

Externe Kosten im Strassenverkehr

Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse

im Auftrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Forschungsauftrag 2005 / 204

Schlussbericht

10. Dezember 2007

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan
Titel: Externe Kosten im Strassenverkehr
Untertitel: Grundlagen für die Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse
Beitraggeber: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
Ort: Bern
Jahr: 2007
Bezug: VSS

Begleitgruppe

VSS-Expertenkommission 2.02 Verkehrsplanung

Kay W. Axhausen, Prof. für Verkehrsplanung, Zürich (Präsident)

Georg Abay, Rapp Trans

Daniel Baumann, Touring Club Schweiz TCS

Ralf Chaumet, Ernst Basler und Partner

Alain Cuche, Bundesamt für Strassen

Jost Lüking, R+R Burger und Partner

Rico Maggi, Prof. für Verkehrsökonomie, Lugano

Ruedi Ott, Mobilität und Planung, Tiefbauamt Stadt Zürich

François Reber, beratender Ingenieur, Neuenburg

Paul Widmer, Ingenieur und Planungsbüro Paul Widmer

sowie

Nathalie Carron, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Nikolaus Hilty, Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Projektteam Ecoplan

Christoph Lieb (Projektleitung und Hauptsachbearbeitung)

Heini Sommer (Projektbetreuung)

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

Ecoplan

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Thunstrasse 22

CH - 3005 Bern

Tel +41 31 356 61 61

Fax +41 31 356 61 60

bern@ecoplan.ch

Postfach

CH - 6460 Altdorf

Tel +41 41 870 90 60

Fax +41 41 872 10 63

altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	4
Résumé	5
Summary	6
1 Einleitung	7
1.1 Einordnung des Projektes in das Normensystem	7
1.2 Auswahl der zu betrachtenden externen Effekte	8
1.3 Vorgaben aus der Grundnorm	10
1.4 Verhältnis der Arbeiten zu NISTRA	11
1.5 Gültigkeit der Werte	13
1.6 Vorgehen.....	13
1.7 Gliederung des Berichtes.....	14
2 Lärm	15
2.1 Einleitung.....	15
2.2 Mengengerüst	17
2.2.1 Benötigte Inputdaten	17
2.2.2 Berechnung des Mengengerüstes	22
2.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	22
2.3 Wertgerüst.....	22
2.3.1 Bewertungsmethode	22
2.3.2 Bestimmung des Wertgerüstes	22
2.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	28
2.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand	28
2.4 Veränderung über die Zeit	28
2.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	31
2.6 Vergleich mit NISTRA	33
3 Luftverschmutzung	35
3.1 Einleitung.....	35
3.1.1 Durchschnittskosten oder Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten.....	35
3.1.2 Berücksichtigte Effekte.....	37
3.1.3 Lokale und regionale Schadstoffe.....	39
3.2 Mengengerüst	45
3.2.1 Benötigte Inputdaten	45
3.2.2 Berechnung des Mengengerüstes	45
3.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	46

3.3	Wertgerüst.....	47
3.3.1	Bewertungsmethode	47
3.3.2	Bestimmung des Wertgerüsts	48
3.3.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	51
3.3.4	Anpassung an einen anderen Preisstand	55
3.4	Veränderung über die Zeit	56
3.5	Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	60
3.6	Vergleich mit NISTRA	63
4	Klima.....	64
4.1	Einleitung.....	64
4.2	Mengengerüst	64
4.2.1	Benötigte Inputdaten	64
4.2.2	Berechnung des Mengengerüsts	65
4.2.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	65
4.3	Wertgerüst.....	66
4.3.1	Bewertungsmethode	66
4.3.2	Bestimmung des Wertgerüsts	66
4.3.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	71
4.3.4	Anpassung an einen anderen Preisstand	71
4.4	Veränderung über die Zeit	71
4.5	Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	72
4.6	Vergleich mit NISTRA	73
5	Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur.....	74
5.1	Einleitung.....	74
5.2	Mengengerüst	74
5.2.1	Benötigte Inputdaten	74
5.2.2	Berechnung des Mengengerüsts	76
5.2.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	76
5.3	Wertgerüst.....	76
5.3.1	Bewertungsmethode	76
5.3.2	Bestimmung des Wertgerüsts	76
5.3.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten.....	79
5.3.4	Anpassung an einen anderen Preisstand	79
5.4	Veränderung über die Zeit	80
5.5	Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	80
5.6	Vergleich mit NISTRA	80
6	Bodenversiegelung.....	82
6.1	Einleitung.....	82
6.2	Mengengerüst	83

