. 4.5.5) näher beleuchtet wird, sind allerdings keine weiteren schwerverkehrsrelevanten Aspekte erkennbar.

Berücksichtigung der BSA in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): nicht behandelt

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

e) Passive Sicherheit

Eine einfache Berechnung zu den Kostenunterschieden bei Fahrzeugrückhaltesystemen²⁸ zeigte, dass eine Dimensionierung auf leichte Motorwagen zu rund 40% tieferen Laufmeterkosten dieser Systeme führt. Der Kostenanteil der Fahrzeugrückhaltesysteme an den Gesamtkosten eines Nationalstrassenneubaus liegen aber deutlich unter 5% (meist ca. 2%, Kostenunterschied dadurch unter 1%). Es empfiehlt sich deshalb, die Bauteile für die passive Sicherheit mangels Relevanz in der Strassenrechnung zu vernachlässigen.

Berücksichtigung der passiven Sicherheit in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): nicht behandelt

Grundlagenstudie der EPFL (2000): nicht behandelt

²⁸ Bauliche Massnahme ausserhalb der Fahrbahn, welche von der Strasse abkommende Fahrzeuge umlenkt bzw. aufhält. Sie kommen als Leitschranken, Leitmauern oder Anpralldämpfer vor.

f) Ober- und Unterbau Fahrbahn

Die verschiedenen Dimensionierungs- und Prozessschritte beim Bau des Strassenkörpers sind im Anhang B in detaillierter Form einsehbar. Folgende Aspekte sind herauszuheben:

- › Die konkrete Umsetzung des hypothetischen Falls „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ erfolgt mit der Annahme einer Verkehrslastklasse T1 anstatt T4 (– T6)
- › Der Unterbau ist ausschliesslich bei einem Strassenneubau, ev. –ausbau relevant. Die Erneuerung und der bauliche Unterhalt beschränken sich in aller Regel auf den Strassenoberbau.
- › Beim Oberbau sind die Fundations- und die Trag-/Binderschicht besonders gewichtsabhängig. Je nach Höhenlage (ca. ab 700 m ü. M.) erfolgt jedoch die Dimensionierung des Oberbaus in der Regel auf Frost und die Berücksichtigung der unterschiedlichen Verkehrslastklassen wird hinfällig. Im Rahmen der Phase II empfiehlt es sich deshalb, die Netzlängen für die einzelnen Strassentypen über und unter 700 m ü.M. zu ermitteln.

Berücksichtigung von Fahrbahnober- und -unterbau in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Im Fokus der Untersuchung

Grundlagenstudie der EPFL (2000): Im Fokus der Untersuchung

g) Konstruktion Kunstbauten (Verkehrslasten)

Die schwerverkehrsrelevanten Aspekte bei der Dimensionierung von Kunstbauten werden bereits frühzeitig im Entwurfsprozess in der **Nutzungsvereinbarung** und der **Projektbasis** erkennbar. Eine Unterscheidung der Kunstbauten in Brücken-/Rahmenbauwerke mit unterschiedlichen Spannweiten, Tunnels und Galerien sowie Stützmauern erscheint sinnvoll. Bei den im Anhang B analysierten Dimensionierungsschritten lassen sich folgende Punkte hervorheben:

- › Bei denjenigen Bauteilen, deren Bemessung auf **Biegung und Querkraft** erfolgt (Überbau, Rahmen), ist der Einfluss der Verkehrslast bedeutsam, insbesondere wenn gleichzeitig grössere Spannweiten gewählt werden.
- › Diejenigen Bauteile, die auf Normalkraft dimensioniert werden (Stützen, Widerlager), sind für die vorliegende Untersuchung vernachlässigbar.
- › Für die Dimensionierung des Fahrbahnoberbaus inkl. Belag gelten analoge Aussagen wie unter Kapitel 4.4.4f. Beim Neubau beinhaltet dieser Anlageteil allerdings einen vergleichsweise geringen Kostenanteil bezogen auf die gesamte Kunstbaute. Bei der Erneuerung /Ausbau und beim baulichen Unterhalt hingegen ist mit grösserer Schwerverkehrsrelevanz zu rechnen.

- › Stützbauwerke sind vor allem auf Strassen im Voralpen- und Alpengebiet weit verbreitet. Bergseitige Stützmauern dienen als Widerstand gegen den Erddruck des über der Strasse liegenden Geländes und sind demnach schwerverkehrsunabhängig. Bei talseitigen Stützmauern ist eine etwas differenziertere Betrachtungsweise angezeigt, welche die Höhe und die Verankerung des Stützbauwerks berücksichtigen sollte. Im Rahmen der Phase II sind hierzu Fallbeispiele zu analysieren und die Bedeutung der Kosten von Stützmauern (bezogen auf die übrigen Kunstbauten) in der Strassenrechnung zu eruieren.

Berücksichtigung der **Konstruktion von Kunstbauten** in der **heutigen Strassenrechnung**:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Beizug von 6 Experten für die Ermittlung von konstruktionsbedingten Auswirkungen des Schwerverkehrs bei der Dimensionierung einer Brücke. Expertenmeinungen führten mehrheitlich zu unveränderter konstruktiver Lösung.

Grundlagenstudie der EPFL (2000): Analoge Argumentation wie ETH (1984)

Fazit zum Fahrzeuggewicht:

Die Fahrdynamik von schweren Motorwagen führt zu einer Kapazitätsabminderungen im Strassennetz, die sich auf rund 5 – 15% beziffern lässt. In Anbetracht des heute und auch künftig hoch ausgelasteten Schweizer Strassennetzes, in welchem Kapazitätsengpässe mit Aus- oder Neubauten behoben werden müssen, wird deshalb vorgeschlagen, diesen prozentualen Anteil für die Kapazitätsabminderung auf dem gesamten Strassennetz gleichermassen als schwerverkehrsbedingten Kostenanteil anzuwenden.

Auf Grund der Untersuchungen des Cercle bruit erscheint es vertretbar, 70% der Kosten für Lärmschutzmassnahmen dem Schwerverkehr anzulasten.

Die Auswirkungen des Schwerverkehrs auf die Trassierungsparameter, die Betriebs- und Sicherheitsausrüstung (ausgenommen Lüftung in Tunnels) sowie auf die passiven Sicherheitseinrichtungen einer Strasse werden als vernachlässigbar eingeschätzt.

Der Aufbau und die Dimensionierung des Strassenkörpers sind bezüglich der Schwerverkehrsrelevanz differenziert zu betrachten. Für die Fallbeispiele in Phase II sind die Unterschiede bei der Dimensionierung auf leichte Motorwagen vor allem beim Ober- und Unterbau und bei der erforderlichen Dimensionierung auf Frost herauszuschälen. Für die Fallbeispiele zur Dimensionierung auf leichte Motorwagen ist generell eine Verkehrslastklasse T1 anstatt T4 (- T6) anzunehmen.

Bereits in früheren Studien wurde erkannt, dass ein generell gültiger Einfluss des Schwerverkehrs auf die Wahl des Tragwerkkonzepts von Brückenbauten praktisch unmöglich zu be-

stimmen ist und von den spezifischen Eigenschaften des einzelnen Objekts (Spannweite, Materialien, Höhe etc.) abhängt. Die Fallbeispiele in Phase II sollten dazu dienen, diesen Sachverhalt zu verifizieren. Gleichzeitig sollte die Bedeutung von talseitigen Stützbauwerken in der Strassenrechnung besser eruiert werden.

Die wichtigsten Ergebnisse des Expertenworkshops zum Thema kostenrelevante Auswirkungen des Fahrzeuggewichts (für die Ergebnisse im Detail vgl. Anhang C):

- › Die Logik der **Kapazitätsabminderung** aus geringerer Fahrdynamik ist unbestritten. Weniger klar ist die direkte Verbindung des Arguments mit der Kostenfolge (u.a. weil der Druck für Kapazitätsausbauten durch die Hauptverkehrszeiten entsteht, in welchen der Verkehr v.a. vom Pendler- und nicht vom Schwerverkehr dominiert wird). Das Argument muss selektiv angewendet werden: Wichtiger bei Nationalstrassen, weniger wichtig bei Kantons- und Gemeindestrassen. Die Analyse in der 2. Projektphase müsste aufzeigen, ob eine differenzierte Anwendung des Prozentsatzes für die Kapazitätsabminderung angezeigt ist.
- › Die auf einer reinen Emissionsbetrachtung basierende Kostenzuschreibung von 70% der **Kosten für Lärmschutzmassnahmen** auf den SV wird als kritisch eingestuft: Lärmschutzwände würden auch ohne SV gebaut. Zudem richtet sich die Dimensionierung von Lärmschutzmassnahmen v.a. auch auf den Nachtlärm aus. Bei diesem spielt der SV wegen des Nachtfahrverbots eher eine untergeordnete Rolle. In der Phase II ist die verwendete Grundlage dieses Prozentsatzes, welcher vom Cercle bruit postuliert wird, zu validieren.
- › Die in den Abschnitten c) bis e) beleuchteten Aspekte (**Trassierungsparameter, Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, passive Sicherheit**) werden sachlich nicht bestritten und die Einschätzungen werden bestätigt. Da sie aber klar weniger ins Gewicht fallen und da ihre quantitative Berücksichtigung auf erhebliche Datenprobleme stossen würde, sollte auf Vertiefungen verzichtet werden. Sie sind sinnvollerweise qualitativ aufzuarbeiten. Allenfalls können sie beim Schlussresultat als Argumente für gewisse „Aufrundungen“ eingesetzt werden.
- › Bei der **Dimensionierung von Ober- und Unterbau** ist das Frostargument (Frostschutz als dominanter Kostentreiber bei Strassen ab 700 M.ü.M.) relevant, muss aber wohl differenziert berücksichtigt werden. Für die Nationalstrassen ist es in Phase II grundsätzlich zu überprüfen. Für die Analyse in den Fallbeispielen müssen die Kostenkategorien wohl verfeinert werden (z.B. Unterscheidung zwischen Foundationsschicht, Oberbau, etc.). Im Sinne einer Arbeitshypothese kann bei den Prozentsätzen für die gewichtsabhängigen Kosten auf eine Unterscheidung zwischen Fahrbahnen, Tunnels und Brücken verzichtet werden. Die Hypothese ist in Phase II zu überprüfen.

4.4.5. TUNNELBAUWERKE

a) Referenzgrössen

Bei **Tunnelbauwerken** ist das **Lichtraumprofil** der Fahrzeuge mitbestimmende Dimensionierungsgrundlage für den Tunnelquerschnitt, welcher seinerseits das Ausbruchprofil und die damit verbundenen Kosten definiert. Gleichermassen bedeutsam für das Tunnelprofil und die Kostenfolgen ist die Wahl des **Lüftungssystems**, welches für den Ereignisfall auf einen Lastwagenbrand ausgelegt wird. Die Brandleistung von Lastwagen ist rund doppelt so hoch wie die von Lieferwagen und etwa 6 – 10x höher als bei PWs. Der hypothetische Fall der Dimensionierung eines Strassentunnels auf leichte Motorwagen ist aufgrund der zahlreichen variablen Ausgangsgrössen komplex und auch entsprechend aufwändig.

Gleichwohl wird versucht, mit den in den vorherigen Kapiteln gewonnen Erkenntnissen eine grobe Abschätzung zu den Kostenfolgen bei einer Dimensionierung von Tunnels auf leichte Motorwagen vorzunehmen (s. nachfolgendes Kapitel).

Gleichzeitig bietet es sich an, den A86-Duplex-Tunnel in Paris, welcher als reiner PW-Tunnel mit zwei übereinanderliegenden Richtungsfahrbahnen ausgestaltet ist, als Fallbeispiel zu analysieren und mittels Analogiebetrachtung auf die vorliegende Fragestellung zu übertragen. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass dieses Tunnelbauwerk auf PW mit einer maximalen Höhe von 1.80 m ausgelegt ist und somit nicht ganz dem in der vorliegenden Studie zu Grunde gelegten Dimensionierungsfahrzeug (Lieferwagen) entspricht. Gleichwohl lassen sich aber wichtige Erkenntnisse daraus gewinnen und verwenden.

b) Abschätzung schwerverkehrsbedingter Kostenanteile

Bei der hypothetischen Dimensionierung auf Leichtverkehr lassen sich bei einem Tunnel mit zweistreifiger Fahrbahn im Gegenverkehr folgende Annahmen treffen:

- › Tunneldurchmesser für nur leichte Motorwagen rund 20% kleiner (Fahrzeugbreite/-höhe, einfacheres Lüftungssystem).
- › Folge für Neubau: Tunnelprofil/Ausbruchsfläche/-Volumen rund 35% geringer (für Neubau)
- › Folge für Erneuerung/baulicher Unterhalt: Umfang der Tunnelröhre, bzw. Breite der Fahrbahn rund 20% geringer.
- › Zusätzlich: Höhere Kapazität von 5 – 15% gemäss Kapitel 4.4.4 a).

Wird wiederum ein direkter Zusammenhang zwischen den Strassenbaukosten auf der einen Seite und dem Ausbruchsvolumen des Tunnels (beim Neubau), bzw. der zu sanierenden oder zu unterhaltenden Fläche (Tunnelwände und Fahrbahn bei Erneuerung und baulichem Unterhalt) auf

der anderen Seite unterstellt, so resultieren gesamthaft Minderkosten in folgender Grössenordnung, welche direkt dem Schwerverkehr zugewiesen werden können:

- › Neubau: ca. 40 – 50%, zzgl. Anteil für reduzierten Oberbau bei der Fahrbahn, welcher aber bezogen auf die Gesamtkosten des Neubaus vermutlich vernachlässigt werden kann.
- › Erneuerung/baulicher Unterhalt: 25 – 35%, zzgl. Anteil für reduzierten Oberbau bei der Fahrbahn (vermutlich ebenfalls gering).

c) Auswertung und Erkenntnisse aus Fallbeispiel Duplex A86

Das Studium der verfügbaren Unterlagen zu diesem Projekt und die Übertragbarkeit auf die vorliegende Fragestellung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- › Das Gesamtprojekt A86 besteht aus **zwei rund 10 km langen Tunnels**, einem für den PW-Verkehr (zwei Richtungsebenen mit je zwei Fahrstreifen, zugelassene Höhe für PW 1.80 m, in Betrieb seit 2009) und einem für den Leicht- und Schwerverkehr (Zwei Fahrstreifen mit Gegenverkehr, noch in Planung).
- › Der in Betrieb stehende PW-Tunnel erfüllt bezgl. Sicherheit die höchsten Standards und schnitt bei einem europaweiten Vergleich zuvorderst ab.
- › Der Durchmesser des PW-Tunnels beträgt 10.5 m, was etwa auch dem Durchmesser eines lastwagentauglichen Tunnels mit Gegenverkehr entspricht und auch die Kosten des PW-Tunnels und des lastwagentauglichen Tunnels liegen in einer ähnlichen Grössenordnung.
- › Bezüglich Kosten, Sicherheit und Umweltaspekten ist der PW-Tunnel somit vergleichbar mit einem lastwagentauglichen Tunnel; der massgebliche Unterschied besteht aber in der **bereitgestellten Kapazität**, welche bei einer funktionalen Betrachtung des Gesamtprojekts (PW- und LW-tauglicher Tunnel verglichen mit zwei LW-tauglichen Tunnels) rund 50% höher liegt (gesamthaft 6 anstatt 4 Fahrstreifen).
- › Bei einer konsequenten Anwendung des hypothetischen Falls „Dimensionierung auf Leichtverkehr“, **allerdings mit dem Dimensionierungsfahrzeug PW** (anstatt Lieferwagen), würde gar ein Kapazitätswachstum von 100% resultieren (eine Tunnelröhre mit 4 anstatt 2 Fahrstreifen).
- › Mit anderen Worten liegt der schwerverkehrsrelevante Anteil im ersten Fall (Gesamtlösung mit voller Funktionsfähigkeit für PW und LW) bei 35%, im zweiten Fall (reine Lösung mit Dimensionierung auf PW anstatt auf Lieferwagen) bei 50%. In beiden Fällen wird unterstellt, dass die Kapazitätsbereitstellung mit den Kostenfolgen gleichgesetzt werden kann. Diese Annahme erscheint in Anbetracht der hohen Auslastung des (National-) Strassennetzes und der laufenden Programme zur Engpassbeseitigung durchaus plausibel.

- › Die schwerverkehrsbedingten Anteile für die beiden Fälle von 35% und 50% wären sowohl für den Neubau, wie auch auf die Erneuerung und den baulichen Unterhalt anzuwenden (was nicht gebaut werden müsste, müsste auch nicht unterhalten oder saniert werden).
- › In Bezug auf die Übertragbarkeit dieser beiden Fälle auf die in der vorliegenden Studie zu Grunde gelegten Dimensionierung auf Leichtverkehr (Basis Lieferwagen) wird der schwerverkehrsbedingte Anteil im ersten Fall (volle Funktionsfähigkeit für PW und LW, 35%) eher unterschätzt, im zweiten Fall (reiner PW-Tunnel, 50%) klar überschätzt. Ein Anteil von rund 40% erscheint deshalb vertretbar.

d) Synthese, Übertragbarkeit und Fazit zu Tunnels

Die beiden komplett unterschiedlichen Betrachtungsweisen zu Strassentunnels in obigen Unterkapiteln b) und c) führen im Endergebnis zu einem ähnlichen Resultat. Das reale Fallbeispiel A86 zeigt zudem, dass der hypothetische Fall „Dimensionierung auf Leichtverkehr“ letztlich doch nicht so hypothetisch sein muss.

Die vorstehenden Analysen und Erkenntnisse wurden auf der Grundlage von bergmännisch erstellten Tunnels mit Rundprofilen erarbeitet. Es stellt sich die Frage, ob ähnliche Überlegungen auch für Tagbautunnels mit beispielsweise Rechteckprofilen oder auch für Überdeckungen und Galerien anwendbar sind. Bei den bergmännisch erstellten Tunnels mit Rundprofil wurden die schwerverkehrsrelevanten Anteile anhand einfacher geometrischer Betrachtungen ermittelt (Ausbruchvolumen in Funktion des Tunnelradius, Erhaltungs- und Unterhaltsfläche in Funktion des Umfangs). Bei Rechteckprofilen lassen sich das Mindervolumen und die verminderte Unterhalts- und Erneuerungsfläche bei einer Dimensionierung auf Leichtverkehr ebenfalls mit einfacher Geometrie berechnen und liegen in einer ähnlichen Grössenordnung. Auch die Kapazitätsabminderung gilt sinngemäss. Es ist deshalb aus heutiger Sicht kein Grund ersichtlich, welcher gegen die Übertragbarkeit der in den obigen Unterkapiteln b) und c) gewonnen Erkenntnisse auf andere Tunnelbauwerke, Überdeckungen und Galerien spricht.

Berücksichtigung von Tunnelbauwerken in der heutigen Strassenrechnung:

Grundlagenstudie der ETH (1984): Ansatzweise diskutiert, aber nicht zur Berücksichtigung empfohlen. Damals verwendete Argumente sind aus heutiger Sicht nicht mehr vertretbar.

Grundlagenstudie der EPFL (2000): Nicht behandelt.

Fazit zu Tunnelbauwerken

Bei den Tunnelbauwerken ist die geringere Fahrzeughöhe (und –breite) und das Gewicht in hohem Masse kostenrelevant.

Auf Grund einer Abschätzung mit einfachen Annahmen bezgl. reduzierter Abmessungen, Kapazitätsabminderung und entsprechender Kostenfolgen (m2-, bzw. m3-Preise) lässt sich bei Tunnels der schwerverkehrsrelevante Anteil beim baulichen Unterhalt und bei der Erneuerung auf rund 25 – 35% beziffern, beim Neubau auf 40 –50%.

Am realen Beispiel des PW-Tunnels A86 in Paris lässt sich bei Tunnels anhand der „Kapazitäts-Analogie“ ein schwerverkehrsrelevanter Anteil für Neubau, Erneuerung und baulicher Unterhalt von rund 40% ableiten.

Im Sinne einer at-least-Betrachtung wird vorgeschlagen, die prozentualen Anteile eher bei den jeweils tieferen Werten anzusetzen: d.h. 30% bei baulichem Unterhalt und Erneuerung und 40% beim Neubau.

Die Übertragbarkeit dieser prozentualen Anteile auf anders geartete Tunnelbauwerke (Tagbautunnels, andere Profilformen, Überdeckungen und Galerien) erscheint zulässig.

Die wichtigsten Ergebnisse des Expertenworkshops zum Thema **schwerverkehrsbedingte Kostenanteile bei Tunnelbauwerken** (für die Ergebnisse im Detail vgl. Anhang C):

- › Die Volumen- bzw. Flächenlogik (Zusammenhang zwischen Strassenbaukosten und Ausbruchvolumen bzw. der zu sanierenden oder zu unterhaltenden Fläche der Tunnelwände und Fahrbahnen) ist unbestritten und das dominante Argument.
- › Die ausgewiesenen Prozentsätze werden als eher hoch, aber plausibel wahrgenommen.
- › Die Proportionalität von Kubaturen und Kosten muss in den Fallbeispielen der Phase II noch besser belegt werden.