6.2.1	Benötigte Inputdaten	83
6.2.2	Berechnung des Mengengerüsts	84
6.2.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten	84
6.3	Wertgerüst	85
6.3.1	Bewertungsmethode	85
6.3.2	Bestimmung des Wertgerüsts	85
6.3.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten	85
6.3.4	Anpassung an einen anderen Preisstand	86
6.4	Veränderung über die Zeit	86
6.5	Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	86
6.6	Vergleich mit NISTRA	87
7	Landschafts- und Ortsbild	88
7.1	Einleitung	88
7.2	Mengengerüst	91
7.2.1	Benötigte Inputdaten	91
7.2.2	Berechnung des Mengengerüsts	92
7.2.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten	92
7.3	Wertgerüst	93
7.3.1	Bewertungsmethode	93
7.3.2	Bestimmung des Wertgerüsts	93
7.3.3	Anpassung an örtliche Gegebenheiten	94
7.3.4	Anpassung an einen anderen Preisstand	94
7.4	Veränderung über die Zeit	94
7.5	Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen	94
7.6	Vergleich mit NISTRA	95
8	Anhang A: Workshop-Teilnehmer	96
9	Anhang B: Verworfenere vereinfachte Methode der Lärmbewertung	97
10	Anhang C: Veränderung der Schadstoffemissionen über die Zeit	100
11	Anhang D: Berechnung des Kostensatzes für die Bodenversiegelung	103
	Literaturverzeichnis	106

Kurzfassung

Die Grundnorm zu den Kosten-Nutzen-Analysen (KNA) im Strassenverkehr (SN 641 820) zeigt die wesentlichen Arbeitsschritte einer KNA. Sie liefert jedoch keine detaillierten Vorgaben zur Bewertung der externen Umweltkosten. Dies soll in der Detailnorm SN 641 828: „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr: Externe Kosten“ geschehen. Der vorliegende Bericht liefert die Grundlagen für diese Detailnorm. Für die Herleitung der Bewertungsmethoden werden bisherige Methoden aus der Literatur verwendet und wo sinnvoll weiterentwickelt. In den beiden Bereichen Lärm und Luftverschmutzung wurde je ein Workshop mit entsprechende Experten durchgeführt. Dieser Bericht leitet Bewertungsmethoden für die folgenden sechs Effekte her:

- **Lärm:** Die Bewertung beschränkt sich auf den Lärm am Wohnort. Mit einem Lärmmodell ist die Veränderung der Lärmbelastung für Personen und Wohnungen zu ermitteln. Daraus werden dann die Gesundheitskosten und Mietzinsausfälle berechnet.
- **Luftverschmutzung:** Aus der Veränderung der Fahrzeugkilometer wird die Veränderung der Schadstoffemissionen ermittelt. Daraus leitet sich die Veränderung der Gesundheitskosten, Gebäude- und Vegetationsschäden ab. Dabei wird berücksichtigt, dass Emissionen im bebauten Gebiet deutlich höhere Schäden zur Folge haben als Emissionen im unbebauten Gebiet. Zudem werden erstmals auch die Emissionen während dem Bau mit einbezogen.
- **Klima:** Aus der Veränderung der Fahrzeugkilometer und der sich daraus ergebenden Veränderung der Treibhausgasemissionen werden die externen Kosten mit einem aus der Literatur hergeleiteten Kostensatz pro Tonne CO₂ bestimmt.
- **Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur:** Der Energieverbrauch durch Beleuchtung, Tunnelbelüftung etc. ist mit einem Kostensatz zu monetarisieren, der aus den externen Kosten (Luftverschmutzung und Klima) verschiedener Stromproduktionsarten hergeleitet wird.
- **Bodenversiegelung:** Aus den Projektgrundlagen wird die Bodenversiegelung bzw. der Flächenverbrauch ermittelt, der mit einem Kostensatz aus der Literatur monetarisiert wird.
- **Landschafts- und Ortsbild:** Die Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes wird quantitativ abgeschätzt (Bewertung in Punkten) und in Geldeinheiten umgerechnet. Dabei wird eine bestehende Methode aus der Literatur übernommen und leicht angepasst.