4.5. ZUSAMMENZUG UND SYSTEMATIK

Die detaillierte Analyse der relevanten Auswirkungen als Folge des hypothetischen Falls „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ zeigt, dass die grundsätzliche Gliederung der Auswirkungen nach der primären Ursache (Fahrzeugdimensionen oder Fahrzeuggewicht) durchaus zweckmässig und einer transparenten Herleitung der schwerverkehrsrelevanten Kostenanteile förderlich ist. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, diese grundsätzliche Gliederung weiterzuführen und die einzelnen Kostenanteile mit Blick auf den Kontenplan und die Bearbeitung der

Fallbeispiele in Phase II besser zu systematisieren. Die folgenden Kapitel zeigen den gewählten Ansatz.

4.5.1. DIMENSION, GEWICHT UND DYNAMIK

Die Figur 6 auf der folgenden Seite zeigt den Ansatz, wie sich die schwerverkehrsrelevanten Auswirkungen gemäss Kapitel 4 sachlich bündeln und in insgesamt 5 quantifizierbare Kostenfaktoren zusammenführen lassen. Während sich die ersten drei Faktoren (Dimension/Dynamik) auf die Fahrzeugabmessungen und die (gewichtsabhängige) Fahrdynamik der Fahrzeuge beziehen, werden in den letzten beiden Faktoren ausschliesslich die gewichtsbedingten Auswirkungen (im Sinne der physikalischen Einwirkung auf die Infrastruktur), getrennt nach Fahrbahn und Kunstbauten, zusammengefasst (Gewicht I und II). Letztere beiden Kostenfaktoren widerspiegeln im Wesentlichen die derzeit in der Strassenrechnung konkret angewendete Methode basierend auf dem Kontenplan. Darin werden diejenigen schwerverkehrsrelevanten Aspekte abgedeckt, wie sie vor allem in der EPFL-Studie im Jahr 2000 und in weiten Teilen auch in der ETH-Studie 1984 untersucht wurden. Die in der Figur 6 aufgeführten Prozentsätze von 45%, 25% und 10% sind als Arbeitshypothesen zu verstehen, die im Rahmen der Phase II durch die Fallbeispiele geprüft, bzw. verifiziert werden.

Die ersten drei Faktoren (Dimension/Dynamik I, II und III) unterstreichen die aus der Analyse gemäss Kapitel 4 gewonnen Erkenntnisse, dass die Fahrzeugabmessungen und die Fahrdynamik einen substanziellen Einfluss auf die Ausgestaltung der Strasseninfrastruktur beinhalten. Namentlich in der ETH-Studie 1984 wurden verschiedene dieser Aspekte zwar diskutiert, flossen aber am Ende nicht in die Berechnung der schwerverkehrsbedingten Kostenanteile ein, dies in erster Linie wegen (damals) mangelnder Quantifizierungsmöglichkeiten. Ein weiterer möglicher Grund dafür könnte darin bestanden haben, dass der hypothetische Fall „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ vielleicht nicht präzise genug definiert und in aller Konsequenz zu Ende bearbeitet wurde.

SACHLICHE BÜNDELUNG DER RELEVANTEN AUSWIRKUNGEN IN 5 KOSTENFAKTOREN				
Schwere Motorwagen:	Leichte Motorwagen: (ohne Anhänger)	Relevante Auswirkungen:	Quantifizierung der Auswirkungen (Phase II) (Schwerverkehrsrelevanz bei Strassenkosten)	
<ul style="list-style-type: none"> - Breite: 2.55 m - Länge: 18.75 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Breite: 2.20 m - Länge: 7.00 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrbahn-/Strassenbreiten (inkl. Entwässerung) - Knotengrösse (Fläche) - Flächenbedarf/Landerwerb 	Dimension/Dynamik I (Breite und Kapazität) Strassenbreite/-fläche/-kapazität des Gesamtnetzes --> Globale Berücksichtigung der geringeren Fahrzeugbreite und der Kapazitätsabminderung auf dem gesamten Strassennetz (inkl. Kunstbauten), ev. differenziert nach Strassenkategorien X%, Y%, Z% Landerwerb --> Globaler %-Anteil X%, Y%, Z%	
<ul style="list-style-type: none"> - Höhe: 4.00 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Höhe: 3.00 m 	<ul style="list-style-type: none"> - Lichte Höhe bei Kunstbauten - Tunnelquerschnitt - Überkopf-Signalisation - Trassierung (Längenprofil) 	Dimension/Dynamik II (Höhe, Breite und Kapazität) Tunnelbauwerke --> Kosten-/Kapazitätsanalogie zu Fallbeispiel A86 --> Globaler %-Anteil Tunnelbauwerke A%	
<ul style="list-style-type: none"> - Gewicht: > 3.5 t 	<ul style="list-style-type: none"> - Gewicht: < 3.5 t 	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrdynamik - LF/Kapazität (Beschleunigungs-/Bremsverhalten) - in Steigungen - Lärmemissionen - Trassierungsparameter (v.a. Längsneigung Strasse) - BSA (v.a. Tunnel-Lüftung) - Passive Sicherheit - Ober- und Unterbau Fahrbahn - Konstruktion Kunstbauten (Nutzlasten) 	Dimension/Dynamik III (Höhe, Breite und Kapazität) Weitere Aspekte <ul style="list-style-type: none"> - Lärmschutzmassnahmen - Baustellen (Nationalstrassen) - Passive Sicherheit (Nationalstrassen) - Flexiblere, kosten-/umweltoptimiertere Trassierung - Kurvenverbreiterungen - Zusätzliche Fahrstreifen --> Quantitative Berücksichtigung offen Bx% By%	
<div style="text-align: center;">↓</div> Basis: VTS Anwendung: SN	<div style="text-align: center;">↓</div> Basis: VTS, SN Annahmen: aus SN Anwendung: SN		Gewicht I Fahrbahn (alle Strassenkategorien) <ul style="list-style-type: none"> - Baulicher Unterhalt 45% - Erneuerung/Ausbau 25% - Neubau 10% --> Fallbeispiele Projekte, Durchschnitt %-Anteil	
			Gewicht II Kunstbauten/NA (Fahrbahn und ev. Konstruktion) (alle Strassenkategorien) <ul style="list-style-type: none"> - Baulicher Unterhalt 45% - Erneuerung/Ausbau 25% - Neubau 10% --> Fallbeispiele Projekte, Durchschnitt %-Anteil	

Figur 6

Die Figur 7 gibt Erläuterungen zu den einzelnen Faktoren und referenziert sie mit den Erkenntnissen aus den Analysen gemäss Anhang B und Kapitel 4 und fasst die daraus resultierenden prozentualen Anteile des Schwerverkehrs an den Strassenkosten nochmals zusammen.

ERLÄUTERUNGEN ZU DEN FAKTOREN UND REFERENZIERUNG		
Faktoren	Erläuterungen	Referenz
X% Y% Z%	Dimensions- (= Flächen-) abhängiger Anteil des Bauwerks "Strasse Schweiz" unter der Annahme, dass dieses auf leichte Motorwagen ausgelegt würde. Die Anteile werden hergeleitet auf Basis der Normen zum Strassenentwurf (namentlich Geometrisches Normalprofil, Kurvenverbreiterung, Schleppkurven und Kapazitätsplanung) und ggf. getrennt nach Strassenkategorie ausgewiesen (X = Gemeindestrassen, Y = Kantonsstrassen, Z = Nationalstrassen).	Kapitel 4.4.2 Kapitel 4.4.4 a --> 20 - 40%
A%	Nebst einer generellen Abschätzung des schwerverkehrsrelevanten Anteils bei Tunnels bei Dimensionierung auf leichte Motorwagen ist der seit 2009 in Betrieb stehende Duplex-Tunnel A 86 in Paris ein taugliches Fallbeispiel für den hier verwendeten hypothetischen Ansatz. Auf Grund der Analyse kann durch Analogieschluss eine Aussage den schwerverkehrsbedingten Kostenanteilen bei Tunnelbauwerken, und sinngemäss auch bei auch Überdeckungen und Galerien, abgeleitet werden kann.	Kapitel 4.4.5 --> 30 - 40%
Bx% By%	Diese %-Anteile dienen vor allem als Platzhalter (Bx%) für weitere, zwar relevante, aber voraussichtlich schwer zu quantifizierende Aspekte, die ggf. in der Phase 2 vertieft werden könnten. Die bei den Nationalstrassen (Kunstabau/ Nebenanlagen) separat ausgewiesene Position BSA (By%) beinhaltet sämtliche el.-mech. Aspekte und Bauteile. Die bisherigen Analysen zeigen, dass dabei vor allem die Tunnel-Lüftung als schwerverkehrsrelevant einzuschätzen ist. Eine entsprechende Berücksichtigung von By% in A% könnte sich aufdrängen.	Kapitel 4.4.4 b - e, g --> Lärmschutz: 70% --> Zusatzstreifen: 100% --> ev. weitere
45% 25% 10%	Diese schwerverkehrsrelevanten %-Anteile bei den Konten baulicher Unterhalt, Erneuerung/ Ausbau und Neubau sind gewichtsabhängig im Sinne der physikalischen Einwirkung auf die Infrastruktur und wurden in der Vorstudie zur Prüfung, bzw. zur Überprüfung, vorgeschlagen und sind in der anstehenden Phase II mit Fallbeispielen (realisierte Projekte) zu verifizieren. Diese Prozentsätze werden auf die um die Faktoren X/ Y/ Z/ A verminderten Gesamtkosten angewendet; richtigerweise wird sich der Gesamtprozentsatz je Konto dann also wie folgt berechnen: $X\% + (1-X\%)*45\%$, $Y\% + (1-Y\%)*25\%$ etc.	Kapitel 4.4.4 f Prozentsätze durch Fallbeispiele zu verifizieren

Figur 7

4.5.2. ÜBERTRAGUNG IN DEN KONTENPLAN

Die Figur 8 zeigt die Eingliederung der definierten Kostenfaktoren in den für die vorliegende Studie massgebenden Kontenplan. Daraus ist nochmals gut ersichtlich, dass sich der prozentuale Anteil der Kosten für den Schwerverkehr für praktisch jedes Detailkonto (Matrixfeld) aus einem Dimensions-/Dynamik-Faktor (grün, bzw. violett) und einem rein gewichtsabhängigen Faktor (rot) zusammensetzt. Für die Position „Diverses“ bei der Nationalstrasse wird vorderhand davon ausgegangen, dass diese proportional zu den übrigen Kosten für Kunstbauten / Nebenanlagen verteilt werden (getrennt für baulichen Unterhalt, Erneuerung / Ausbau und Neubau – analoge Behandlung wie z.B. Löhne etc.).

Die Figur entspricht damit auch dem **Hauptergebnis der Phase I**, welches im Rahmen des Expertenworkshops bestätigt wurde.

KOSTENFAKTOREN UND KONTENPLAN									
Untersuchungsspektrum Phase II zu %-Anteilen		An Fahrbahnen			Lander- werb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			
		Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau	
Gemeindestrassen		X% + 45%	X% + 25%	X% + 10%	X%	X% + 45%	X% + 25%	X% + 10%	} ev. + Bx%
Kantonsstrassen		Y% + 45%	Y% + 25%	Y% + 10%	Y%	Y% + 45%	Y% + 25%	Y% + 10%	
Nationalstrassen		Z% + 45%	Z% + 25%	Z% + 10%	Z%				
Trassee									
Brücken/Kunstbauten						Z% + 45%	Z% + 25%	Z% + 10%	
BSA						By%	By%	By%	
Tunnels						A% + 45%	A% + 25%	A% + 10%	
Diverses						Prop.	Prop.	Prop.	

Figur 8

Gleichzeitig stellt die Figur 8 auch die Grundlage dar, um die anstehende Phase 2 des Projekts konkreter zu definieren und namentlich die dabei zu untersuchenden Fallbeispiele in Zahl und Inhalt vorzuschlagen (s. nachfolgendes Kapitel 4.6).

4.5.3. WESENTLICHE UNTERSCHIEDE ZUR BISHERIGEN METHODIK DER STRASSENRECHNUNG

Die in den vorherigen beiden Kapiteln hergeleiteten prozentualen Anteile basieren auf einer sehr breiten Analyse des aktuellen Normenwerks zur Strassen- und Bauwerksplanung. Es wird dabei versucht, zumindest im aktuellen Projektstadium die ursächlichen Aspekte des Schwerverkehrseinflusses möglichst spezifisch auszuweisen.

Die wesentliche Erkenntnis dabei ist, dass die heutige Methode den schwerverkehrsrelevanten Einfluss sehr eng fasst und ihn praktisch auf die physikalische Einwirkung des Gewichts auf die

Infrastruktur reduziert. Dies erscheint mit dem heutigen Stand des Wissens und auf Grund der heutigen Realität nicht mehr vertretbar und auch nicht mehr zeitgemäss. Schwere Motorwagen sind nicht nur schwerer, sondern auch breiter, länger, höher und träger als leichte Motorwagen und letztere Eigenschaften sind in der heutigen Strassenrechnung praktisch vernachlässigt.

Hier setzen auch die vorliegenden Analysen und Vorschläge an und erheben den Anspruch, die schwerverkehrsrelevanten Anteile der Strassenkosten umfassend auszuleuchten und auch quantitativ zu erfassen. Der heutige gewichtsabhängige Anteil nimmt dabei weiterhin eine wichtige Rolle ein; er wird aber unter anderem ergänzt durch weitere Anteile als Folge der grösseren Fahrzeugabmessungen und der Kapazitätsabminderungen im Strassennetz durch schwere Motorwagen.

Entscheidend dabei ist die konsequente Anwendung des hypothetischen Falls „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ im Wissen darum, dass dieser Fall nicht mit der Realität verglichen werden kann, sondern ausschliesslich als zielführender Modellansatz für die Untersuchung der vorliegenden Fragestellung dient.

4.6. HERLEITUNG DES STICHPROBENUMFANGS FÜR DIE DETAILANALYSE

4.6.1. KOSTENRELEVANZ DER KONTEN

Im Folgenden wird untersucht, in welchen Konten der Strassenrechnung besonders hohe bzw. tiefe Kosten anfallen. Die Tabelle 2 zeigt, welcher Anteil der Kosten in allen zu untersuchenden Konten auf die einzelnen Konten entfällt. Grundlage dieser Tabelle bilden eine Spezialauswertung der detaillierten Daten aus der Ausgabenrechnung 2004-2009.²⁹ Insgesamt fielen in diesem Zeitraum durchschnittlich Kosten von 3'519 Mio. CHF pro Jahr in den relevanten Konten an. Die Tabelle teilt diese Kosten auf und zeigt Folgendes:

²⁹ Die Grundlagedaten dazu haben wir vom BfS erhalten. Bei den Nationalstrassen liegen die detaillierten Zahlen nur für 2007 vor (aus INFRAS/Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung). Die Aufteilung auf die Detailkonten basiert darauf, das Total der Nationalstrassen jedoch auf den Zahlen 2004-2009, wobei zu beachten ist, dass ab 2008 aufgrund des neuen Finanzausgleichs (NFA) Anpassungen vorgenommen wurden.

ANTEILE DER KOSTEN AN DEN KOSTEN IN DER AUSGABENRECHNUNG DER STRASSEN-RECHNUNG 2004-2009

		An Fahrbahnen			Landerwerb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			Total
		Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau	
Gemeindestrasse		3.2%	8.8%	0.7%	0.5%	0.6%	3.0%	0.4%	17.2%
Kantonsstrassen		6.0%	12.1%	3.3%	1.0%	0.7%	4.1%	2.8%	30.0%
Nationalstrassen	Trasse	3.8%	5.2%	3.5%	0.5%				13.0%
	Brücke / Kunstbauten					4.7%	3.0%	3.2%	11.0%
	Betriebs- und Sicherheits-ausrüstung					2.5%	1.6%	1.8%	6.0%
	Tunnel					1.2%	3.0%	14.3%	18.5%
	Diverses					0.9%	1.5%	2.0%	4.4%
Total		13.1%	26.1%	7.5%	2.0%	10.7%	16.1%	24.5%	100.0%
Total			46.6%		2.0%		51.4%		

Tabelle 2

- › Insgesamt entfallen 53% der Kosten auf die Nationalstrassen, 30% auf die Kantonsstrassen und 17% auf die Gemeindestrassen.
- › Die Kosten an Kunstbauten und Nebenanlagen betragen gut die Hälfte der gesamten Kosten (51%), diejenigen an Fahrbahnen knapp die Hälfte (47%), die Kosten des Landerwerbs sind hingegen sehr gering (2%).
- › Bei den Kosten von Fahrbahnen entfällt gut die Hälfte auf Erneuerung und Ausbau, während der Neubau nur etwas weniger als einen Sechstel der Kosten verursacht. Bei den Kunstbauten hingegen ist der Neubau für 48% der Kosten verantwortlich, für Erneuerung / Ausbau und den baulichen Unterhalt verbleibt somit nur 31% bzw. 21%.
- › Interessant ist auch, dass die Nationalstrassen bei Fahrbahnen und Landerwerb lediglich 20% bis 29% der Kosten verursachen (Ausnahme Neubau mit 47%), während sie bei den Kunstbauten 87% der Kosten ausmachen (Ausnahme Erneuerung / Ausbau 56%). Das hängt damit zusammen, dass Kunstbauten vor allem bei Nationalstrassen nötig und sinnvoll sind (hohes Tempo, kleine Kurvenradien, grosse Verkehrsmengen) und die offenen Strecken der Gemeinde- und Kantonsstrassen viel länger sind als die Nationalstrassen. Neubauten finden offenbar vor allem auf Nationalstrassen statt oder sind dort besonders teuer.
- › Die wichtigste Kosten (bzw. Zelle der Tabelle) ist der Neubau von Nationalstrassen-Tunnels mit 14%, gefolgt von Erneuerung und Ausbau von Kantonsstrassen mit 12%.
- › Mehrere Kosten erreichen jedoch nur weniger als 2% der Kosten (in Tabelle hervorgehoben) und sind damit potenzielle Kandidaten für das Zusammenlegen von Kosten.
- › Die Kosten des kleinen baulichen Unterhalts, der bei den Betriebskosten erfasst wird, aber mit demselben Verteilungsschlüssel verteilt werden soll wie der bauliche Unterhalt an Fahrbahnen erhöht den Anteil dieser Kosten von 3.2% auf 5.0% (Gemeindestrassen), von 6.0% auf 7.3%

(Kantonsstrassen) bzw. von 3.8% auf 4.7% (Nationalstrassen), d.h. die Erhöhung beträgt bei den Gemeindestrassen 54% und bei den anderen beiden Strassentypen ca. 23%.

Aufgrund der Analyse der schwerverkehrsrelevanten Dimensionierungsschritte (Kapitel 4 und Anhang B) einerseits und der Bedeutung der einzelnen Konten gemäss obigen Ausführungen andererseits erscheint das Zusammenlegen einzelner Matrixfelder zwecks rationeller Bearbeitung in der Phase 2 vertretbar. Folgende Aggregierung wird vorgeschlagen: Bei umrandeten Konten erscheint es vertretbar, dass Erkenntnisse aus Fallbeispielen vom einen auf das andere Konto übertragen werden können. Für umrandete und durchgestrichene Konten sind unseres Erachtens keine Untersuchungen mit Fallbeispielen erforderlich.

ANTEILE DER KOSTEN AN DEN KOSTEN IN DER AUSGABENRECHNUNG DER STRASSENRECHNUNG 2007								
	An Fahrbahnen			Landerwerb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			Total
	Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung / Ausbau	Neubau	
Gemeindestrasse	3.2%	8.8%	0.7%	0.5%	0.6%	3.0%	0.4%	17.2%
Kantonsstrassen	6.0%	12.1%	3.3%	1.0%	0.7%	4.1%	2.8%	30.0%
Nationalstrassen	3.8%	5.2%	3.5%	0.5%				13.0%
Trasse					4.7%	3.0%	3.2%	11.0%
Brücke / Kunstbauten								
Betriebs- und Sicherheitsausrüstung					2.5%	1.6%	1.8%	6.0%
Tunnel					1.2%	3.0%	14.3%	18.5%
Diverses					0.9%	1.5%	2.0%	4.4%
Total	13.1%	26.1%	7.5%	2.0%	10.7%	16.1%	24.5%	100.0%
Total		46.6%		2.0%		51.4%		

Tabelle 3

4.6.2. VORSCHLAG STICHPROBENUMFANG DER FALLBEISPIELE

Nach der Aggregierung gemäss Tabelle 4 werden für die erforderliche Anzahl der Fallbeispiele pro Konto folgende Regeln mit Bezug zu dessen prozentualer Bedeutung in der Strassenrechnung angewendet:

- › (Aggregierte) Konten < 2.5%: 3 Fallbeispiele
- › Konten zwischen 2.5 und 4.5%: 4 Fallbeispiele
- › Konten zwischen 4.5 und 10%: 5 Fallbeispiele
- › Konten > 10%: 6 Fallbeispiele

ANZAHL DER ZU UNTERSUCHENDEN FALLBEISPIELE JE (AGGREGIERTEM) KONTO								
Anzahl vorgesehene Fallbeispiele in Phase II	An Fahrbahnen			Lander- werb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			
	Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau	
Gemeindestrassen	4	5	4	0	3	4	4	
Kantonsstrassen	5	6				4		
Nationalstrassen	4	5	4					
Trassee								
Brücken/ Kunstbauten					5	4	4	
BSA					3	3	3	
Tunnels					3	4	6	
Diverses					0			

Tabelle 4

Somit wird eine Gesamtzahl von **87 Fallbeispielen** vorgeschlagen, wovon 48 auf Nationalstrassen und 39 auf Kantons- und Gemeindestrassen.