Vor allem im Bereich Lärm und Luftverschmutzung werden deutliche Verbesserungen zu den heute bestehenden Methoden entwickelt, doch auch in den anderen Bereichen werden Anpassungen vorgeschlagen.

Für kleinere Projekte und Grobevaluationen werden wo nötig vereinfachte Methoden zur Verfügung gestellt. Zudem wird bei allen sechs Bereichen so weit wie möglich eine fundierte Abschätzung vorgenommen, wie sich die Effekte über die Zeit verändern.

Résumé

La norme de base relative aux analyses coûts-avantages (ACA) du trafic routier (SN 641 820) décrit les principales étapes de travail pour la réalisation d'une ACA. Elle ne fournit en revanche pas d'indications détaillées pour l'évaluation des coûts environnementaux externes. Ce point doit faire l'objet de la norme SN 641 828 : "analyses coûts-avantages du trafic routier : coûts externes". Le présent rapport fournit les bases pour cette norme de détail. L'élaboration des méthodes d'évaluation se fait sur base de méthodes préexistantes, citées dans la littérature ; celles-ci sont adaptées où cela s'avère utile. Pour chacun des domaines 'bruit' et 'pollution atmosphérique', un atelier de travail s'est déroulé en présence d'experts. Ce rapport présente les méthodes d'évaluation pour les six effets suivants :

- **Bruit:** L'évaluation se limite au bruit au domicile. L'évolution de la nuisance sonore pour les personnes et les habitations est évaluée grâce à un modèle de bruit. Les données ainsi récoltées servent ensuite à calculer les coûts de la santé et les pertes de loyers.
- **Pollution atmosphérique:** L'évolution des véhicules-kilomètres permet d'évaluer l'évolution des émissions polluantes; en découlent alors l'évolution des coûts de la santé et des dégâts causés aux bâtiments et à la végétation. Le fait que les émissions provoquent des dégâts nettement plus importants dans une zone construite que les émissions dans une zone non construite est prise en considération. Par ailleurs, les émissions produites durant les travaux sont prises en compte pour la première fois.
- **Climat:** L'évolution des véhicules-kilomètres et l'évolution des émissions de gaz à effet de serre qui en découle permettent de définir les coûts externes, avec comme base, le taux de coûts par tonne de CO₂ mentionné dans la littérature.
- **Coûts externes de la consommation d'énergie liée à la gestion de l'infrastructure:** La consommation d'énergie pour l'éclairage, l'aération des tunnels etc. doit être monétarisée par un taux de coûts résultant des coûts externes (pollution atmosphérique et climat) des différents types de production d'électricité.
- **Imperméabilisation des sols:** L'imperméabilisation des sols, respectivement la consommation de surface est définie à partir des documents du projet, avant d'être monétarisée grâce au taux de coûts mentionné dans la littérature.
- **Paysages et sites:** L'évolution des paysages et sites est évaluée quantitativement (évaluation par points) pour être ensuite convertie en unités monétaires. Pour cela, une méthode préexistante dans la littérature est utilisée et légèrement adaptée.