4.7. REPRÄSENTATIVITÄT DER STICHPROBE UND HOCHRECHNUNG AUF DIE SCHWEIZ

Wird in den Fallbeispielen weiter differenziert als in den Konten der Strassenrechnung (gemäss Tabelle 4

) – z.B. wenn der schwerverkehrsbedingte Kostenanteil an Fahrbahnen wegen des Frostschutzarguments (vgl. Abschnitt 4.4.4, Ziffer f) von der Höhenlage abhängt – müssen die differenzierten Ergebnisse auf die Konten der Strassenrechnung aggregiert werden. Dazu ist eine Hochrechnung der Ergebnisse auf die Schweiz bzw. eine Gewichtung der differenzierten Ergebnisse nötig, um einen **repräsentativen Gesamtdurchschnitt pro Konto der Strassenrechnung** bilden zu können. Wird hingegen in den Fallbeispielen nicht weiter differenziert als in der Strassenrechnung, so können die Ergebnisse der Fallbeispiele direkt für die einzelnen Konten angewendet werden.

Gemäss den bisherigen Erläuterungen sind gegenüber den Konten der Strassenrechnung folgende weiteren Differenzierungen von Interesse:

› **Verschiedene Typen von Kunstbauten** (Brücken, Unterführungen, Galerien und Stützbauwerke, bei den Kantons- und Gemeindestrassen auch Tunnels): Die schwerverkehrsbedingte Kostenanteile könnten für Brücken, Unterführungen, Galerien, Stützbauwerke und Tunnels unterschiedlich hoch sein. Entsprechend müssten die Ergebnisse für die verschiedenen Typen der

Kunstabauten gewichtet werden, um einen Durchschnitt für das Konto Kunstbauten und Nebenanlagen zu bilden. Für Kunstbauten gibt es in MISTRA Daten zu Wiederbeschaffungswerten. Diese könnten für die Gewichtung von Neubauten sowie Ausbauten der verschiedenen Kategorien von Kunstbauten verwendet werden. Für den baulichen Unterhalt dürfte jedoch die Streckenlänge der verschiedenen Kunstbauten ein geeigneterer Gewichtungsparameter sein als die Wiederbeschaffungswerte.

- › **Höhenlage:** Der Aufbau des Ober- und Unterbaus der Fahrbahn hängt vom Gewicht ab. Ab einer Höhenlage von ca. 700 M.ü.M. sind jedoch aufgrund des zusätzlich nötigen Frostschutzes andere Kostenfolgen zu erwarten. Für die Gewichtung der Ergebnisse über bzw. unter ca. 700 M.ü.M. muss deshalb die Länge des Strassennetzes entsprechend aufgeteilt werden. Dies ist gemäss Auskunft des ASTRA mit Hilfe von MISTRA möglich (differenziert nach National-, Kantons- und übrigen Strassen).
- › **Innerorts / ausserorts:** Gemäss Abschnitt 4.4.2 könnte es sinnvoll sein, den Prozentsatz für Strassenminderbreite im Falle einer Dimensionierung nur auf den Leichtverkehr bei den Kantons- und Gemeindestrassen nach innerorts und ausserorts zu differenzieren. Innerorts wird möglicherweise aufgrund der engen Platzverhältnisse häufiger weniger breit gebaut als ausserorts (im Vergleich zu den Vorgaben der Normen). Gemäss Auskunft des ASTRA kann das ASTRA mit MISTRA nur auf dem Nationalstrassennetz zwischen inner- und ausserorts differenzieren. Für die Kantons- und Gemeindestrassen könnte eine Abschätzung über das nationale Personenverkehrsmodell oder über das TomTom-Strassennetz (vollständiger, aber auch aufwändiger) erfolgen, wobei die zulässige Höchstgeschwindigkeit für die Zuteilung verwendet wird ($\leq 60 \text{ km/h}$ = innerorts, $> 60 \text{ km/h}$ = ausserorts).³⁰

Zudem wurden in Abschnitt 4.4.4 für die folgenden zusätzlichen Faktoren Überlegungen angestellt:

- › Kosten des Lärmschutzes
- › Zusatzstreifen in Steigungen
- › Steigung der Strasse
- › Passive Sicherheit

Der Einfluss dieser zusätzlichen Faktoren wird zwar als gering oder vernachlässigbar eingestuft. Falls in Phase 2 trotzdem vertiefende Recherchen durchgeführt werden sollen, wird sich auch hier die Hochrechnungsfrage stellen.

³⁰ Dieses Vorgehen wird im Rahmen von Kosten-Nutzen-Analysen von Strassenprojekten verwendet, um die Veränderung der Fahrzeugkilometer auf innerorts und ausserorts zu differenzieren.

5. ALTERNATIVE METHODIK

5.1. ZIELE UND METHODE

Ziele der alternativen Methodik

Die alternative Methode ist keine Rückfallebene für den Fall, dass mit dem Expertenansatz keine befriedigenden Resultate ermittelt werden können. Das Ziel der alternativen Methodik ist vielmehr die Validierung der Ergebnisse, die mit dem inkrementellen Expertenansatz ermittelt werden. Die Alternativmethodik hat damit nicht denselben Stellenwert wie der Expertenansatz. Der Entscheid, ob eine solche Validierung mittels Alternativansatz durchgeführt wird oder nicht, soll am Ende von Phase I oder spätestens nach Vorliegen der Ergebnisse des Expertenansatzes getroffen werden.

Mögliche Methoden

Die beiden grundsätzlich möglichen alternativen Methoden sind in Kapitel 3 beschrieben worden:

- › Ökonometrische Analysen
- › Anwendung ausländischer Allokationsmethoden (v.a. D)
- › Spieltheoretische Verfahren

Wie in Abschnitt 3.5 festgehalten, steht in der vorliegenden Studie aus Gründen der Machbarkeit und des Aufwands der ökonometrische Ansatz als alternative Methodik im Vordergrund. Deshalb wird nur dieser Ansatz im Folgenden genauer beschrieben. Als Ergänzung wird eine Plausibilisierungsrechnung mit Allokationssätzen der deutschen Strassenrechnung gewürdigt.

5.2. ÖKONOMETRISCHER ANSATZ

5.2.1. AUSLEGEORDNUNG

Anwendung im EU-Forschungsprojekt UNITE

Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts UNITE wurden in einem Teilprojekt die Grenzkosten von Verkehrsinfrastrukturen ermittelt (Deliverable 10, Marginal Infrastructure Costs). Dazu wurde eine Reihe von Fallstudien durchgeführt. Im Bereich der Strasse waren es Fallstudien zu

Deutschland, Österreich, Schweden und der Schweiz, in denen die Grenzkosten der Strasseninfrastruktur ermittelt wurden.

Die Schweizer Fallstudie, durchgeführt von INFRAS (,Road Econometrics – Case study motorways Switzerland‘, UNITE 2002), analysierte die Grenzkosten von Autobahnen. Dabei wurden zwei verschiedene Analysen durchgeführt:

- › Zum einen wurde eine ,time series analysis‘ durchgeführt, bei der kantonale Daten der BFS Strassenrechnung der Jahre 1985-1998 analysiert wurden. Dazu wurden die Infrastrukturausgaben für die drei Ausgabekategorien betrieblicher Unterhalt, baulicher Unterhalt sowie Erneuerung/Ausbau separat ausgewertet. Diese Infrastrukturkosten wurden mittels Regressionsanalysen kantonalen Verkehrsdaten gegenüber gestellt.
- › Zum anderen wurde eine ,road section analysis‘ durchgeführt, in der für 127 verschiedene Abschnitte des Nationalstrassennetzes bauliche Unterhaltskosten für vier Jahre (1997-2000) analysiert wurden. In der Regressionsanalyse wurde der Einfluss der Verkehrsdaten (Fzkm, Achslast(km), Btkm) auf die Infrastrukturkosten berechnet.

Als Resultat lieferte die Fallstudie durchschnittliche Infrastrukturgrenzkosten für PW und LKW (sowie insgesamt) in EUR pro Fzkm. Unterschiede zwischen LKW und PW wurden beim baulichen Unterhalt sowie bei Erneuerung/Ausbau identifiziert. So liegen z.B. die Grenzkosten für den baulichen Unterhalt beim Schwerverkehr bei 4.5-6.4 Rappen/Fzkm, bei Personenwagen dagegen nur bei etwa 0.21-0.28 Rappen/Fzkm, also ca. 20 Mal tiefer (vgl. auch Abschnitt 3.3 oben).

Für die Analyse des Zusammenhangs zwischen dem Schwerverkehr und den Infrastrukturkosten sind einerseits ökonomische Grundlagen zu den Kosten bzw. Ausgaben für die Strasseninfrastruktur notwendig und andererseits verkehrsstatistische Daten. Im nächsten Abschnitt wird aufgezeigt, welche Inputdaten denkbar sind und aus welchen Quellen diese möglicherweise bezogen werden können.

Mögliche Inputdaten

Grundsätzlich können für die ökonometrische Analyse Daten auf zwei verschiedene Arten analysiert werden:

1. *Zeitreihenanalyse*: Es werden Infrastrukturkosten und Verkehrsdaten unterschiedlicher Zeitpunkte miteinander verglichen, z.B. Daten aus verschiedenen Jahren.
2. *Strassenabschnittsanalyse*: Es werden örtlich differenzierte Daten zu Infrastrukturkosten und Verkehrsmengen analysiert. Dies können z.B. Daten zu einzelnen Strassenab-

schnitten, Gemeinden oder Kantonen sein. Das Vorgehen entspricht einer Art Querschnittsanalyse.

Je nach Datenverfügbarkeit können auch Analysen durchgeführt werden, die beide Elemente kombinieren, das heisst sowohl zeitlich als auch räumlich differenzierte Daten verwendet werden.

INPUTDATEN STRASSENKOSTEN		
Mögliche ökonomische Daten	Mögl. Differenzierung	Mögliche Datenquellen
Jährliche Bau- und Unterhaltskosten: Ausgaben gemäss Konten der Strassenrechnung: › Baulicher Unterhalt › Verbesserungen/Ausbau › (Neubau)	› je Kanton/ Region/ Gemeinde › je Abschnitt › Total, für versch. Jahre	Strassenrechnung BFS (Daten mit jährlichen Ausgaben)
Wiederbeschaffungswert von Strasseninfrastrukturen	› Je Abschnitt, Teilstück › Je Kanton, Gemeinde	Kantone, Städte/ Gemeinden (Tiefbauämter), ASTRA
Projektkosten: Ausgaben für konkrete Projekte für: › Baulichen Unterhalt › Verbesserungen/Ausbau › (Neubau)	› einzelne Bauprojekte › einzelne Teilstücke	Aus den Arbeiten zum Expertenansatz (s. Kap. 0) von ASTRA, Kantone/ Gemeinden; Alternativ: Sammlung neuer/zusätzlicher Daten

Tabelle 5

VERKEHRSLICHE INPUTDATEN		
Mögliche Verkehrsdaten	Mögl. Differenzierung	Mögliche Datenquellen
Fahrleistung: Fzkm	<ul style="list-style-type: none"> › Schwerverkehr › andere Fahrzeugkat. › Total Strassenverkehr (Gesamtfahrleistung) 	Verkehrsstatistik BFS, nationales Verkehrsmodell (ARE/UVEK)
Verkehrsleistung: tkm (Btkm)	<ul style="list-style-type: none"> › Schwerverkehr › andere Fahrzeugkat. › Total Strassenverkehr 	Verkehrsstatistik BFS, nationales Verkehrsmodell (ARE/UVEK)
Anzahl Fahrten (DTV, DWV) (oder: Fzkm pro Infrastruktur-km)	<ul style="list-style-type: none"> › Schwerverkehr › andere Fahrzeugkat. › Total Strassenverkehr (Gesamtfahrten) 	Automatische Strassenverkehrs-zählung ASTRA, Verkehrszählungen Kantone & Gemeinden; evtl. nationales Verkehrsmodell
Achslast: <ul style="list-style-type: none"> › Achslast-km (Fzkm * Achslast-Äquival.) › Achslast (Fz * Achslast-Äquivalente) 	<ul style="list-style-type: none"> › Schwerverkehr › andere Fahrzeugkat. › Total Strassenverkehr 	Verkehrsstatistik BFS (Gewichtserfassung: weigh in motion), Datengrundlagen UNITE
Anteil Schwerverkehr (in %) <ul style="list-style-type: none"> › Anteil am Total der Fahrten, Fahrleistung, Achslast, Verkehrsleistung, etc. 		s. oben
Belastungskategorie der Strassen gemäss VSS-Norm SN 640 986 ³¹	Gemäss VSS-Norm	Daten/Inventare von Bund (MISTRA), Kantonen & Gemeinden oder eigene Zusecheidung

Tabelle 6

Es ist das Ziel, den schwerverkehrsbedingten Anteil der Infrastrukturkosten für die **National-, Kantons- und Gemeindestrassen** differenziert zu ermitteln, weil zu erwarten ist, dass sich dieser Anteil je nach Strassentyp unterscheidet. Aus diesem Grund werden die ökonomischen Analysen für die drei Strassentypen (National-, Kantons- und Gemeindestrassen) differenziert durchgeführt. Das bedeutet, dass sämtliche Inputdaten differenziert nach Strassentyp vorliegen sollten. Selbstverständlich kann in einem ersten Schritt auch eine Analyse über sämtliche Strassentypen hinweg durchgeführt werden. Auf diese Weise kann auch die Stichprobenmenge erhöht werden.

Kostenseitig müssen die verschiedenen Ausgabekategorien der BFS Strassenrechnung berücksichtigt werden. Die Ermittlung der schwerverkehrsbedingten Kostenanteile interessiert in der vorliegenden Studie primär für die drei Ausgabekategorien **baulicher Unterhalt, Verbesse-**

³¹ Es gibt 6 Belastungskategorien: IA Erschliessungsstr. im Ortskern, IB Sammelstr. im Ortskern, IC Sammelstr. ausserhalb des Ortskerns, II Verbindungsstr., III Hauptverkehrsstr., IV Hauptverkehrsstr. & Hochleistungsstr.

rungen/Ausbau und Neubau. Allenfalls könnte zusätzlich auch der betriebliche Unterhalt analysiert werden. Dort spielt allerdings der Schwerverkehrsanteil eine untergeordnete Rolle.

Bei der Kategorie Neubau ist der Einfluss des Schwerverkehrs eher binär. Falls auf einem Strassenabschnitt Schwerverkehr durchfährt, dürften aufgrund der Dimensionierung und Ausgestaltung der Strasse Zusatzkosten anfallen. Verkehrt auf einer Strasse dagegen kein Schwerverkehr, entfallen diese Kosten. Unterschiedliche Schwerverkehrsanteile/-mengen spielen daher für die Höhe der Kosten voraussichtlich eher eine untergeordnete Rolle. Aufgrund dieses binären Zusammenhangs dürfte eine ökonometrische Analyse für die Kategorie Neubau eher nicht geeignet sein³². Der Fokus der ökonometrischen Analyse soll deshalb auf den Ausgabekategorien baulicher Unterhalt und Verbesserungen/Ausbau liegen.

Für die Analyse der Daten ist es wichtig, dass die ökonomischen und verkehrlichen Daten miteinander vergleichbar sind. Das heisst, sowohl ökonomische und verkehrliche Daten müssen jeweils entweder Gesamtwerte für einen Abschnitt oder eine Region darstellen oder aber normierte (kalibrierte) Werte, z.B. pro Kilometer Infrastruktur oder pro Querschnitt. Konkret heisst dies: Liegen Projektkosten für einen bestimmten Strassenabschnitt vor, müssen diese mit der Fahr- oder Verkehrsleistung (Fzkm, tkm) auf dem gesamten Abschnitt in Bezug gestellt werden, damit verschiedene Strassenabschnitte miteinander vergleichbar sind. Oder aber die Projektkosten werden in Kosten pro Kilometer oder Meter umgerechnet, damit sie entsprechend mit Verkehrsbelastungen (z.B. Anzahl Fahrzeuge, DTV) analysiert werden können.

Um eine solche Normierung der Daten vornehmen zu können, sind deshalb Daten zur **Strassenlänge** (je Abschnitt, Region, Kanton, Gesamtschweiz; je nach Art der ökonomischen Daten) notwendig. Grundlagen dafür können die Verkehrsstatistik des BFS sowie kantonale oder kommunale Daten sein.

Mögliche Analysemethoden

Die detaillierte Analysemethodik für die ökonometrische Analyse wird – falls die Alternativmethodik tatsächlich durchgeführt werden soll – zu Beginn der eigentlichen Berechnungsarbeiten festgelegt. Bereits jetzt kann aber eine Auslegeordnung möglicher Analysemethoden gemacht werden.

³² Beim Neubau spielen vor allem auch die Normen bezüglich Dimensionierung eine wichtige Rolle. Dieser Einfluss wird im Expertenansatz berücksichtigt und analysiert.

Grundsätzlich würden wir die ökonometrische Analyse mit Hilfe von Regressionsanalysen durchführen. Möglichen Inputdaten sind oben dargestellt worden. Denkbar sind verschiedene Typen von Regressionsanalysen, die sich vor allem bezüglich ihrer Komplexität unterscheiden:

- › *Einfache lineare Regression:* Bei der simpelsten Form der Regressionsanalyse wird eine erklärende (unabhängige) und eine abhängige Variablen verwendet. Im vorliegenden Fall würde die erklärende Variable aus Verkehrsdaten bestehen (z.B. Anteil Schwerverkehr oder Schwerverkehrsmenge) und die abhängige Variable aus Kostendaten (Infrastrukturkosten/-aufwände). Dieses Vorgehen macht für eine erste Analyse sicher Sinn. Für eine umfassende Analyse dürfte es aber nicht ausreichen, weil bei den verkehrlichen Daten neben einer Variablen für den Schwerverkehr idealerweise noch eine Variable für die Gesamtbelastung (alle Fahrzeugkategorien) beigezogen werden sollte.
- › *Multiple lineare Regression:* In diesem Fall werden mehrere erklärende Variablen verwendet, und deren Einfluss auf eine unabhängigen Variable untersucht. Dieses Vorgehen scheint sinnvoll, da die Infrastrukturkosten mutmasslich von mehreren verkehrlichen Faktoren abhängig sind (z.B. Gesamtverkehrsmenge und Schwerverkehrsmenge). Folgende Varianten von multiplen linearen Regressionen sind denkbar:
 - › die erklärenden Variablen sind rein verkehrlich (Verkehrsmenge, etc.)
 - › nebst Verkehrsdaten werden weitere erklärende Variablen beigezogen (z.B. Topographie, Klima, etc.).

Der Einbezug nicht-verkehrlicher Variablen ist grundsätzlich spannend, macht die Analysen aber aufwändiger (u.a. schwierige Datenbeschaffung) und vermindert tendenziell die Chance auf signifikante Resultate. Generell gilt: Je grösser die Anzahl erklärender Variablen, desto geringer die Freiheitsgrad und desto geringer die Wahrscheinlichkeit signifikanter Analyseergebnisse. Aus diesem Grund dürfte es Sinn machen, die Analyse mit zwei bis maximal vier erklärenden (verkehrlichen) Variablen durchzuführen.

- › *Nicht-lineare Regressionen:* Anstelle linearer Regressionen können auch andere, nicht-lineare Regressionen angewandt werden. Im Rahmen der UNITE-Fallstudie für die Schweiz wurde beispielsweise eine ln-Regression durchgeführt (d.h. logarithmierte Daten von Infrastrukturkosten und Verkehrsbelastung). Gängige Statistikprogramme erlauben die Anwendung unterschiedlicher Regressionsanalysen.

Das Modell hinter den Regressionsanalysen kann also z.B. folgendermassen lauten (Auswahl):

$$\text{Infrastrukturkosten}_{\text{Kostenkat.}} = f(\% - \text{Anteil Schwerverkehr})$$

$$\text{Infrastrukturkosten}_{\text{Kostenkat.}} = f(\text{Fzkm}_{\text{Schwerverkehr}})$$

$$\text{Infrastrukturkosten}_{\text{Kostenkat.}} = f(\text{Fzkm}_{\text{Schwerverkehr}}; \text{Fzkm}_{\text{tot}})$$

$$\text{Infrastrukturkosten}_{\text{Kostenkat.}} = f(\text{Fzkm}_{\text{Fz-Typ}}; \text{Btkm}_{\text{Fz-Typ}}; \text{Achslastkm}_{\text{Fz-Typ}}; \text{etc.})$$

Je nachdem, ob eine einfache oder eine multiple Regression angewandt wird, hat das Modell nur eine oder aber mehrere erklärende Variablen. Die Modellgleichung kann zudem linear sein ($I = a \cdot x + b \cdot y + c \cdot z$) oder aber nicht-linear, z.B. als Logarithmus-Funktion.

Für die Durchführung der Regressionsanalysen würden wir das Statistikprogramm SPSS (Version 15.0) verwenden, das wir bei ähnlichen Analysen bereits erfolgreich eingesetzt haben.

Die Analysen und Auswertungen können einerseits gesamthaft für alle Strassen und Kostenkategorien gemeinsam vorgenommen werden. In diesem Fall erhält man ein Gesamtergebnis für alle Strassen und Kostenarten. Andererseits können segmentierte Auswertungen vorgenommen werden:

- › nach Kosten-/Ausgabekategorie (baulicher Unterhalt, Verbesserungen/Ausbau)
- › nach Strassenkategorie (National-, Kantons-, Gemeindestrassen)
- › kombiniert: nach Strassen- und Kostenkategorie, d.h. es gibt $2 \times 3 = 6$ Subkategorien. Dieses Vorgehen wäre eigentlich ideal, um möglichst differenzierte Ergebnisse zu erhalten.

Mögliche Ergebnisse

Als Ergebnis der beschriebenen ökonomischen Analyse (Regressionsanalyse) erhält man in erster Linie einen quantitativen Zusammenhang zwischen Infrastrukturkosten und Verkehrsgrößen. Das Ergebnis sind typischerweise Grenzkosten (bzw. variable Kosten) je Fahrzeugkategorie, z.B.:

$$\begin{aligned} \text{Grenzkosten baulicher Unterhalt} &= x \text{ CHF pro Fzkm für LKW} \\ &y \text{ CHF pro Fzkm für PW} \end{aligned}$$

Aus Grenzkostendaten je Fahrzeugkategorie (z.B. CHF pro Fzkm oder Btkm oder Achslast-km) können zusammen mit den effektiven Verkehrsnachfragedaten der verschiedenen Fahrzeugkate-

gorien auf den Schweizer Strassennetzen deren gesamten Anteile an den Infrastrukturgrenzkosten berechnet werden.

Auf diese Weise könnten im Rahmen der ökonometrischen Analyse die Schwerverkehrsanteile an den verschiedenen Kostenkategorien je Strassentyp ermittelt und mit den entsprechenden Prozentwerten aus dem Expertenansatz verglichen werden.

5.2.2. MÖGLICHE VORGEHENSVARIANTEN

Zweckmässige Datengrundlagen

Die Auslegeordnung in Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigt das Spektrum möglicher Datengrundlagen für die ökonometrische Analyse auf. Allerdings zeigt sich rasch, dass nicht alle aufgelisteten möglichen Daten verfügbar sind. Insbesondere die Verfügbarkeit der Daten für Strassenkosten (Infrastrukturkosten/-ausgaben) ist beschränkt.

So sind Wiederbeschaffungswerte für Strasseninfrastrukturen nur punktuell verfügbar. Bei der Befragung der Experten aus den Kantonen und Gemeinden im Rahmen des Expertenansatzes wurde klar, dass umfassende Informationen zu Wiederbeschaffungswerten für einzelne Strassenabschnitte/-teilstücke nicht verfügbar sind. Auch das ASTRA hat für die Nationalstrassen keine solchen Daten zur Verfügung. Lediglich für Kunstbauten gibt es Daten zu Wiederbeschaffungswerten (in MISTRA), jedoch nicht für offene Strecken. In einer Studie des Fachverbandes ‚Infrastruktur Strasse‘ (Koch, Forster 2010) wird der gesamte Wiederbeschaffungswert je Strassentyp genannt, allerdings nicht differenziert nach Region oder Abschnitt. Aufgrund der sehr dürftigen Datenlage eignet sich der Wiederbeschaffungswert nicht als Inputgrösse für die ökonometrische Analyse. Damit bleiben noch zwei mögliche ökonomische Inputgrössen:

- › *Projektdaten aus Expertenansatz*: Infrastrukturprojekte mit entsprechenden Kosteninformationen
- › *Daten aus der Strassenrechnung*: jährliche Ausgaben gemäss Konten der Strassenrechnung (Gesamtwerte oder nach Kantonen)

Mit diesen beiden Inputgrössen ist die ökonometrische Analyse grundsätzlich durchführbar. In der Folge werden die beiden Varianten kurz skizziert.

Variante 1: Auswertung der bestehenden Analysen

Diese Variante entspricht einem Minimalansatz, indem die Ergebnisse (Grenzkosten) der UNITE-Analysen für das Nationalstrassennetz umgerechnet werden in Anteile des baulichen Unter-

halts. Dies kann mit wenig Aufwand ohne neue Berechnungen vorgenommen werden und zur Validierung des Prozentsatzes verwendet werden, der aus dem Expertenansatz resultiert.

Variante 2: Projektdaten aus Expertenansatz

Für den Expertenansatz werden für eine grosse Zahl (voraussichtlich ca. 87) konkreter Infrastrukturprojekten (Unterhalt, Ausbau, Neubau) Kosteninformationen gesammelt und ausgewertet. Diese Informationen könnten auch für die ökonometrische Analyse verwendet werden.

Dabei würden die Infrastrukturkosten der 80-120 Fallbeispiele direkt als ökonomische Inputgrösse für die ökonometrische Analyse verwendet und mit entsprechenden Verkehrsdaten verglichen.

Für die Durchführung einer Regressionsanalyse sind Verkehrsdaten nötig, die den entsprechenden Infrastrukturkosten gegenübergestellt werden können. Deshalb müssen für die konkreten Strassenabschnitte aller Fallbeispiele Verkehrsdaten gesammelt werden. Als Quellen denkbar sind einerseits Daten aus Verkehrszählungen (z.B. Automatische Strassenverkehrszählung des ASTRA oder kantonale und kommunale Verkehrszählungen) und andererseits Informationen zur Belastung der entsprechenden Strassenabschnitte aus Verkehrsmodellen (primär aus dem nationalen Verkehrsmodell). Wenn immer möglich sollten Verkehrszählungen vorgezogen werden. Falls im näheren Umfeld der entsprechenden Fallbeispiele keine Zählstellen verfügbar sind, muss auf Modelldaten zurückgegriffen werden.

Bei dieser Vorgehensvariante könnte die Frage der Stichprobengrösse kritisch sein. Die ca. 87 Fallbeispiele decken sowohl die verschiedenen Kostenkategorien (baulicher Unterhalt, Verbesserungen/ Ausbau, Neubau) als auch alle drei Strassenkategorien (National-, Kantons- und Gemeindestrassen) ab. Weil die verschiedenen Kostentypen sinnvollerweise nicht in der gleichen Regressionsanalyse untersucht werden, umfasst die Stichprobe je Kostenkategorie ca. 27-35 Beispiele (vgl. Tabelle 4). Diese Stichprobenzahl ist eher klein, könnte aber noch genügend gross sein, um sinnvolle und signifikante Ergebnisse zu erhalten. Werden die drei Strassenkategorien ebenfalls separat analysiert – was eigentlich das Ziel ist – bleiben lediglich noch 9-13 Beispiele je Kategorie. Diese Stichprobenzahl ist mit Sicherheit zu klein, um statistisch einigermaßen verlässliche Aussagen machen zu können. Zudem wird im Expertenansatz auch zwischen Fahrbahnen und Kunstbauten unterschieden, was die Stichprobengrösse nochmals reduzieren würde.

Für die Nationalstrassen wurde aufgrund konkreter, abschnittsweiser Kosten im Rahmen des Forschungsprojekts UNITE bereits eine ökonometrische Analyse vorgenommen (Case Study

Switzerland, Teil ‚road section analysis‘), allerdings nur für die baulichen Unterhaltskosten. Dafür war die Stichprobe mit insgesamt 424 Kostendaten sehr gross. Die Ergebnisse jener UNITE-Fallstudie (Infrastrukturgrenzkosten je Fahrzeugkategorie) könnten bei dieser Variante deshalb zusätzlich beigezogen werden.

Variante 3 Kantonale Daten Strassenrechnung

Als zweite Variante für die ökonometrische Analyse kommen Daten aus der Strassenrechnung des BFS in Frage. In der Strassenrechnung werden die jährlichen Ausgaben für Bau und Unterhalt ausgewiesen und dabei u.a. die Kostenkategorien baulicher Unterhalt und Verbesserungen/ Ausbau (sowie Neubau) separat dargestellt. Die entsprechenden Daten sind für alle drei Strassenkategorien (National-, Kantons-, Gemeindestrassen) sowie nach Kantonen differenziert verfügbar. Die entsprechenden Daten liegen für sämtliche Jahre zwischen 1994 und 2009 vor.

Insgesamt sind damit für jede der sechs (2x3) Strassen- und Kostenkategorien 416 (16 Jahre x 26 Kantone) Datensätze verfügbar. Damit hat diese Variante den Vorteil, dass sich die Analyse auf einer sehr grossen Stichprobe abstützen kann.

Für die Gemeindestrassen werden entsprechende Kostendaten je Gemeinde vom Schweizerischen Städteverband publiziert (Statistisches Jahrbuch des Schweizerischen Städteverbandes), die ebenfalls auf der Strassenrechnung des BFS basieren. Die veröffentlichten Gemeindedaten umfassen Informationen zu gut 150 Schweizer Städten. Die Daten sind allerdings weniger stark differenziert als in der Strassenrechnung, d.h. die Kostenkategorien sind stärker aggregiert (Neubau/ Erneuerungen/ Ausbau; Unterhalt/ Verwaltung). Die entsprechenden differenzierten Daten (Neubau; Erneuerungen/ Ausbau; baulicher Unterhalt) sollten jedoch beim BFS verfügbar sein (*Verfügbarkeit beim BFS angefragt*).

Andere räumlich differenzierte Kostendaten (z.B. nach Strassenabschnitten) sind aus der Strassenrechnung nicht verfügbar.

Eine Herausforderung stellt die Ermittlung analoger Verkehrsdaten dar. Kantonale Daten zum gesamten Verkehrsaufkommen (Menge, Fahrleistung, etc.) nach Fahrzeugkategorien sind nur schwierig verfügbar. Daten zur Strassenlänge nach Kantonen (und nach Strassenkategorie) sind in der Verkehrstatistik des BFS zwar verfügbar, nicht aber zum kantonalen Verkehrsaufkommen. Entsprechende Daten müssten aus einem Verkehrsmodell gezogen werden, z.B. aus dem nationalen Verkehrsmodell des UVEK bzw. ARE. Die Verfügbarkeit von kantonalen Verkehrsdaten (differenziert nach Fahrzeugkategorie) muss mit den zuständigen Fachleuten des ARE

noch überprüft werden (*Verfügbarkeit beim ARE angefragt*). Entsprechende Daten aus dem Verkehrsmodell sind aber sicher nicht für die letzten 15-20 Jahre verfügbar, sondern nur für einzelne Zeitpunkte. Um die Kostendaten aus der Strassenrechnung der letzten 16 Jahre nutzen zu können, müssten die entsprechenden kantonalen Daten mit Hilfe der Verkehrsentwicklung je Fahrzeugkategorie für die letzten 20 Jahren abgeschätzt werden. Dieses Vorgehen ist zwar sehr grob, wurde aber bereits in der UNITE-Fallstudie angewandt. Alternativ können für die Analyse auch nur einige ausgewählte Jahre verwendet werden.

Vergleich der Varianten

- › Der Vorteil der Variante 1 liegt darin, dass er ohne signifikanten Mehraufwand einen spezifischen Beitrag zur Validierung leisten kann, allerdings nur punktuell für den Prozentsatz der Unterhaltskosten für die Nationalstrassen.
- › Der Vorteil der Variante 2 liegt darin, dass die Kostendaten im Rahmen des Expertenansatzes bereits gesammelt werden und daher nicht separat erhoben werden müssen. Allerdings liegen die Infrastrukturkostendaten auch bei der Variante 2 bereits vor. Es fällt also bei beiden Varianten kein Erhebungsaufwand für die Kostendaten mehr an. Weil bei der Variante 1 Daten einzelner Abschnitte verwendet werden, dürften die Unterschiede zwischen den einzelnen Datensätzen relativ gross sein, was für die Analyse ein Vorteil ist. Ein gewichtiger Nachteil liegt dagegen in der kleinen Stichprobe. Für eine Gesamtanalyse über alle Strassen- und Kostenkategorien ist die Stichprobe sicher ausreichend. Für eine differenzierte Analyse sind die entsprechenden Teil-Stichproben eher zu klein; zumindest pro Kostenkategorie sollte eine Auswertung jedoch machbar sein.
- › Der Vorteil der Variante 3 liegt einerseits darin, dass dieses Vorgehen im Rahmen des EU-Forschungsprojekts UNITE bereits erprobt wurde (Case Study Switzerland, Teil 'time series analysis'), allerdings nur für Nationalstrassen. Ein weiterer Vorteil dieses Vorgehens liegt in der sehr grossen Stichprobe. Zudem liegen die ökonomischen Daten nach Kantonen (sowie Kosten- und Strassenkategorie) bereits vor. Eine Schwierigkeit der Variante 2 könnte die Verfügbarkeit verlässlicher kantonomaler Verkehrsdaten darstellen. Es ist zudem unsicher, wie stark die Daten der verschiedenen Kantone streuen, d.h. ob damit statistisch valide Ergebnisse zu erzielen sind.

5.3. VALIDIERUNG MIT WEGEKOSTENRECHNUNG D

Eine andere Möglichkeit zur Validierung besteht darin, die Allokationsmethodik der deutschen Wegekostenrechnung (Prograns/IWW 2002) anzuwenden. Die folgende Figur zeigt den im Expertenbericht dargestellten Vorschlag.

ALLOKATIONSSCHLÜSSEL DER WEGEKOSTENRECHNUNG D						
<div> <div>Allokations- prinzip</div> <div>Bauelemente</div> </div>		Proportional zu verteilende Kosten (linear nach Fahrleistung)	System- spezifische Kosten (Pkw & sonstige)	System- spezifische Kosten (Lkw ≥ 12 t)	Kapazitäts- abhängige Kosten (Äquivalenz- Ziffern)	Gewichts- abhängige Kosten (AASHO)
Grunderwerb					100	
Erdbau/ Entwässerung	Neubau				100	
	Erhalt				100	
Tragschichten	Neubau			73	27	
	Erhalt					100
Binder- schichten	Neubau			100		
	Erhalt					100
Deckschich- ten	Neubau				100	
	Erhalt					100
Tunnel	Neubau	45		5	50	
	Erhalt	80		20		
Brücken	Neubau			15	85	
	Erhalt			15	85	
Ausrüstung	Neubau	33			67	
	Erhalt	33			67	
Äste, Knoten	Neubau	15	20	15	50	
	Erhalt	15		10	40	35
sonstige Ing.-Bauwerke	Neubau	33			67	
	Erhalt	33			67	

Figur 9

Im Vergleich zu anderen Ländern kann die deutsche Methode als die am weitesten entwickelte ausländische Methode bezeichnet werden. Basis für die Festlegung der einzelnen Werte ist ebenfalls in erster Linie ein Expertenansatz. Die einzelnen Bauelemente unterscheiden sich allerdings im Vergleich zur Schweizerischen Strassenrechnung. Ebenfalls anders sind die Fakto-

ren für die Verteilung der schwerverkehrsbedingten Ansätze. Die deutsche Wegekostenrechnung verwendet Äquivalenzziffern und AASHO-Faktoren.

Mithilfe dieser Informationen ist eine grobe Umrechnung auf die Schweiz möglich, um - insbesondere für Nationalstrassen – eine Grössenordnung im Vergleich zum Expertenansatz bzw. im Vergleich zu heute zu erhalten.

6. UMSETZUNGSVORSCHLAG FÜR PHASE II

6.1. EXPERTENANSATZ

6.1.1. HINWEISE ZUR INHALTLICHEN BEARBEITUNG

Die Fallbeispiele haben den Zweck, den hypothetischen Fall „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“ an konkreten Projekten durchzurechnen und dadurch eine aussagekräftige Stichprobe für jedes einzelne Konto zu erhalten. Die ursprüngliche Absicht war dabei, vor allem die gewichtsabhängigen Bau-, Erneuerungs- und Unterhaltskosten zu eruieren und die entsprechenden prozentualen Anteile für die untersuchten Projekte einzeln auszuweisen. Dieses Ziel bleibt unverändert und dient weiterhin dazu, die (physikalischen) Gewichts-Faktoren an Fahrbahnen und an Kunstbauten / Nebenanlagen zu überprüfen und zu verifizieren.

In Anbetracht der breiteren Sichtweise auf die schwerverkehrsrelevanten Strassenkosten wäre es allerdings wünschenswert, die Fallbeispiele zusätzlich und vor allem hinsichtlich der Abmessung der Fahrzeuge zu analysieren (Breite, Länge und Höhe). Kapitel 6.1.3 enthält hierzu einen Vorschlag. Die kapazitätsbezogenen Aspekte (Kapazitätsabminderungen im Strassennetz auf Grund der schweren Motorwagen) eignen sich demgegenüber nicht zur Analyse im Rahmen der Einzelprojekte. Hierzu könnte eine netzweite oder gebietsweise Betrachtung der Leistungsfähigkeiten, beispielsweise in Funktion des Schwerverkehrsanteils, durchgeführt werden. Auf Felderhebungen ist im Rahmen dieses Projekts aus Aufwandgründen zu verzichten. Vielmehr wird vorgeschlagen, gezielte Recherchen zu Kapazitätsabminderungen im Strassennetz als Folge des Schwerverkehrsanteils durchzuführen (Literatur, Studien, Experten).

6.1.2. ZUGESICHERTE FALLBEISPIELE

Bis zum heutigen Zeitpunkt (Versanddatum des Zwischenberichts) sind die verbindlichen Rückmeldungen des ASTRA sowie der Stadt Zürich über die Zahl der zur Verfügung gestellten Fallbeispiele und Angaben über die Möglichkeiten, diese mit eigenen Ressourcen in der Phase 2 zu bearbeiten, noch ausstehend.

Bestätigte Zahl der zur Verfügung gestellten Fallbeispiele

Seitens der angefragten **Kantone** Bern, Zürich, Uri und Jura konnten insgesamt **38 Fallbeispiele** (abgeschlossene Projekte) angegeben werden, die für die Untersuchung in Phase 2 zur Verfügung gestellt werden könnten. Diese verteilen sich gemäss Figur 10 auf die verschiedenen Konten.

Anzahl vorgesehene Fallbeispiele in Phase II Zugesicherte Fallbeispiele	An Fahrbahnen			Lander- werb	An Kunstbauten und Nebenanlagen			
	Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau		Baulicher Unterhalt	Erneuerung/ Ausbau	Neubau	
Gemeindestrassen	4	5				4		Verbindliche Antwort Stadt Zürich ausstehend
Kantonsstrassen	5 3	6 9	4 7	0	3 4	4 7	4 5	
Nationalstrassen	4	5	4 1					Verbindliche Antwort ASTRA ausstehend
Trassee								
Brücken/ Kunstbauten					5	4	4 1	
BSA					3	3	3	
Tunnels					3	4	6 1	
Diverses						0		

Figur 10

Die Verteilung der verfügbaren Fallbeispiele auf die einzelnen Matrixfelder zeigt, dass damit die erforderliche Zahl für die Kantonsstrassenkonten gut erreicht werden kann.

Bei 24 (von 38) Fallbeispielen haben die Kantone zugesichert, dass sie diese mit den entsprechenden Vorgaben intern oder mit eigenen Ressourcen bearbeiten können. Die verbleibenden 14 Fallbeispiele werden zwar zur Verfügung gestellt (Schlussabrechnung, Projektbeschrieb/-Pläne), die Bearbeitung muss aber durch eine externe Stelle erfolgen und auch finanziert werden.

Mündliche Auskünfte seitens der **Stadt Zürich** deuten darauf hin, dass rund **10 – 15 Fallbeispiele** auf Gemeindestrassen zur Verfügung gestellt werden können, eine Bearbeitung mit eigenen Ressourcen aber für maximal 10 Projekte erfolgen kann (von erforderlichen 13).

Seitens des **ASTRA** wurde signalisiert, dass zwar die erforderliche Zahl von 48 Projekten zur Verfügung gestellt werden kann, deren Beschaffung muss aber durch die ARGE direkt bei den Filialen erfolgen und es können keine personellen Ressourcen für die Bearbeitung zur Verfügung gestellt werden. Inwiefern das ASTRA bereit wäre, die Bearbeitung der eigenen Fallbeispiele durch externe Stellen selbst zu finanzieren, ist noch nicht geklärt.