C'est surtout dans les domaines 'bruit' et 'pollution atmosphérique' que de nettes améliorations sont entreprises par rapport aux méthodes préexistantes, mais des adaptations sont également proposées pour les autres domaines.

Pour des projets plus restreints et des évaluations sommaires, des modèles simplifiés sont mis à disposition lorsque cela est nécessaire. De plus, une évaluation approfondie concernant la manière dont les effets se modifient au fil du temps est effectuée, dans la mesure du possible, pour les six domaines.

Summary

The basic norm on cost benefit analyses (CBA) in road transport (SN 641 820) shows the main steps of a CBA. But it does not offer detailed methods how to value external costs on the environment. This is the task of the detailed norm SN 641 828 "Cost benefit analyses in road transport: External costs". The report in hand supplies the basics for this norm. For the derivation of the assessment methods existing methods from the literature are used and where useful further developed. For noise and air pollution two workshops were held together with appropriate experts. This report presents assessment methods for the following six effects:

- **Noise:** The valuation is restricted to noise at the place of residence. With a noise model the changes in the noise pollution for persons and flats are calculated. Based on these calculations the health costs and lost rents (from flats) are determined.
- **Air pollution:** From the change in vehicle kilometres the change in emissions of pollutants can be derived. Out of these we can calculate the change in health costs as well as in damages to buildings and vegetation. In doing so it is taken into account that emissions in the built-up area are much more harmful than emissions outside the built-up area. Furthermore, for the first time emissions during construction are considered.
- **Climate:** Based on the change in vehicle kilometres and the corresponding change in the emissions of greenhouse gases the external costs can be determined by using a monetary value per tonne CO₂ taken from the literature.
- **External costs of energy consumption by operating the infrastructure:** The energy consumption by lighting and ventilation of tunnels etc. can be monetized with a value derived from the external costs (air pollution and climate) of several different types of energy production.
- **Sealing of soil:** The project documents show the change in the sealed area which is monetized by a value taken from the literature.
- **Visual intrusion:** Changes in visual intrusion are quantified (in points) and then monetized. In doing so an existing method from the literature is applied and slightly adjusted.

In particular for noise and air pollution clear improvements to the methods used nowadays are developed. Also for the other effects adjustments are proposed.

For smaller projects and rough estimates simplified methods are supplied where necessary. Moreover, for all six effects – as far as possible well founded – estimates, how the effects change over time, are presented.

1 Einleitung

Im Rahmen des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute) wurde eine Grundnorm zu den Kosten-Nutzen-Analysen (KNA) im Strassenverkehr erstellt (SN 641 820). Diese Norm zeigt die wesentlichen Arbeitsschritte einer KNA. Die Vorgabe einiger Berechnungsverfahren und Kostensätze, die zur Bewertung der verschiedenen Auswirkungen eines Verkehrsprojektes erforderlich sind, werden jedoch nicht in der Grundnorm festgeschrieben, sondern sind in Detailnormen festzulegen.

Unter anderem ist eine Detailnorm SN 641 828: „Externe Kosten im Strassenverkehr“ zu erstellen. Die Detailnorm soll es erlauben, die externen Effekte eines Projektes auf die Umwelt zu monetarisieren. Darin sind Kostensätze und Berechnungsmethoden für die monetarisierbaren externen Effekte des Strassenverkehrs vorzugeben. Ausserdem sind Vorgaben zum Mengengerüst bzw. zu den für die Bewertung benötigten Inputdaten nötig. In dieser Studie werden die Grundlagen für die SN 641 828 erarbeitet.

1.1 Einordnung des Projektes in das Normensystem

Die Grundnorm SN 641 820: „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr“ legt die zu berechnenden Indikatoren bei der Durchführung einer KNA eines Strassenverkehrs-Projektes fest. Für viele Indikatoren wird jedoch die genaue Berechnungsweise bewusst offen gelassen. Dies basiert auf der Überlegung, dass die detaillierten Verfahren, Berechnungsschritte, Inputdaten und Kostensätze zur Ermittlung dieser Indikatoren nicht in eine Grundnorm gehören, sondern vielmehr in verschiedenen Detailnormen festzulegen sind. Dies erlaubt es, die Detailnormen häufiger an aktuelle Forschungsergebnisse anzupassen als die Grundnorm.