Für die Abschätzung des Aufwands zur **Bearbeitung der Fallbeispiele ausserhalb der Verwaltungsstellen** wird angenommen, dass auf Gemeinde- und Kantonsstrassen je 5 Projekte selber bearbeitet werden müssen und auf Nationalstrassen deren 48, gesamthaft also **58 Projekte**. Damit resultiert für die Zahl der Fallbeispiele folgende **Gesamtbilanz**:

- › Die gemäss Tabelle 4 benötigte **Gesamtzahl** von 87 für die Auswertung zur Verfügung gestellten Fallbeispielen dürfte voraussichtlich erreicht bzw. leicht übertroffen werden.
- › Anders sieht es bezüglich **Bearbeitung der Fallbeispiele durch die Verwaltungsstellen** aus:
Sollwert: 87
Ist: 29 (exkl. ASTRA)
Ist: 77 (inkl. ASTRA)

Damit fehlen für die Phase 2 personelle und/oder finanzielle Ressourcen für 10 (ohne ASTRA-Projekte), bzw. 58 Fallbeispiele (mit ASTRA-Projekten). Umgerechnet auf den zu erwartenden Bearbeitungsaufwand für einen erfahrenen Bauingenieur von rund 1.5 Tagen pro vorhandenem Fallbeispiel sowie der Beschaffung derselben entspricht dies einem substanziellen Mehraufwand, welcher für die Phase 2 zusätzlich vorzusehen ist.

6.1.3. BEARBEITUNG DER FALLBEISPIELE

Die Bearbeitung der 87 Fallbeispiele bezweckt primär und wie ursprünglich beabsichtigt, die **gewichtsabhängigen Faktoren des Fahrbahnaufbaus** (Ober- und Unterbau) anhand der Projektabschlussrechnungen zu bestimmen, bzw. zu verifizieren (Neubau (10%), Erneuerung und Ausbau (25%), baulicher Unterhalt (45%) für die drei Strassenkategorien). Dabei wird beabsichtigt, vorgängig möglichst klare Vorgaben in Form einer Bearbeitungshilfe zu erstellen, welche den Verwaltungsstellen abgegeben wird und eine einheitliche Berechnung der gewichtsabhängigen Kosten pro Projekt sicherstellen soll. Ein besonderer Vertiefungspunkt gilt der Dimensionierung auf Frost. Hierzu werden Fallbeispiele in unterschiedlicher Höhenlage hinsichtlich des Strassenaufbaus miteinander verglichen und die Relevanz mittels einer Betrachtung über das gesamte Schweizer Strassennetz (Verschnitt bei 700 m.ü.M.) abgeschätzt.

Der **dimensions- und flächenabhängige Anteil** des Bauwerks „Strasse Schweiz“, welcher sich auf Grund der Mehrbreite der schweren gegenüber den leichten Motorfahrzeugen ergibt und netzweit auf rund 15 - 25% geschätzt wurde, lässt sich sinnvollerweise ebenfalls anhand der obigen Fallbeispiele verifizieren. Auf Grund der Projektbeschriebe/-pläne kann die Minderbreite/-fläche basierend auf der entsprechenden Norm (geometrisches Normalprofil SN 640 201/202) und für die verschiedenen Strassenkategorien bestimmt werden. Es wird vorgeschlagen, für die 9 Fahrbahnkonten je 1 - 2 Projekte und bei den Kunstbauten gesamthaft etwa 5 Projekte, vorzugsweise Brücken, in Bezug auf den Breiten-/Flächenminderbedarf auszuwerten.

Für die **Tunnelbauwerke** wird vorgeschlagen, die entsprechenden Fallbeispiele (13 für die Nationalstrasse) hinsichtlich des Querschnitts zu analysieren, um den geschätzten Faktor von 30 – 40% zu prüfen. Da die Anwendung dieses Faktors auch auf Tagbautunnels, Galerien und Überdeckungen vorgeschlagen wurde, sollten im Weiteren nach Möglichkeit zusätzlich 3 – 4 entsprechende Projekte auf Kantons- oder Gemeindestrassen analysiert werden.

Für die **übrigen schwerverkehrsrelevanten Aspekte**, namentlich Kapazitätsabminderung (5 – 15%), Lärmschutz (70%), Zusatzstreifen (100%) wird vorgeschlagen, gezielte Recherchen

durchzuführen zwecks Festigung (oder Widerlegung) der in Phase 1 aufgeführten Argumente. Nebst einer vertieften Literaturanalyse wird auch beabsichtigt, weitergehende Expertengespräche zu führen (Lärmschutz) oder entsprechende Studien (z.B. zum Einfluss des Schwerverkehrs auf die Strassenkapazität) zu konsultieren.

6.2. ALTERNATIVMETHODE

Die Ausführungen im Kapitel 5 haben gezeigt, dass die Alternativmethode keine Alternative, sondern eine Ergänzung zur Expertenmethode darstellt, zur Plausibilisierung und Validierung des Expertenansatzes. Priorität hat deshalb eine ausreichende Stichprobe beim Expertenansatz.

Entsprechend ergibt sich für die Alternativmethode eine gewisse Flexibilität bei der Auswahl, die auf Basis folgender Erwägungen:

- › Bei den ökonomischen Analysen ist es auf jeden Fall zweckmässig, die bestehenden Schätzungen im Rahmen des Forschungsprojekts UNITE für den Expertenansatz auszuwerten, dies mit minimalem Aufwand.
- › In Ergänzung dazu erscheint es sinnvoll, ebenfalls mit einem beschränkten Aufwand die Methode der Wegekostenrechnung D für Autobahnen zu applizieren.
- › Die weiteren ökonomischen Schätzungen (gemäss Varianten 2 und 3) können zurückgestellt werden. Grundsätzlich wäre hier Variante 2 (Schätzung auf Basis der Fallbeispiele) zu bevorzugen.

Insgesamt ergibt sich dadurch für die Alternativmethode in der Phase 2 ein Minderaufwand, der zur Finanzierung eines Teils des Mehraufwands für den Expertenansatz eingesetzt werden kann.

6.3. ZUSAMMENZUG VORSCHLAG PHASE II

6.3.1. FINANZBEDARF EXPERTENANSATZ

In der Offerte der ARGE wurde darauf hingewiesen, dass die definitive Disposition der Phase II nach Vorliegen der Ergebnisse aus der Phase I erfolgen soll. Die Erkenntnisse aus diesen Arbeiten und die weitgehende Bestätigung derselben durch die Experten anlässlich des Workshops vom 2. Mai 2012 führen dazu, dass die empirischen Untersuchungen für die Phase II thematisch breiter gefasst werden müssen. Die begrenzten Möglichkeiten der Verwaltungsstellen bei der Aufbereitung der Fallbeispiele führen zusätzlich dazu, dass die Phase II auch kostenseitig aktualisiert werden muss.

Die wesentlichen Arbeitsschritte und der resultierende Aufwand für die Phase II sind aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich. Arbeitsschritte, welche bereits in der ursprünglichen Offerte enthalten waren, sind kursiv hervorgehoben und werden im Total separat ausgewiesen.

VORGEHEN PHASE II: ARBEITSSCHRITTE UND AUFWAND METHODE 1 (EXPERTENANSATZ)			
Arbeitsschritt	Inhalt	Grundlagen	Aufwand in Tagen
<i>1. Vorgehensentscheid</i>	<i>Entscheid über:</i> › <i>Durchführung des Expertenansatzes gemäss Ergebnissen Phase 1 inkl. Expertenworkshop</i>	<i>1. Zwischenbericht, Entscheid Begleitgruppe</i>	<i>(0)</i>
<i>2. Festlegung der Fallbeispiele (Vorarbeiten wurden in Phase 1 bereits geleistet)</i>	› <i>Auswahl der Projekte, Komplettierung der Fallbeispiele auf Gemeindestrassen</i> › <i>Einholen verbindlicher Zusicherungen seitens Verwaltungsstellen</i> › <i>Finaler check bezgl. Repräsentativität</i>	<i>1. Zwischenbericht, Bestätigung Zusagen, Entscheid Begleitgruppe</i>	<i>(7)</i>
<i>3. Erstellen Arbeitshilfe zur Bearbeitung der Fallbeispiele</i>	› <i>Benötigte Grundlagen/Daten der Fallbeispiele, getrennt nach Fahrbahn/Kunstabauten</i> › <i>Anleitung zur Analyse gewichtsabhängiger Positionen in der Schlussabrechnung</i> › <i>Ansätze zur Dimensionierung auf Leichtverkehr</i> › <i>Mindestinhalte für abzugebende Ergebnisse</i>	<i>Erkenntnisse aus selbst bearbeiteten Fallbeispielen in Phase 1 und Methodikbericht</i>	<i>(8)</i>
<i>4a. Bearbeitung der Fallbeispiele extern (gewichtsabhängiger Teil)</i>	› <i>Gesamtprozessleitung Phase 2</i> › <i>Coaching der Verwaltungsstellen</i> › <i>Klärung/Diskussion von offenen Fragen/Spezialfälle</i>	<i>Arbeitsschritt 3</i>	<i>(10)</i>
<i>4b1. Interne Bearbeitung der Fallbeispiele auf GS/KS (gewichtsabhängiger Teil)</i>	› <i>Pro Fallbeispiel 1.5 Tage, Annahme 10 Fallbeispiele</i>	<i>Arbeitsschritt 3</i>	<i>15</i>
<i>4b2. Interne Bearbeitung der Fallbeispiele NS (ASTRA) (gewichtsabhängiger Teil)</i>	› <i>Beschaffung der Fallbeispiele ASTRA (Filialen)</i> › <i>Bearbeitung der Fallbeispiele Pro Fallbeispiel 1.5 Tage, Annahme 48 Fallbeispiele</i>	<i>Arbeitsschritt 3</i>	<i>4</i> <i>72</i>

VORGEHEN PHASE II: ARBEITSSCHRITTE UND AUFWAND METHODE 1 (EXPERTENANSATZ)			
Arbeitsschritt	Inhalt	Grundlagen	Aufwand in Tagen
4c. Bearbeitung Fallbeispiele bezgl. weiterer Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> › Minderbreite-/fläche (Fahrbahn) Ann.: 2.5 Std./Fallbeispiel, 25 Fallbeispiele › Mindervolumen (Tunnels etc.) Ann.: 2.5 Std./Fallbeispiel, 16 Fallbeispiele 	Arbeitsschritt 3	12
4d. Übrige schwerverkehrsrelevante Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> › Vertiefung Kapazitätsabminderung › Bearbeitung Spezialfragen (Lärmschutz, Zusatzstreifen, Frost, Stützmauern) 	1. Zwischenbericht, Entscheid Begleitgruppe	12
5. Zusammenführen der Ergebnisse, Analyse, Synthesebildung	<ul style="list-style-type: none"> › Qualitäts-/Vollständigkeits-Check externer Fallbeispiele › Ergebnis-Analyse, Aussagekraft, Sensitivität › Beurteilung/Begründungen hinsichtlich der Vorschläge zu den Faktoren aus Phase 1 	Ergebnisse aus obigen Arbeitsschritten	(10)
6. Dokumentation und Abschluss Phase 2	<ul style="list-style-type: none"> › Transparente Dokumentation der Phase 2 (Fallbeispiele, Ergebnisse, Überlegungen) › Inputpapier zuhanden Expertenworkshop und für Schlussbericht 	Ergebnisse/Dokumentation aus obigen Arbeitsschritten	(12)
7. Experten	<ul style="list-style-type: none"> › Expertenworkshop › Bilaterale Kontakte bei Spezialfragen 	Offerte	(7)
Total Tage Phase II für Expertenansatz <i>Budgetierter Aufwand gemäss Offerte</i>		169 Tage = ca. 227 kCHF <i>(53 Tage = 72 kCHF)</i>	
Total Mehrleistung/-aufwand Phase II gegenüber Offerte		115 Tage = ca. 154 kCHF	
Davon Aufwand für Selbstbearbeitung der Fallbeispiele - ASTRA - Kantone/Gemeinden		91 Tage = ca. 122 kCHF 76 Tage = ca. 102 kCHF 15 Tage = ca. 20 kCHF	
Davon Mehraufwand aufgrund methodischer Vertiefung		24 Tage = ca. 32 kCHF	

Tabelle 7 Kosten exkl. MWST

› Der grösste Teil des Mehraufwands gegenüber der Offerte für die Umsetzung der Expertenmethode ergibt sich durch den Umstand, dass für einen grösseren Anteil der Fallbeispiele die

Übernahme der Bearbeitungskosten durch die Verwaltungsstellen nicht vollständig übernommen wird (bzw. die Zusicherung ausstehend ist). In der ursprünglichen Offerte ist die ARGE davon ausgegangen, dass diese Kosten von den einzelnen Amtsstellen getragen werden. Die Finanzierungslücke beträgt 122 kfr. wovon 102 kfr. auf das ASTRA fallen.

- › 32 kfr. Mehraufwand ergibt sich durch den Umstand, dass der Expertenansatz umfassender ausgestaltet wird und neben den gewichtsabhängigen Kosten auch weitere Elemente wie Gröszen- und Kapazitätsabhängige Kosten einbezogen werden.

6.3.2. FINANZBEDARF ALTERNATIVMETHODE

In der folgenden Tabelle ist der Finanzbedarf dargestellt. Wir schlagen vor, auf die ursprünglich in der Offerte vorgesehenen Arbeitsschritte 3 bis 6 zu verzichten und stattdessen 10 Arbeitstage für eine grobe Umrechnung der Wegekostenrechnung D einzusetzen. Dieser Schritt könnte allenfalls auch erst in Phase III (parallel zur Simulation) abgewickelt werden

VORGEHEN PHASE II: ARBEITSSCHRITTE UND AUFWAND			
Arbeitsschritt	Inhalt	Grundlagen	Aufwand in Tagen
1. Vorgehensentscheid	Entscheid über: › Durchführung Alternativmethodik ja/nein › Falls ja: Auswahl der Vorgehensvariante & Begründung	Vorliegendes Kapitel des 1. Zwischenberichts, Entscheid Begleitgruppe	0
2. Auswertung der UNITE Fallstudien	› Ermittlung der schwerverkehrsbedingten Anteile Unterhalt Nationalstrassen	UNITE-Fallstudie	1
3. Konkretisierung Methodik ökonomische Analysen	› Auswahl der Variablen/ Indikatoren › Festlegung der Analysemethoden	Vorliegendes Kapitel 1. ZB, UNITE Fallstudie, weitere Literatur	(3)
4. Datenerhebung	› Prüfung Datenverfügbarkeit › Datensammlung: › ökonomische Daten › Verkehrsdaten › weitere erklärende Daten › Aufbereitung der Daten (insb. Verkehrsdaten)	BFS Strassenrechnung, Kostendaten aus Expertenansatz, UVEK Verkehrsmodell, Verkehrszählungen, etc.	(4)
5. Statistische Analysen	› Deskriptive Statistik, grafische Auswertung der Zusammenhänge/Daten › Durchführung der statistischen Analysen (Regressionen) › Berechnung der Kennwerte	Daten: s. oben; statistische Methoden, Statistikprogramm SPSS	(4)
6. Interpretation	› Interpretation der Ergebnisse der statistischen Analysen › Ermittlung resultierender Schwerverkehrsanteil › Vergl. mit anderen Ergebnissen (Expertenansatz, UNITE) › Folgerungen › Verfassen von Bericht	Ergebnisse aus obigen Arbeitsschritten, Ergebnisse Expertenansatz, andere Studien (u.a. UNITE, Wegekostenrechnung AUT)	(5)
7. Validierung mit Wegekostenrechnung D	› Anpassung Mengengerüst CH › Simulation	Heutiges Mengengerüst, Fallbeispiele	10
Total Tage Phase II für Alternativmethode			11 Tage = ca. 15 kCHF
<i>Budgetierter Aufwand gemäss Offerte</i>			<i>(16 Tage = 22.4 kCHF)</i>

Tabelle 8 (in Klammern: Zusatzaufwand für die ökonomische Analyse Fallbeispiele, in ursprünglicher Offerte berücksichtigt)
Kosten exkl. MWST

6.4. ZUSAMMENZUG

6.4.1. ARBEITSSCHRITTE UND BUDGET

Die folgende Tabelle zeigt unseren Vorschlag für die Phase II in der Gesamtschau:

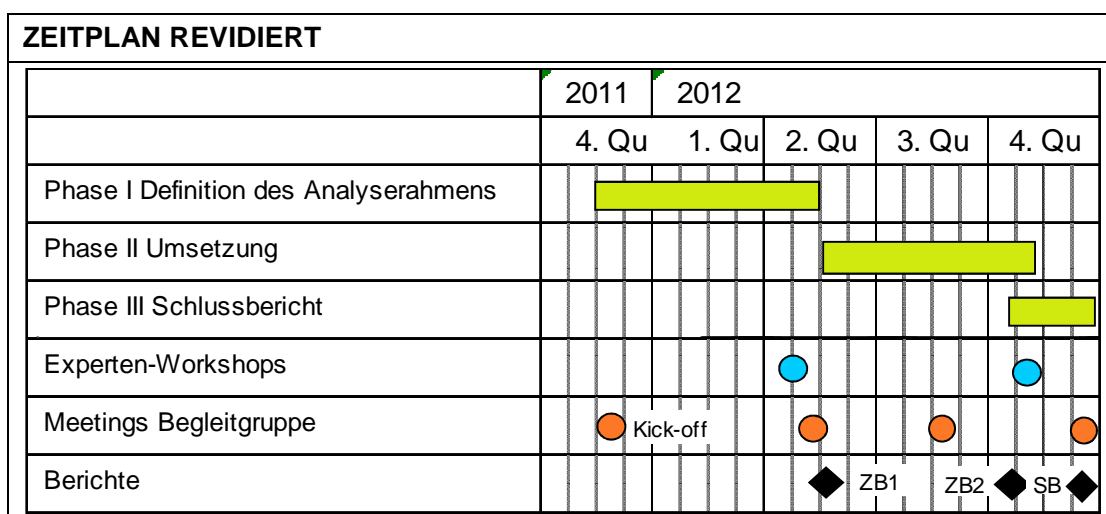
ARBEITSSCHRITTE UND BUDGET PHASE II		
	Tage	1'000 CHF
Expertenansatz		
1. Festlegung Fallbeispiele	7	9.5
2. Erstellen Arbeitshilfe zur Bearbeitung der Fallbeispiele	8	10.8
3. Bearbeitung der Fallbeispiele		
- externes Coaching	10	13.6
- interne Bearbeitung	15	20.3
- Berücksichtigung Grössen- elemente	76	102
- Bearbeitung Fallbeispiele bzgl. weiterer Faktoren	12	16
- Berücksichtigung übrige SV- relevante Aspekte	12	16
4. Zusammenzug, Synthese	10	13.4
5. Dokumentation	12	16
6. Beizug Experten	7	9.4
Alternativmethode		
7. Auswertung UNITE- Fallstudie	1	2
8. Simulation Wegekostenrech- nung D	10	13
Total		
Gesamttotal	180	242
Expertenansatz	169	227
Alternativmethode	11	15
Vergleich mit Offerte	69	94.4
Expertenansatz	53	72
Alternativmethode	16	22.4
Differenz:	+106	+147.6
Zusatzaufwand für Bearbeitung ASTRA-Fallbeispiele	76	102

Tabelle 9 Kosten exkl. MWST

Insgesamt resultieren Kosten von **CHF 242'000.- (exkl. MWST)**, wovon der grösste Teil für den Expertenansatz anfällt. Die Mehrkosten gegenüber der ursprünglichen Offerte von CHF 147'600 ergeben sich insbesondere durch den Umstand, dass – anders als angenommen – die Finanzierung der Bearbeitung der Fallbeispiele (ASTRA, Stadt Zürich) nicht gesichert ist.

6.4.2. ZEITPLAN UND AUSBLICK PHASE III

Die folgende Figur zeigt den Zeitplan. Gegenüber dem ursprünglichen Zeitplan gemäss Offerte beträgt der Rückstand ca. 1.5 Monate. Bei einer zügigen Auslösung der Phase II ist eine Projektrealisierung des Projekts bis Ende Jahr grundsätzlich möglich. Es ist sinnvoll, den Expertenworkshop nach Abschluss der Phase II durchzuführen. Die Kosten für den Expertenworkshop sind in Phase II berücksichtigt. Die folgende Figur zeigt den revidierten Zeitplan.



Figur 11

Gemäss heutigem Wissensstand sollte die Phase III gemäss den ursprünglichen Vorstellungen gemäss Offerte laufen.

6.5. ENTSCHEIDBEDARF

- › Absegnung Vorgehensvorschlag Expertenansatz
- › Finanzierung ASTRA für Fallbeispiele
- › Finanzierung verbleibender Mehraufwand (ansonsten Kürzung der Fallbeispiele)
- › Absegnung Vorgehensvorschlag Alternativmethode
- › Auslösung Phase II.

ANHANG A: KONTENPLAN DER STRASSENRECHNUNG

Die folgende Figur zeigt den detaillierten Kontenplan der Strassenrechnung, wie er in Zukunft verwendet werden soll. Dabei werden diejenigen Konten, die in der vorliegenden Studie relevant sind, gelb hervorgehoben.

Da es in der vorliegenden Studie darum geht, dem Schwerverkehr die Kosten, die er direkt verursacht auch direkt anzulasten noch drei Bemerkungen:

- › Die Sonderbewilligungen für Schwertransporte auf Nationalstrassen (Konto 8600) werden zu 100% dem Schwerverkehr (konkret dem Güterschwerverkehr) zugeordnet (vgl. Infrac / Ecoplan 2011³³).
- › Das Konto Schwerverkehrskontrolle und Management (Konto 1770) wird ebenfalls direkt dem Schwerverkehr zugeordnet (vgl. Infrac / Ecoplan 2011³⁴).
- › Die Unterkonten „Projektierung und Löhne“ für baulichen Unterhalt, Erneuerung / Ausbau und Neubau bei Nationalstrassen werden gemäss Infrac / Ecoplan (2011³⁵) entsprechend der Verteilung aller anderen Kosten für baulichen Unterhalt, Erneuerung / Ausbau und Neubau auf Nationalstrassen (je einzeln) verteilt.

Alle Punkte werden in diesem Bericht nicht mehr untersucht, da sie bereits in Infrac / Ecoplan (2011) so festgelegt wurden und eine Überprüfung nicht notwendig ist.

³³ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 152.

³⁴ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 146, wobei auch die Fahrleistung der Lieferwagen zu 10% berücksichtigt wird, da Lieferwagen manchmal überladen sind und dann auch zum schwerverkehr gehören.

³⁵ INFRAS / Ecoplan (2011), Zusatzstudien zur Transportrechnung, S. 152.

KONTENPLAN DER STRASSENRECHNUNG	
Kantons- und Gemeindestrassen	Nationalstrassen
Nr. Konto	Nr. Konto
11 Verwaltung 1110 Personal- und Sachaufwand 1163 Neubau, Ausbau, Landerwerb	11 Verwaltung 1110 Personal- und Sachaufwand
12 Betrieblicher Unterhalt 1220 An Fahrbahnen 1230 An Kunstbauten und Nebenanlagen 1234 Parkplätze 1238 Strassenbeleuchtung 1240 Parkhäuser 1250 Maschinen, Geräte und Fahrzeuge 1260 Werkhöfe und Magazine 1290 übriger betrieblicher Unterhalt 1243 Neubau, Ausbau, Landerwerb von Parkhäusern 1253 Anschaffungen Maschinen, Fahrzeuge 1263 Neubau, Ausbau, Landerwerb, Werkhöfe 1270 Verkehrssignalisation	8 Betrieblicher Unterhalt 8100 Globale allg. 8200 Kleiner baulicher Unterhalt allg. 8210 Bauliche Reparaturen 8220 Einzelmassnahmen Trasse u. Umgebung 8230 Einzelmassnahmen El.mech 8240 Einzelmassnahmen Kunstbauten 8250 Einzelmassnahmen Tunnels u. Geotechnik 83 Schadenwehren 8400 Naturgefahren 8600 Sonderbewilligungen SOBE (nur SV) 8700 Schulung & Instruktion 89 LVS Aufwand
13 Baulicher Unterhalt 1320 An Fahrbahnen 1330 An Kunstbauten und Nebenanlagen	Baulicher Unterhalt Trasse Brücke / Kunstbauten Betriebs- und Sicherheitsausrüstung Tunnel Diverses (Gebäude, Werkhöfe) Projektierung und Löhne
14 Erneuerung / Ausbau 1420 An Fahrbahnen 1430 An Kunstbauten und Nebenanlagen 1434 Parkplätze 1490 übrige Erneuerungen und Ausbauten	Umgestaltung = Erneuerung / Ausbau Trasse Brücke / Kunstbauten Betriebs- und Sicherheitsausrüstung Tunnel Landerwerb Diverses (Gebäude, Werkhöfe) Projektierung und Löhne
15 Neubau 1520 An Fahrbahnen 1530 An Kunstbauten und Nebenanlagen 1534 Parkplätze 1538 Strassenbeleuchtung 1590 übrige Neubauten 1580 Landerwerb 1570 Verkehrssignalisation	Netzfertigstellung = Neubau Trasse Brücke / Kunstbauten Betriebs- und Sicherheitsausrüstung Tunnel Landerwerb Diverses (Gebäude, Werkhöfe) Projektierung und Löhne
17 Polizeiliche Verkehrsüberwachung 1710 Personal- und Sachaufwand 1753 Anschaffungen Polizeifahrzeuge 1770 Schwerverkehrskontrolle u. Management 1763 Neubau, Ausbau, Landerwerb	17 Polizeiliche Verkehrsüberwachung 1710 Personal- und Sachaufwand 1753 Anschaffungen Polizeifahrzeuge 1770 Schwerverkehrskontrolle u. Management 1763 Neubau, Ausbau, Landerwerb
Für die vorliegende Studie relevante Konten gelb hervorgehoben.	

Figur 12

ANHANG B: DIMSIONIERUNGS- UND PROZESSCHRITTE

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Entwurf und Dimensionierung

Pos. Nr.			Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen							
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung	Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
	Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	PS	VP	DP	NS	KS	GS								
1	Festlegung Strassentyp mit <u>Grundbegegnungsfall</u> (LW/LW versus andere Begegnungsfälle)	640 040b bis 640 045	X	X		X	X	X	X	X	(X)	Ann.: Kosten im Strassen-/ Trasseebau sind ca. proportional zur Fahrbahn-/ Strassenfläche, bzw. -breite	x	x	x	
2	Festlegung der <u>Art von Querschnittselementen</u> für GNP (mit / ohne LW)	640 040b bis 640 045, 640 200a	(X)	X		X	X	X	X	X	(X)					
3	Festlegung der <u>Abmessungen der Querschnittselemente</u> für GNP bestehend aus LRP massgebender Verkehrsteilnehmer sowie Begegnungszuschläge und zusätzl. lichte Breite (für LW versus PW bzw. Lieferwagen LI); → Breiten-Mehrbedarf pro Fahrstreifen LW-PW = 0.90 m, LW-LI = 0.50 m	640 201, 640 202		X	X	X	X	X	X	X	(X)	Fahrbahn-/Strassenbreiten differieren 15 - 25%, Ann.: Kosten ca. proportional zu Strassenfläche/-breite	x	x	x	
4	LRP Strasse: <u>Lichte Höhe (LH)</u> in Tunnel, Über-/Unterführungen → Mehrbedarf LH: LW/PW (<i>ohne</i> Dachladung) = 2.20 m , LW/LI bzw. PW (<i>mit</i> Dachladung) = 1.00 m	640 201, 640 202	(X)	X		X	X	X	X	X	(X)	Lichte Höhe differiert ca. 25 - 60%, Ann.: Kosten Tunnel ca. proportional zu Ausbruchsquerschnitt	x	x	x	
5	<u>Verbreiterung der Fahrbahn in Kurven</u> : Ausgelegt bei HVS, RVS und HSS auf Kreuzen von LW / LW; → Mehrbedarf an Verbreiterung zwischen PW und LW im Bereich R = 30 bis 200 m: ca. 0.20 bis 1.50 m	640 105b		(X)	X		X	X	X	(X)		Mehrbreite v.a. in kurvigen Netzteilen durchaus relevant, Quantifizierung im gesamten Strassennetz aber kaum möglich	(x)	(x)		
6	Festlegung Ausbaugrössen (V_A , R_{min} , i_{max}): <u>Maximale Steigung</u> (mit / ohne LW)	640 080b, 640 110	X	X		X	X	(X)	X	X		Leichte Einschränkung bei der Flexibilität der Trasseewahl, Quantifizierung kaum möglich	(x)			
7	Elemente der vertikalen Linienführung, <u>maximale Steigung</u> ; die Richtwerte sind für V_A von 60-80 km/h auf LW ausgelegt und könnten für PW um → ca. 2% erhöht werden	640 110	X	X	(X)		X		X	X						
8	<u>Zusatzstreifen in Steigungen</u> (ehemals "Kriechspuren") an AS, HVS und RVS a.o.; Entscheid erfolgt durch Vergleich V_{LW}/V_{PW} bzw. V_P und durch Berücksichtigung von %LW (inkl. PW mit Anhänger) und MSV → Zusatzstreifen in Steigungen voll zu Lasten des Schwerverkehrs	640 138b		X	(X)	(X)	X		X	X		Anteil der Strassenfläche von Zusatzstreifen im Gesamtnetz bezogen auf Gesamtstrassenfläche müsste erhoben werden	(x)	(x)	(x)	
9	<u>Knotengeometrie</u> : Knoten in einer Ebene ohne und mit Kreisverkehr; <u>Flächenmehrbedarf für Befahrbarkeit</u> mit / ohne LW - Fahrstreifenbreiten in Knoten → Mehrbedarf analog Pos.-Nr. 3 - Flächenbeanspruchung beim Ein- / Abbiegen (Schleppkurven) → Mehrbedarf über ca. 50% - Abmessungen Kreiseldurchmesser/Kreisfahrbahn (Schleppkurven)	640 262, 640 263, 640 271a		(X)	X		X	X	X	(X)		Flächenmehrbedarf in Knoten ist v.a. im kommunalen Netz substanziell. Gleichzeitig wird im kommunalen/innerstädtischen Netz aber auch stärker von den Normbreiten für Fahrstreifen abgewichen. Ann.: Mehr- und Minderflächen zwischen Pos. 3	x	x	x	

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Entwurf und Dimensionierung

Pos. Nr.			Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung					
			PS	VP	DP	NS	KS	GS								
10	<u>Wendeanlagen: Flächenmehrbedarf für Befahrbarkeit mit / ohne LW</u> → Mehrbedarf ca. 100%	640 052			X			X	X		X	Anteil der Strassenfläche von Wendeanlagen bezogen auf das gesamte kommunale Strassennetz müsste erhoben werden	(x)	(x)	(x)	
11	<u>Verkehrstechnische Dimensionierung freie Strecke: Mehrbedarf an Fahrbahnen/ -streifen</u> infolge Leistungsabminderung durch LW Leistungsfähigkeit (LOS E), jeweils aus Vergleich von Anteil LW ≤ 5% und 15 bis 25% (von i<2% bis i>4%, bzw. 7%) - HLS 2x2 -10% bis -21% (Richtung) - HLS 2x3 -12% bis -21% (Richtung) - HVS/RVS 0 bis -26% (Querschnitt)	640 018a, 640 020a UVEK/ASTRA-Nr. 1090 UVEK/ASTRA-Nr. 1286	(X)	X		X	X		X	X		Kapazitätsminderung durch Schwere Motorwagen ist substanziell und liegt bei NS und KS netzweit bei rund 5 - 15%. Ann.: Kapazitätsminderung = Mehrbedarf an Fahrstreifen-Kapazität = proportional höhere Kosten (?)	x	x	x	
12	<u>Passive Sicherheit: Anforderungen an Rückhaltesysteme mit / ohne LW</u> → Mehrkosten für das Aufhalten von LW werden auf ca. 2% der Baukosten geschätzt (Basis: Strassen- Neubau)	640 560 - 640 569			X	X	(X)		X	X	X	Anteil passive Rückhaltesysteme an gesamten Neubaukosten NS sind im Vergleich zu anderen Aspekten eher gering und allenfalls vernachlässigbar	x	(x)		

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Geotechnik und Grundbau

Pos. Nr.			Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung					
	Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	PS	VP	DP	NS	KS	GS								
1	<u>Lebensdauer von Bauteilen</u> : Unterbau (Untergrund, Verbesserter Untergrund) und Oberbau (Übergangsschicht, Foundationsschicht, Tragschicht, Binderschicht, Deckschicht) --> Verkürzung der Lebensdauer durch die Belastung durch den Schwerverkehr. --> Grundsätzlich wird die Lebensdauer aber bei der Dimensionierung immer mitberücksichtigt.	VSS 1226	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Grundannahmen zur Lebensdauer der einzelnen Bauteile finden sich in der jeweiligen Strategie des Erhaltungsmanagements. VSS 1226 gibt hierzu grobe Angaben	-	-	-	
2.0	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus: Äquivalente Verkehrslast</u> : Ermittlung der Verkehrslast aufgrund der Anzahl und Gewichte der Fahrzeuge: die Last einer Referenzachse beträgt 8.16 to und entspricht einem Äquivalenzfaktor 1.0, eine Achslast von 1.5 to entspricht einem Äquivalenzfaktor von 0.0017 --> Der Äquivalenzfaktor wird massgeblich durch den Anteil des Schwerverkehrs bestimmt.	640 320, Ausgabe 2011-08	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Verkehrszusammensetzung und Schwerverkehrsanteil sind Eingangsgrössen für die Dimensionierung und die Wahl des Strassenaufbaus gem. Pos.-Nr. 2.1 - 2.5	x	x	x	
2.1	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus</u> : Unterbau (Untergrund, Verbesserter Untergrund) und Oberbau (Übergangsschicht, Foundationsschicht, Tragschicht, Binderschicht, Deckschicht), Bestimmung der Stärke und Materialwahl von Unterbau und Oberbau (Belag) aufgrund der unter Pos. 1 festgelegten Werte --> die Stärke von Unterbau und Oberbau ist massgeblich durch die Verkehrslast des Schwerverkehrs beeinflusst. Für die nachfolgenden Betrachtungen wird von einer Verkehrslastklasse von T1 für Leichte Motorwagen und von T4 für Schwere Motorwagen (häufigster Fall) ausgegangen.	640 324, Ausgabe 2011-08	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Ann.: VLK T1 für Leichte Motorwagen, T4 für Schwere Motorwagen	x	x	x	
2.2	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus: Unterbau (Untergrund, Verbesserter Untergrund)</u> : Verbesserungen der Tragfähigkeit des Unterbaus: die notwendige Verstärkung der Foundationsschicht bei einer Tragfähigkeitsklasse S1 gegenüber S2 mit einem ungebundenen Gemisch beträgt für die Verkehrslastklasse T1 150 mm und für eine Verkehrslastklasse von T4 200 mm (Vergrösserung um 33%)	640 324, Ausgabe 2011-08, 640 490	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Ann.: Gesamtstärke des Strassenkörpers verhält sich proportional zu den Strassenkosten	x	(x)	(x)	
2.3	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus: Oberbau, Foundationsschicht</u> : die notwendige Dicke der Foundationsschicht bei einer Verkehrslastklasse von T1 beträgt für den Oberbautyp 1 (Asphaltschichten auf ungebundenem Gemisch) 300 mm gegenüber	640 324, Ausgabe 2011-08	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Ann.: Gesamtstärke des Strassenkörpers verhält sich proportional zu den Strassenkosten	(x)	x	x	

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Geotechnik und Grundbau

Pos. Nr.	Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausstattung					
			PS	VP	DP	NS	KS	GS								
2.4	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus: Oberbau, Tragschicht (und Binderschicht)</u> : die notwendige Dicke der Tragschicht bei einer Verkehrslastklasse von T1 beträgt für den Oberbautyp 1 (Asphaltschichten auf ungebundenem Gemisch) 40 mm gegenüber 140 mm für die Verkehrslastklasse von T4 (Vergrösserung um 350%)	640 324, Ausgabe 2011-08, 640 430b	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Ann.: Gesamtstärke des Strassenkörpers verhält sich proportional zu den Strassenkosten (s. auch Pos.-Nr. 2.7)	(x)	x	x	
2.5	<u>Dimensionierung des Strassenaufbaus: Oberbau, Deckschicht</u> : die notwendige Dicke der Deckschicht ist für die Verkehrslastklasse T1 und T4 gleich und beträgt für den Oberbautyp 1 (Asphaltschichten auf ungebundenem Gemisch) 30 mm.	640 324, Ausgabe 2011-08, 640 430b	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Keine Relevanz	-	-	-	
2.6	<u>Materialqualität des Oberbaus (Tragschicht, Deckschicht, Binderschicht)</u> : die Wahl der Mischguttypen (Materialqualität: L, N, S, H) ist durch den Schwerverkehr beeinflusst. Im Durchschnitt wird für die Verkehrslastklasse T1 der Mischguttyp L verwendet, für die Verkehrslastklasse T4 der Mischguttyp S. Die Kostenrelevanz kann vernachlässigt werden.	640 430b	-	-	X	X	X	(X)	X	(X)	-	Vernachlässigbar	-	-	-	
2.7	Einfluss des Frostes auf die Dimensionierung des Oberbaues: Nur bei frostempfindlichen Böden und ab Höhen von ca. 700 m ü.M. (in Abhängigkeit der Besonnung) wird für die Oberbaustärke die Frostdimensionierung massgebend. Die verschiedenen Oberbaustärken von T1 für PW und T4 für die Belastung mit Schwerverkehr sind dann nicht mehr relevant (sofern Untergrund nicht ausreichend wasserdurchlässig ist).	640 324, Ausgabe 2011-08, 670 140b, Ausgabe 2001-06	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Relevant auf dem Strassennetz, welches oberhalb einer H.ü.M von 700 m liegt. Pos.-Nr. 2.3 und 2.4 sind in diesen Lagen vernachlässigbar.	(x)	x	x	
3	<u>Ausnahmetransportroute</u> : Beeinflussung der Stärke von Unterbau und Oberbau sowie der Strassenbreite und der Lichtraumprofilhöhe: Ausnahmetransportroute vom Typ I: 480 to Gesamtgewicht, Durchfahrtsbreite 6.50 m, lichte Höhe 5.20 m, Achslast max. 30 to -> Dimensionierung ca. Verkehrslastklasse von T5.	Strassenverkehrsgesetz, Kantonale Übersichtspläne	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Dieser Aspekt wird ausgeblendet, da er auch bei der Dimensionierung auf Leichte Motorwagen in analoger Weise auftreten würde (Ausnahmetransporte für Leichtverkehr). Anstatt T5 für T4 würde dann bspw. T3 für T1 gewählt mit analogen Folgen	-	-	-	

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Geotechnik und Grundbau

Pos. Nr.		Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0			
				Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt
				Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung				
				PS	VP	DP	NS	KS	GS							
4		<u>Strassenentwässerung</u> : Dimensionierung der Entwässerungsleitungen, Anzahl Strassenabläufe: Die Anzahl der Strassenabläufe ist direkt proportional zur Strassenfläche (ca. 1 Strassenablauf pro 300 m2). Grössere Leitungsdurchmesser von Transportleitungen: unter der Annahme einer 20 % grösseren Strassenfläche resultiert für die Leitungsdurchmesser der Transportleitungen ein um eine Stufe grösserer Leitungsdurchmesser (z.B. Ø 500 mm anstelle von Ø 400 mm) -> Die Mehrkosten für die Transportleitungen bewegen sich in der Grössenordnung von ca. 10 %.	640 340, 640 350, 640 353, 640 356, 640 357, SIA 190	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Ann.: Auswirkungen verlaufen analog wie bei den Strassenbreiten, bzw. den Strassenbaukosten/m2	x	x	
4.1		<u>Behandlung des anfallenden Regenabwassers von Strassen</u> : -> ob das anfallende Regenabwasser behandelt werden muss, ist durch den Schwerverkehr beeinflusst. Gemäss der Wegleitung BUWAL ist eine Behandlung zwingend ab einer Belastung von 14 Bewertungspunkten entsprechend einem DTV von 14'000 notwendig. Der Güterverkehr fliesst bei einem Anteil von > 4 % mit 1 Bewertungspunkt, und bei einem Anteil von > 8 % mit 2 Bewertungspunkten in die Berechnung ein.	Gewässerschutzgesetz, Wegleitung BUWAL 2002 „Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen“	-	(X)	X	X	X	(X)	X	(X)	-	Behandlung des Abwassers ja oder nein mit Folgekosten bei SABA. Einfluss des Schwerverkehrs max. 5 - 15%	(x)	-	
4.2		<u>Strassenabwasserbehandlungsanlage SABA, Havariebecken, Ölrückhaltebecken</u> : -> der Typ, die Behandlungsart und die Grösse einer Anlage kann nicht eindeutig einer Beeinflussung durch den Schwerverkehr zugeordnet werden.	Gewässerschutzgesetz, Störfallverordnung, StFV, ASTRA: Ausgabe 2008 V2.00 Sicherheitsmassnahmen gemäss Störfallverordnung bei Nationalstrassen	-	(X)	X	X	X	-	X	(X)	-	Bei der Festlegung des SABA-Typs kaum Einfluss des Schwerverkehrs. Bei der Frage der Notwendigkeit einer SABA hingegen schon (S. 4.1)	-	-	
4.3		<u>Spezielle Massnahmen im Bereich von Grundwasserschutzzonen</u> : Abdichtungen, etc. -> die Art der Massnahmen kann nicht eindeutig einer Beeinflussung durch den Schwerverkehr zugeordnet werden.	Gewässerschutzgesetz, Schutzzonenverordnungen, Störfallverordnung StFV, ASTRA: Ausgabe 2008 V2.00 Sicherheitsmassnahmen gemäss Störfallverordnung bei Nationalstrassen	-	(X)	X	X	X	X	X	(X)	-	Vernachlässigbar	-	-	
5		<u>Lärmschutz an Strassen</u> : Lärmemissionen und Lärmschutz - LW sind rund 10-15x lauter als PW (+10 - 12 dB) - Lärmanteil LW am gesamten Strassenlärm beträgt rund 70% -> Analoge Aufteilung der Kosten für Lärmschutz an Strassen	640 570, 640 571, 640 572, 640 573, 640 574 Laermorama (Cercle bruit, FALS) BAFU, web-GIS	-	-	X	X	X	(X)	X	X	X	Kosten für Lärmschutz lassen sich auf Grund der Faktenlage zu 70% den schweren Motorwagen zuweisen	x	x	

Schwerverkehrsrelevante Schritte im Trasseebau: Geotechnik und Grundbau

Pos. Nr.			Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen							
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strrecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung	Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
			PS	VP	DP	NS	KS	GS								
6	<u>Strassensignale</u> : --> Spezielle Signale nur für den Schwerverkehr		-	-	X	X	X	(X)	X	X	X	Vernachlässigbar	-	-	-	
7	<u>Randabschlüsse</u> : --> die Materialstärke ist durch den Schwerverkehr beeinflusst, vor allem innerstädtische Durchgangsrouten, Abschlüsse RN 25 anstelle von RN 15, Netzanteil 10 % ?	Normen von Städten und Kantonen	-	-	X	X	X	(X)	X	X	X	Kostenanteil für diese Bauteile vermutlich weitgehend vernachlässigbar	-	(x)	(x)	
8	<u>Schachtoberbau und Schachtabdeckungen für Strassenabläufe, Kontrollschächte, Schächte für Werkleitungen</u> : --> der Aufbau des Schachtoberbaues ist durch den Schwerverkehr beeinflusst. Nur für PW genügt eine Radlast von 1 to, was einer Klasse A 15 entspricht. Für den Schwerverkehr muss eine Klasse D400 eingesetzt werden. Preisdifferenz 50 - 100 % für den Schachtoberbau mit Schachtabdeckung.	SN EN 124: 1994, SN 640 366a	-	-	X	X	X	(X)	X	X	X	Kostenanteil für diese Bauteile vermutlich weitgehend vernachlässigbar	-	(x)	(x)	
9	<u>Unterirdische Bauteile wie Schächte, Kammern, etc. im Strassenbereich</u> : --> die Konstruktionsstärke ist durch den Schwerverkehr beeinflusst		-	-	X	X	X	(X)	X	X	X	Kostenanteil für diese Bauteile vermutlich weitgehend vernachlässigbar	-	(x)	(x)	
10	<u>Schäden bei Banketten durch Kreuzungsmanöver LW/LW auf schmalen Strassen (v.a. Kantonsstrassen mit 6.0 - 6.5 m Breite)</u>		-	-	X	(X)	X	(X)	X	X	X	Die konsequente Anwendung des hypothetischen Falls würde auch bei Dimensionierung auf Leichte Motorwagen zu schmalen Strassen führen mit ähnlichen Auswirkungen	-	-		

Schwerverkehrsrelevante Schritte bei der Projektierung von Kunstbauten

Pos. Nr.		Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten): "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0				
				Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt	
				Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstbauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausüstung					
				PS	VP	DP	NS	KS	GS								
ENTWURF																	
1		Festlegung der Nutzungsanforderung für die Kunstbaute in der Nutzungsvereinbarung. => Auslegung der Kunstbaute auf LW oder nur auf Fz < 3,5 to. Wichtigster Entscheid zu Beginn der Planung des Bauvorhabens.	505 260, Art. 2.2	-	X	(X)	X	X	X	-	X	-	Dabei wird sowohl ein Grundsatzentscheid bzgl. später zu berücksichtigender Verkehrslast als auch in Bezug auf die Abmessung der Kunstbaute (v.a. Breite) gefällt	x	x	x	
2		Festlegung der Anforderungen, hauptsächlich der Nutzungsdauer. => Unterscheidung nach den einzelnen Bauteilen. Verschleissstelle, wie Beläge, Fahrbahnübergänge, Fugenabdich-tungen, ca. 20 bis 25 Jahre. Einrichtungen, wie Abdichtungen, Entwässerungsschächte und -leitungen, Geländer, ca. 50 Jahre. Tragende Bauteile i.d.R. 80 bis 100 Jahre.	505 260, Art. 2.3	-	X	(X)	X	X	X	-	X	-	Grundannahmen zur Lebensdauer der einzelnen Bauteile finden sich in der jeweiligen Strategie des Erhaltungsmanagements	-	-		
3		Wahl des Tragsystems mit dem Tragwerkskonzept und Betrachtung der Nutzungszustände und Gefährdungsbilder in der Projektbasis. Wahl des Tragwerkskonzeptes in erster Linie von der Umgebung und konstruktiven Gegebenheiten (Höhe und Länge über Grund) und erst in zweiter Linie von der Gewichtseinwirkung abhängig.	505 260, Art. 2.5	-	X	(X)	X	X	X	-	X	-	Einfluss Schwerverkehr auf Wahl des Tragwerkskonzeptes schwierig zu bestimmen, kaum relevant bei Erneuerung/Ausbau und beim baul. Unterhalt	(x)	-	-	
TRAGWERKSANALYSE																	
4		Durchführen der Tragwerksanalyse mit der Zusammenstellung der Einwirkungen (Lasten) Wahl des Tragwerksmodells mit Baustoffeigenschaften.	505 260, Art. 3	-	X	X	X	X	X	-	X	-	Einfluss Schwerverkehr auf Tragwerksanalyse/Modellbildung nicht entscheidend, nicht relevant bei Erneuerung/Ausbau und beim baul. Unterhalt	-	-	-	
5		Durchführung der Bemessung mit Bemessungssituationen und Grenzzuständen. => Nachweis der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit	506 260, Art. 4 / 505 261, Art. 10 (Art. 8)	-	X	X	X	X	X	-	X	-	Einfluss Schwerverkehr bei Bemessung vorhanden, kaum relevant bei Erneuerung/Ausbau und beim baul. Unterhalt	x	(x)	-	
AUSFÜHRUNGSPLANUNG / DETAILSTATIK																	
6		Dimensionierung von Belag und Fundationsschicht. => siehe dazu schwerverkehrsrelevante Schritte Trasseebau.	640 324 640 430b	-	(X)	X	X	X	X	-	X	-	Siehe dazu Dimensionierungsschritte Trasseebau (Pos.-Nr. 2.3 - 2.7)	(x)	x	x	
7		Dimensionierung Brückenüberbau und Brückenrahmen Anteil Eigengewicht Überbau ist bedeutend. Einfluss LW von der Spannweite abhängig. Je grösser die Spannweite, desto grösser der Gewichtseinfluss. Bemessung erfolgt hauptsächlich auf Biegung und Querkraft.	505 261	-	(X)	X	X	X	X	-	X	-	Ann.: Kostenrelevanz bei Brücken mit Spannweiten >30 m	x	(x)	-	

Schwerverkehrsrelevante Schritte bei der Projektierung von Kunstbauten

Pos. Nr.	Schwerverkehrsrelevanter Prozess- / Dimensionierungsschritt	Normquelle SN	Materielle Relevanz bezüglich									Einschätzung der kostenrelevanten Auswirkungen (Baukosten); "x": >5%, "(x)": <5%, "-": +/-0			
			Projektstufen			Strassen-Kategorien			Kontopositionen			Bemerkungen	Neubau	Ausbau & Erneuerung	Baulicher Unterhalt
			Planungsstudie	Generelles Projekt / Vorprojekt	Definitives Projekt (Bau- und Auflageprojekt)	Nationalstrassen (HLS)	Kantonsstrassen	Gemeindestrassen	Fahrbahn (offene Strecke und Knoten)	Kunstabauten (Tunnel, Gallerien, Brücken, übrige)	Nebenanlagen/ Strassenausrüstung				
8	<u>Dimensionierung Brückenstützen und -widerlager.</u> Anteil Eigengewicht Stützen / Widerlager ist weniger bedeutend. Bemessung erfolgt hauptsächlich auf <u>Normalkraft</u> .	505 261	-	(X)	X	X	X	X	-	X	-	Kostenrelevanz bei Bemessung auf Normalkraft eher unbedeutend	(x)	-	-
9	<u>Dimensionierung Brücken-Fundation.</u> Anteil Eigengewicht der gesamten Brückenkonstruktion ist bedeutend. Bemessung erfolgt auf Tragfähigkeit der Baugrundes.	505 261 505 267	-	(X)	X	X	X	X	-	X	-	Einfluss Schwerverkehr eher unbedeutend	(x)	-	-
10	<u>Dimensionierung Profile (Tunnels und Gallerien).</u> Dimensionierung des Profils (Durchmesser; lichte Breite / Höhe) von der Fz-Breite und -Höhe, und damit vom LW, abhängig.	505 261 505 267	-	X	X	X	X	X	-	X	-	Vergleiche dazu Schritte im Trasseebau Entwurf und Dimensionierung LRP/GNP (Pos.-Nr. 1 - 4) Berücksichtigung des realen Beispiels A86	x	x	x
11	<u>Dimensionierung und Planung BSA.</u> Elemente BSA (Energie, Beleuchtung, Signalisation, Überwachung etc.) sind weitgehend schwerverkehrsunabhängig. Ausnahme ist das Lüftungssystem in Tunnels. Dimensionierungsgrundlage ist der Ereignisfall LW-Brand. Brandleistung, Energie, Gase etc. sind die massgebenden Kriterien.	Richtlinie ASTRA		X	X	X	X	X	-	X	X	Hypothetischer Fall mit Dimensionierung auf Leichtverkehr lässt sich für das Lüftungs-system aus vorhandenen Grundlagen kaum herleiten oder quantifizieren. Berücksichtigung des realen Beispiels A86	x	x	(x)
12	<u>Dimensionierung Stützmauern.</u> a.) Bergseitige Stützmauern: LW-Einfluss <u>nicht vorhanden</u> b.) Talseitige Stützmauern: LW-Einfluss verm. <u>unbedeutend</u> Bei Stützmauern < ca. 5 m wird das Gewicht des Schwerverkehrs als bedeutsam eingeschätzt (Bemessung auf Kippen/Gleiten). Fundament wird breiter. Ab H = 5 m ist vorwiegend der Erddruck massgebend. Generell ist aber zu beachten, dass v.a. im Gebirge Stützmauern im Fels verankert werden. Dabei ist der Schwerverkehrsanteil vernachlässigbar.	505 261 505 267	-	X	X	X	X	X	-	X	-	Bergseitige Stützmauern sind nicht schwerverkehrsrelevant Talseitige Stützmauern vermutlich auch nicht relevant, der Sachverhalt sollte aber mit 1 - 2 Fallbeispielen und unter Berücksichtigung deren Bedeutung im Gesamtnetz verifiziert werden (Phase II)	-	-	-

Abkürzungsverzeichnis:

a.o.	ausserorts
AS	Autostrasse
BAFU	Bundesamt für Umwelt
dB	Dezibel
DP	Detailprojekt
FALS	Fachstelle Lärmschutz Kt. ZH
Fz	Fahrzeug
GNP	Geometriesches Normalprofil
GS	Gemeindestrasse
H	Höhe
HLS	Hochleistungsstrasse
HVS	Hauptverkehrsstrasse
i	Steigung
i.o.	innerorts
KS	Kantonsstrasse
L N S H	Mischguttypen mit unterschiedlichen Materialanteilen
LH	Lichte Höhe
LI	Lieferwagen
LRP	Lichttraumprofil
LW	Lastwagen
MSV	Massgebender Spitzenstundenverkehr
NS	Nationalstrasse
PS	Planungsstudie
PW	Personenwagen
R	Radius
RN xx	Randstein-Typen
RVS	Regionale Verbindungsstrasse
SABA	Strassenabwasserbehandlungsanlage
SN	Schweizer Norm
Sx	Tragfähigkeitsklassen
Tx	Verkehrslastklassen
VA	Ausgangsgeschwindigkeit
VLK	Verkehrslastklasse
VP	Vorprojekt
Vp	Projektierungsgeschwindigkeit

ANHANG C: PROTOKOLL DES EXPERTENWORKSHOPS VOM 2. MAI 2012 IN ITTIGEN

Teilnehmerkreis:

Experten/Expertin

Markus Caprez	ETH IGT
Jean-Philippe Chollet	KI Kt. Jura
Dr. Jacques Perret	nibuXs
Martin Pola	TAZ, Stadt Zürich
Peter Spacek	em. Prof. IVT, SNZ
Philipp Stoffel	ehem. Präs. AGB/Helbling
Micaël Tille	Ecole d'Ingénieur de Fribourg
Markus Wyss	BVE, Kt. Bern

Bundesämter

Jean Marc Pittet	Bundesamt für Statistik
Daniel Fink	Bundesamt für Statistik
André Hüsler	Bundesamt für Statistik (vertritt Monique Graf)
Ueli Balmer	Bundesamt für Raumentwicklung
Manfred Zbinden	Bundesamt für Strassen
Jean Bernard Duchoud	Bundesamt für Strassen
Christoph Käser	Bundesamt für Strassen
Raphael Kästli	Bundesamt für Strassen
Maurice Hennemann	Bundesamt für Strassen (vertritt Alain Jeanneret)

Auftragnehmer

Markus Maibach	INFRAS (Moderation)
Martin Buck	SNZ (Referat)
Thomas Wanner	SNZ
Christoph Lieb	ECOPLAN
Stefan Suter	ECOPLAN (Protokoll)

1. Präsentation Inputpapier und Diskussion Konzept und Methodik

Die Diskussion basiert auf dem Inputreferat von Martin Buck und auf dem vorgängig zum Workshop verschickten Inputpapier zuhanden Expertenworkshop vom 2.5.2012.

Das vorliegende Protokoll fasst die wichtigsten Diskussionspunkte zusammen. Es basiert auf einer am Workshop selber erstellten detaillierteren Version, welche die Wortmeldungen im Einzelnen enthält. Die darin festgehaltenen Detailanmerkungen werden bei der weiteren Projektarbeit berücksichtigt werden.

2. Verständnisfragen und Eintretensvoten

- › **Qualität der Datenlage:** Die Analysetiefe muss auf die Qualität der dem BFS zuhanden der Strassenrechnung gelieferten Daten ausgerichtet sein. Differenzierte Aussagen nach unterschiedlichen Kostenkategorien machen nur dann Sinn, wenn die Datenlieferanten diese Kostenkategorien richtig und einigermaßen einheitlich unterscheiden. Aus Sicht des Kantonsvertreters J.-P. Chollet ist letzteres machbar. Gegebenenfalls werden die Ergebnisse des Projekts auch dazu dienen, die Anforderungen an die Datenlieferungen bzgl. Kostenkategorien zu präzisieren und damit die Qualität der Strassenrechnung zu verbessern.
- › **Vertrauensintervalle der einzelnen Prozentsätze:** Im Bericht sollte klar dargestellt werden, wie gut die ermittelten Prozentsätze empirisch abgestützt sind und wie gesichert die Bandbreiten der Werte sind.
- › **Politische Belastbarkeit der verschiedenen Annahmen:** Es ist absehbar, dass die aus dem Ansatz abgeleiteten Empfehlungen aus politischer Sicht umstritten sein werden. Der politischen Belastbarkeit der einzelnen getroffenen Annahmen und ermittelten Werten ist grosse Beachtung zu schenken. Klare Argumentationslinien werden wichtig sein.

3. Ansatz: Hypothetischer Fall „Dimensionierung auf leichte Motorwagen“

Der Ansatz wird als sinnvoll bzw. zielführend eingestuft. Ökonometrische oder spieltheoretische Ansätze sind aus verschiedenen Gründen (Datenlage, Kompatibilität mit der Grundmethodik der Strassenrechnung) keine wirklichen Alternativen. Es gibt keine Wortmeldung, welche dieser Einstufung widerspricht.

Diskussionspunkte:

- › **Berücksichtigung der Dimensionierung:** Sehr sinnvoll, da nicht nur das höhere Gewicht des SV zu Zusatzkosten führt, sondern auch andere geometrische Dimensionierungen. Bei einer

allfälligen Umsetzung dieses Ansatzes in der Strassenrechnung wird die Frage zu beantworten sein, wie die Kostenallokation für die schweren Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs aussehen soll.

- › **Dimensionierung auf Lieferwagen beim Leichtverkehr:** Die vorgeschlagene Dimensionierung deckt über 95% des aktuellen Lieferwagenparks ab und wird als zielführend eingestuft. Der restliche Prozentsatz kann als „übergrosse“ Fahrzeuge des Leichtverkehrs interpretiert werden. Auch in einer reinen „Leichtverkehrswelt“ würde nicht auf diese „Ausnahmetransporte“ dimensioniert genauso, wie dies heute auch beim Schwerverkehr nicht der Fall ist
- › **Differenzierung zwischen ausserorts und innerorts (in Städten und in kleineren Gemeinden):** Im innerstädtischen bzw. innerkommunalen Bereich sind häufig andere Faktoren als die Fahrzeugdimensionen entscheidend für die Dimensionierung der Strassen. Bei der Fallbeispielanalyse in Phase II ist dieser Aspekt zu beleuchten. Es ist zu prüfen, ob entsprechend differenzierte Prozentsätze gebildet werden müssen. Die Umsetzung von nach inner-/ausserorts differenzierten Sätzen wäre datenseitig schwierig: Gemäss Ch. Käser gibt es ausser für die Nationalstrassen keine Informationen zur Länge des Strassennetzes inner- bzw. ausserorts (entsprechend schwierig wäre eine Hochrechnung).

Bei konsequenter Anwendung des gewählten Ansatzes ergibt sich allerdings folgendes Analogieargument: Die gleichen Gründe, welche in einer Welt mit SV dazu führen, dass innerorts nicht Normbreiten realisiert werden (keine durchgehende Umsetzung des LKW-LKW-Begegnungsfalls), würden auch in einer reinen Leichtverkehrswelt bewirken, dass teilweise schmaler gebaut würde (keine durchgehende Umsetzung des Begegnungsfalls Lieferwagen-Lieferwagen).

Gewichtsabhängige Kosten bei Brücken: Bei Brücken ist der Ansatz „Dimensionierung auf den Leichtverkehr“ schwierig umsetzbar, da es kein Modell für reine „Leichtverkehrsbrücken“ gibt. Dies wurde auch bereits in der ETH-Studie 1984 bei der Experteneinschätzung festgestellt. Bei den meisten Brücken für den Strassenverkehr ist i.d.R. das Eigengewicht der für die Auslegung der Tragfähigkeit relevante Faktor und nicht der Verkehr, welcher auf der Brücke zirkuliert. Für diesen Fall lässt sich bezgl. der Tragwerksdimensionierung kaum ein gewichtsabhängiger Anteil herleiten, welcher direkt dem SV anzulasten wäre. In der Fallbeispielanalyse in Phase II ist dieser Punkt zu validieren.

4. Vollständigkeit: Berücksichtigung aller schwerverkehrsrelevanten Prozess und Dimensionierungsschritte

Abb. 5 auf S. 22 im Inputpapier bzw. die Anhänge A1 bis A3 enthält alle schwerverkehrsrelevanten Prozess- und Dimensionierungsschritte. Die anwesenden Experten orten keine Lücken.

Diskussionspunkte:

- › **Kosten von Lärmsanierungen:** Die auf einer reinen Emissionsbetrachtung basierende Kostenzuscheidung von 70% auf den SV wird als kritisch eingestuft: Lärmschutzwände würden auch ohne SV gebaut. Zudem richtet sich die Dimensionierung von Lärmschutzmassnahmen v.a. auch auf den Nachtlärm aus. Bei diesem spielt der SV wegen des Nachtfahrverbots eher eine untergeordnete Rolle. In der Phase II ist der verwendeten Grundlage dieses Prozentsatzes, welcher vom Cercle bruit postuliert wird, nachzugehen.
- › **Notwendigkeit von Sensitivitätsrechnungen:** Die vielen Unsicherheiten und die grossen Bandbreiten bei den plausiblen Werten werden Sensitivitätsrechnungen notwendig machen.

5. Diskussion einzelner Vorschläge

Die Diskussion erfolgt entlang den im Inputpapier auf S. 30 und 31 festgehaltenen Punkten.

a) Minderbreite des Strassennetzes (inkl. Kunstbauten): 15-25%

Die ausgehend von Normen hergeleitete Bandbreite wird insgesamt als plausibel eingeschätzt. Kommentare dazu:

- › Für **Strassen innerorts** wird der obere Wert der Bandbreite als zu hoch eingestuft. Hier hat die moderne Strassenraumgestaltung die Normen in vielen Fällen ersetzt. Der untere Wert der Bandbreite scheint plausibler.
 - › Für die **Nationalstrassen** wird die Bandbreite unterschiedlich beurteilt. Für J.-B. Duchoud und M. Hennemann ist sie eher hoch (Reduktion der Breite der zwei Fahrspuren von 7.5 auf allenfalls 7.0m, also 6.7%), für J.-P. Chollet und P. Spacek ist die untere Grenze der Bandbreite durchaus plausibel (Mindestbreite 6m ist denkbar, 6.25m Breite existiert in der Schweiz, also 16.7-20%).
 - › Die Tatsache, dass ein **grosser Prozentsatz des Netzes nicht Normbreite** aufweist (Schätzung am Workshop: 80% der Strassen (ohne Nationalstrassen) sind weniger breit als gemäss Norm, wenn man von der signalisierten Geschwindigkeit ausgeht), wird als Argument für eine zurückhaltende Anwendung der Bandbreite herbeigezogen.
- Allerdings gilt hier wieder das Argument der konsequenten Anwendung des gewählten Ansatz-

zes „Dimensionierung auf den Leichtverkehr“. Auch in einer „reinen Leichtverkehrswelt“ würde nicht immer die Normbreite für Leichtverkehrsfahrzeuge realisiert werden.

- › Auch für **Erschliessungsstrassen**, welche v.a. bei den Gemeindestrassen einen grossen Teil der Netzlänge ausmachen, wird die Bandbreite als hoch eingestuft: Bei diesen Strassen ist zu berücksichtigen, dass hier in vielen Fällen ein anderer Grundbegegnungsfall (also nicht LKW-LKW, sondern z.B. LKW-PKW) zugrundegelegt wurde. Dementsprechend liegt der Prozentsatz für diese Strassen eher an der unteren Grenze. Im Rahmen der Phase II sollte deshalb bei den Erschliessungsstrassen (Fallbeispiele auf Gemeindestrassen) auf den in den Projekten verwendeten Grundbegegnungsfall geachtet werden.
- › Weiter wird die Frage gestellt, ob die **Minderbreite proportional in Minderkosten** umgewandelt werden darf. Falls im Strassenbau hohe Fixkosten anfallen würden, welche durch die Breite der Strasse nicht beeinflusst werden, wäre diese proportionale Übertragung nicht zulässig. Die Experten sind sich einig, dass ein gewisser Abschlag auf der Bandbreite gemacht werden könnte. Dieser müsste aber klarerweise sehr beschränkt sein (2-3%), da es sich nur bei wenigen und zum Teil untergeordneten Kostenpositionen um Fixkosten handelt. Zahlreiche Kostenpositionen werden in Prozenten der Gesamtkosten geschätzt und abgerechnet.

Die beiden **wichtigsten Schlussfolgerungen** aus der Diskussion:

- › Verschiedene Argumente sprechen für eine eher konservative Anwendung der ausgewiesenen Bandbreite. Bei der Festlegung sind aber die Normgrundlagen eine zentrale Basis.
- › Differenzierungen dürften nötig sein: Unterschiedliche Normerfüllung bei National- und Kantons-/Gemeindestrassen, Unterschiede inner- und ausserorts, differenzierte Analyse bei Erschliessungsstrassen.

b) Kapazitätsabminderung: 5-15%

Die Bandbreite bzw. deren oberer Wert wird als realistisch eingestuft, wenn der Verkehr einen erhöhten SV-Anteil und die Strasse eine gewisse Längsneigung aufweist. Es gibt aber verschiedene Argumente, welche für ein differenziertes Bild sprechen:

- › Bei **Nationalstrassen** ist der SV häufig der Treiber für Ausbauten. Dies zeigt bspw. das Programm Engpassbeseitigung deutlich. Allerdings schwankt der SV-Anteil auch auf Nationalstrassen (genannt werden Werte von 5-20%). Und: Ausbauten werden auch bei Nationalstrassen anders als mit der Kapazität begründet. So laufen bspw. auch der Bau von Wildbrücken oder Sicherheitsausbauten unter dem Label „Ausbau“.

- › Bei **Kantons- und Gemeindestrassen** ist der Ausbau deutlich weniger häufig kapazitätsbedingt. Wichtige Gründe sind der öffentliche Verkehr, Mischverkehre, Umfahrungsstrassen, Verkehrssicherheitsfragen. Letztere haben allerdings durchaus einen Kapazitätsaspekt: Steigende Verkehrsvolumen führen auch zu Sicherheitsfragen, lassen den strassengebundenen ÖV im Stau stecken und lösen die Forderung nach Umfahrungsstrassen aus.
- › Der Druck für Kapazitätsausbauten entsteht in den **Hauptverkehrszeiten** (Spitzenstunden). In diesen ist der SV-Anteil eher tiefer als in der übrigen Zeit (Grund: Hohes PKW-Pendleraufkommen).

Die **wichtigsten Schlussfolgerungen** aus der Diskussion:

- › Die Logik der Kapazitätsabminderung ist unbestritten. Weniger klar ist die direkte Verbindung des Arguments mit der Kostenfolge.
- › Das Argument muss selektiv angewendet werden: Wichtiger bei Nationalstrassen, weniger wichtig bei Kantons- und Gemeindestrassen.
- › Noch ein genereller Punkt: Die zur Herleitung der Bandbreite für die Kapazitätsabminderung verwendete wissenschaftliche Forschung muss im Bericht transparenter dargestellt werden.

c) Betrachtung zu Tunnelbauwerken: 30-40%

Grundfrage ist: Ist die Bandbreite höher als bei einer offenen Strecke? M. Buck weist darauf hin, dass die ARGE für die Beantwortung dieser Frage zwei Betrachtungen durchgeführt hat, einmal über das Fallbeispiel des A86-Tunnels in Paris und zusätzlich über die hypothetische Dimensionierung auf den Leichtverkehr (Abschnitt 3.5.1 im Inputpapier). Die über die beiden Vorgehen hergeleiteten Werte liegen in der gleichen Grössenordnung.

- › Unbestritten ist der **Zusammenhang zur Kubatur**. Das auszubrechende Kubikmetervolumen sinkt wegen der anderen Dimensionierung bei einem Leichtverkehrstunnel.
- › Der Kubaturzusammenhang ist das dominante Argument. Die **übrigen Punkte** sind vergleichsweise weniger relevant. Der Zusammenhang gilt für Tunnels auf Nationalstrassen ebenso wie für solche auf Kantons- und Gemeindestrassen.
- › Die **Bandbreite** scheint auf den ersten Blick sehr hoch zu sein. Für J.-P. Chollet muss sie wegen des exponentiellen Zusammenhangs zwischen Lichtprofil und Kubatur gezwungenermassen hoch sein. Für M. Hennemann und M. Wyss gibt es aber auch Baugründe (Form/Profil eines Tunnels, Statikfragen), welche verhindern, dass das deutlich kleinere Lichtraumprofil des Leichtverkehrs 1:1 umgesetzt werden könnte.

Die Fallbeispiele müssten hierzu Informationen liefern.

- › Die Prämisse, ob die **Baukosten proportional von den Kubaturen** abhängen (ist z.B. eine doppelt so grosse Tunnelbohrmaschine doppelt so teuer wie eine „einfache“?), ist in der Phase II zu überprüfen.
- › Die analoge Anwendung der Prozentsätze auf Galerien, Tagbautunnels und Überdeckungen wird als grundsätzlich plausibel erachtet.

Die wichtigsten **Schlussfolgerungen** aus der Diskussion:

- › Die Volumenlogik ist unbestritten und das dominante Argument.
- › Die Prozentsätze werden als eher hoch aber plausibel wahrgenommen.
- › Die Proportionalität von Kubaturen und Kosten muss noch besser belegt werden können.

d) Weitere Aspekte

Die kurze Diskussion kommt zu folgenden **Schlussfolgerungen**:

- › Die erwähnten Aspekte sind sachlich nicht bestritten.
- › Da sie aber klar weniger ins Gewicht fallen und da ihre quantitative Berücksichtigung auf erhebliche Datenprobleme stossen würde, sollte auf Vertiefungen verzichtet werden. Sie sind sinnvollerweise qualitativ aufzuarbeiten. Allenfalls können sie beim Schlussresultat als Argumente für gewisse „Aufrundungen“ eingesetzt werden.
- › Wie bereits weiter oben erwähnt, wird der SV-Anteil von 70% bei den Lärmschutzkosten als zu hoch eingestuft.

e) Gewichtsabhängige Kosten

Für die gewichtsabhängigen Kosten liegen noch keine zu diskutierenden Werte vor. Ihre Ermittlung ist zentraler Gegenstand der nächsten Phase.

Diskussionspunkte:

- › **Frostschutz** als dominanter Kostentreiber ab 700 M.ü.M: Der grosse Einfluss wird bestätigt. Bei frostsicherer Bauweise verbessert sich die Tragfähigkeit, so dass hier der SV-Anteil nur bedingt als Kostentreiber wirkt. Allerdings ist der Zusammenhang nicht ganz so einfach wie die Regel, dass ab x M.ü.M. keine gewichtsabhängigen Kosten mehr anfallen. Auch bei der Verwendung von frostsicheren Materialien kann noch unterschiedlich (teuer) gebaut werden, je nachdem ob auf einer Strasse nur Leichtverkehr oder auch Schwerverkehr zirkuliert. Der Zusammenhang sollte in den Fallbeispielen noch vertieft werden.
- Unbeantwortet bleibt die Frage, ob für Nationalstrassen der gleiche Zusammenhang unterstellt werden kann wie für Kantons- und Gemeindestrassen.

Mit Blick auf die weiteren Arbeiten informiert Ch. Käser, dass die Netzlänge aller Strassen über / unter z.B. 700 M.ü.M. ermittelt werden kann (differenziert nach Nationalstrassen, Kantonsstrassen und übrigen Strassen; die Netzlänge letzterer wurde aus TomTom-Daten ermittelt).

- › **Gewichtsabhängige Kosten bei Fahrbahnen, Tunnels und Kunstbauten:** Für Ph. Stoffel ist es richtig, hier im Sinne einer Arbeitshypothese von gleichen Prozentsätzen auszugehen (vgl. Folie 26). Es gibt zwar Unterschiede, welche benennt, aber mit dem Argument „Scheingenauigkeit“ nicht vertieft werden sollten. Die Fallbeispiele werden die empirische Evidenz liefern.
- › **Überladungsrate:** Wegen des exponentiellen Zusammenhangs zwischen Achslast und Strassenschäden spielen Überladungen eine sehr wichtige Rolle. Die Experten sind sich aber einig, dass in der Untersuchung nicht illegales Verhalten als Einflussgrösse zur Bestimmung der schwerverkehrsabhängigen Kosten herbeigezogen werden kann.

Die wichtigsten **Schlussfolgerungen** aus der Diskussion:

- › Das Frostargument ist relevant, muss aber wohl etwas differenzierter berücksichtigt werden. Für die Nationalstrassen ist es noch grundsätzlich zu überprüfen (in den Fallbeispielen).
- › Für die Analyse in den Fallbeispielen müssen die Kostenkategorie verfeinert werden (z.B. Unterscheidung zwischen Foundationsschicht, Oberbau, etc.).
- › Keine Unterscheidung bei den Prozentsätzen zwischen Fahrbahnen, Tunnels, Brücken.

6. Weiteres Vorgehen

Logik der Fallbeispiele

M. Buck präsentiert das vorgesehene Vorgehen und informiert über den aktuellen Stand der zugesagten Fallbeispiele. Neben Nachfragen zum Vorgehen beziehen sich die Wortmeldungen v.a. auf die Zahl und die Verteilung der Fallbeispiele:

- › Für A. Hüsler stellt sich die Frage, ob die über abgeschlossene Fallbeispiele ermittelten Werte auch für die Zukunft repräsentativ sind.
- › Die Zahl der Fallbeispiele wird als eher gering eingestuft. Es wird nicht einfach sein, verallgemeinernde Aussagen abzuleiten oder sogar Aussagen zu einem Vertrauensintervall zu machen. Immerhin: Die Analyse in den 80er Jahren beruhte auf 40 Projekten und das zugehörige

Normenwerk war wesentlich weniger aufschlussreich als heute. In der Phase II des vorliegenden Projekts sollen rund 80 Fallbeispiele ausgewertet werden.

- › Das Sample sollte auch noch Fallbeispiele aus kleineren Gemeinden und nicht nur Städten umfassen.
- › Wie zu Beginn des Workshops verweist Ph. Stoffel auf die Datenlage beim BFS: Es sollte sichergestellt werden, dass sich die Fallbeispiele auf Kostenkategorien beziehen, welche von den Datenlieferanten der Strassenrechnung gleich verstanden und entsprechend differenziert geliefert werden.

Ablauf und Schlusswort

Das weitere Vorgehen sieht wie folgt aus:

- › Die Ergebnisse des Workshops fliessen in einen Zwischenbericht ein. Dieser wird Anfang Juni in der Begleitgruppe diskutiert werden.
- › Phase II des Projekts wird durch die Begleitgruppe ausgelöst werden. In diesem Zusammenhang wird sich noch die Frage des Einsatzes einer Alternativmethode (ökonometrische Analyse) stellen. Klar ist, dass diese nicht in der gleichen Tiefe verfolgt werden würde. Evtl. drängt sich auch eine andere Vertiefung an Stelle der Alternativmethode auf (z.B. Vertiefung der Methodik der deutschen Wegekostenrechnung als „europäische Referenzstudie“).
- › Zum Zeitplan: Die Fallbeispiele werden über den Sommer/Herbst hinweg zu bearbeiten sein. Abschluss der Phase II ist für den Oktober geplant.
- › Evtl. gibt es nach Phase II nochmals einen Workshop in diesem Gremium.

Die sehr wertvollen Inputs der teilnehmenden Experten werden von der ARGE und von Vertretern der auftraggebenden Bundesämter verdankt.

LITERATUR

- BFS Bundesamt für Statistik 1982: Schlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Strassenrechnung (so genannter “Bericht Nydegger”), Bundesamt für Statistik BFS, Bern.
- BFS Bundesamt für Statistik 2003: Schweizerische Strassenrechnung: Revision 2000.
- BFS Bundesamt für Statistik 2008: Leistungen der Sachentransportfahrzeuge. Aktualisierte Zeitreihen bis 2007.
- BFS Bundesamt für Statistik 2008b: Detailauswertung Strassenrechnung: Kostenanteile Langsamverkehr am Beispiel von zwei Infrastrukturprojekten, Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik 2009: Gütertransporterhebung GTE 2008: Erhebungsbericht. Online im Internet:
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/erhebungen_quellen/blank/blank/gte/02.Document.127408.pdf (22.4.2010).
- BFS Bundesamt für Statistik 2010: Detailauswertung Strassenrechnung: Ausgaben für Gemeindestrassen nach Gemeinde 1999-2008, inkl. Einwohnerzahl und Strassenlänge (Strassenlänge basierend auf Daten 1984), Neuchâtel.
- BFS Bundesamt für Statistik: Strassenrechnung diverse Jahrgänge.
- Bundesrat 2010: Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS), SR 741.41. Online: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/741.41.de.pdf>.
- Bundesrat 2010: Verordnung über eine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (SVAV) vom 6. März 2000 (Stand 1. Januar 2012). SR 641.811. Online im Internet: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/6/641.811.de.pdf> (6.1.2012).
- DIW 2000: Wegekosten und Wegekostendeckung des Strassen- und Schienenverkehrs in Deutschland 1997.
- DIW 2009: Wegekosten und Wegekostendeckung des Straßen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007, Heike Link, Dominika Kalinowska, Uwe Kunert Sabine Radke, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung DIW, Berlin 2009.
- DIW, Infras, Herry und NERA 1998: Infrastructure Capital, Maintenance and Road Damage Costs for different Heavy Goods Vehicles in the EU. Commissioned by the Commission of the European Communities, DG Transport. Brussels.
- DIW, VTI, ITS 2008: CATRIN, Cost Allocation of TRansport Infrastructure cost, Deliverable D1: Cost allocation Practices in the European Transport Sector.
- Doll C. 2003: Allokation gemeinsamer Kosten der Strasseninfrastruktur. Anwendbarkeit der Lösungskonzepte kooperativer Spiele in der Wegekostenrechnung, Dissertation, Karlsruhe.

- Ecoplan und Infrac 2009: Abgrenzung des Schwerverkehrs. Arbeitspapier für das Bundesamt für Raumentwicklung. Bern.
- Europäische Kommission 1999: Calculating Transport Infrastructure Costs. Final Report of the Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure Charging.
- Expert Advisors to the High Level Group on Infrastructure Charging (Working Group 1) 1999: Calculating Transport Infrastructure Costs. Final Report of the Expert Advisors. Brussels
- Federal Highway Administration 1997: 1997 Federal Highway Cost Allocation Study, Final Report. Online im Internet:
["http://www.fhwa.dot.gov/policy/hcas/final/index.htm"](http://www.fhwa.dot.gov/policy/hcas/final/index.htm)
 (Stand: 04.05.2010).
- FHCA 1982: Final Report on the Federal Highway Cost Allocation Study. Report of the Secretary of Transportation to the United States Congress, Washington D.C.
- Herry M., Sedlacek 2001: Österreichische Wegekostenrechnung für die Strasse 2000. Strassenforschungsauftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- Highway Research Board 1961: The AASHO-Road-Test. History and Description of Project. Special Report 61A. Washington D.C.
- INFRAS 1997: Überprüfung der Strassenrechnung. Bericht zu konkreten Fragen des BFS, Zürich.
- INFRAS 2002: Road econometrics – Case study motorways Switzerland, Deliverable 10, Christoph Schreyer, Nicolas Schmidt, Markus Maibach, UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 10, funded by 5th Framework RTD Programme, ITS, University of Leeds, Leeds, March 2002.
- INFRAS/Ecoplan 2005: Transportkostenrechnung, Grundlagen und Konzeption.
- INFRAS/Ecoplan 2006: Transportkostenrechnung, Konzept und Pilotrechnung. Zürich/Altdorf/Bern.
- INFRAS/Ecoplan 2008: Weiterentwicklung der Transportrechnung. Vertiefungsarbeiten. Zürich/Bern.
- INFRAS/Ecoplan 2011: Zusatzstudien zur Transportrechnung. Methodik Strassenrechnung, im Auftrag BFS. Mit Unterstützung von SNZ und NibuXs.
- Interdepartementale Arbeitsgruppe für die Neugestaltung der Strassenrechnung 1985: Bericht über die Neugestaltung der Strassenrechnung. Bern.
- Kommission zur Überprüfung der Strassenrechnung 1982: Bericht der Kommission zur Überprüfung der Strassenrechnung. Bern.
- LAVOC Laboratoire des voies de circulation, Dumont A.-G., Perret J., Torday A. (EPFL) 2000: Compte routier, Vérification des coefficients de répartition des coûts. Lausanne.

- Link H., Becker A. (DIW), Matthews B., Nash C. (ITS), Martin J.C. (ULPG), Ruijgrok C. (TNO) 2007: GRACE – Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation, Estimation of variable infrastructure costs. Annex A1 to Deliverable 5, Berlin and Leeds.
- Link H., Stuhlemmer A. (DIW), Haraldsson M. (VTI), Abrantes P., Eheat P. Iwnicki S., Nash C., Smith A. (ITS) 2007: Cost Allocation Practices in the European Transport Sector. Deliverable 1 of CATRIN – Cost Allocation of TRansport INfrastructure costs.
- Link H., Kalinowska D., Kunert U., Radke S. (2009), Wegekosten und Wegekostendeckung des Strassen- und Schienenverkehrs in Deutschland im Jahre 2007. DIW Berlin.
- Marti M. and Neuenschwander R. (Ecoplan) 2007: GRACE – Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation, Case study 1.2E: Track Maintenance Costs in Switzerland. Annex to Deliverable 3 Marginal cost cost studies for road and rail transport, Bern and Leeds.
- Perret J., Ould Henia M. 2010: Compte routier: Actualisation des coefficients pour la répartition des coûts liés au poids (rapport final), J. Perret und M. Ould Henia (nibuXs), im Auftrag des Bundesamtes für Statistik BFS, Ecublens (VD).
- Prognos/IWW 2002: Wegekostenrechnung für das Bundesfernstrassennetz unter Berücksichtigung der Vorbereitung einer streckenbezogenen Autobahnnutzungsgebühr. Berlin.
- Prograns/IWW 2007: Aktualisierung der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstrassen in Deutschland. Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Basel und Karlsruhe.
- Richtlinie 2006/38/EG 2006: des Europäischen Parlaments und Rates vom 17. Mai 2006 zur Änderung der Richtlinie 1999/62/EG über die Erhebung von Gebühren für die Benutzung bestimmter Verkehrswege durch schwere Nutzfahrzeuge. Brüssel.
- Scazziga I. 1984, Ermittlung der gewichtsbedingten Mehrkosten in der Strassenrechnung, ISETH-ETHZ.
- Schweizer M. (BFS) 2003: Schweizerische Strassenrechnung, Revision 2000. Schlussbericht, Version 2, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- Slembeck T. (Uni SG), Graf S. (ZHW) 2002: Gutachten über die Anrechnung der Mehrwertsteuer in der Schweizerischen Strassenrechnung, Revision Strassenrechnung 2000. St. Gallen und Winterthur.