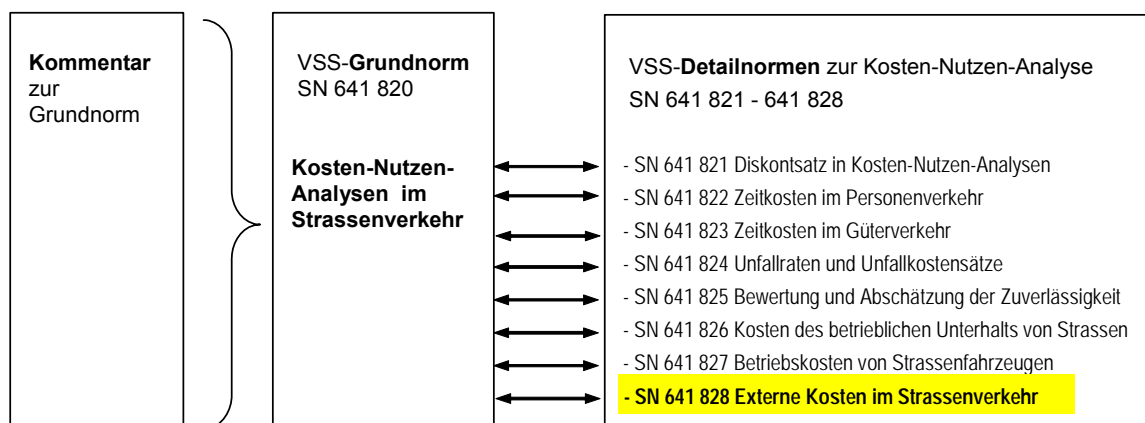
Mit dem Konzept von Grundlagen- und Detailnormen lassen sich die Anforderungen an ein Normensystem optimal erfüllen: Einerseits sollen die Grundsätze des Bewertungsverfahrens möglichst einheitlich und über eine längere Zeit stabil sein (dazu dient die Grundnorm), andererseits soll die Bewertung selbst an die spezifischen Verhältnisse angepasst und mit möglichst aktuellen Erkenntnissen und Daten vorgenommen werden (dazu dienen die Detailnormen).

Die folgende Grafik zeigt einen Überblick über die Forschungsarbeiten des VSS im Bereich Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Das Herzstück ist die Grundnorm SN 641 820 „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr“. Diese beantwortet viele Grundsatzfragen einer KNA. Ergänzend gibt es einen Kommentar zur Grundnorm,¹ der die Überlegungen erläutert und belegt, die zur Norm geführt haben. Wie erwähnt werden jedoch viele Detailfragen zur Berechnung der einzelnen Indikatoren in der Grundnorm nicht diskutiert. Stattdessen sollen die genauen Berechnungswege in acht Detailnormen festgelegt werden (vgl. folgende Grafik). Bei den Detailnormen geht es um die Wahl des Diskontsatzes, die Bewertung der

¹ Ecoplan, Metron (2005), Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr.

Zeitgewinne im Personen- und Güterverkehr, die Häufigkeit von Unfällen und deren Kostenfolgen, die Berechnung der Veränderung der Zuverlässigkeit (Verspätungen aufgrund von Stau bzw. Varianz der erwarteten Reisezeit), die Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassen, die Betriebskosten der Fahrzeuge sowie die externen Kosten im Strassenverkehr. Nur wenn all diese Detailnormen vorliegen, kann eine einheitliche Praxis bei der Erstellung einer KNA gewährleistet werden. Das vorliegende Projekt soll die Grundlagen für die letzte dieser Detailnormen liefern.

Grafik 1-1: Übersicht über die Forschungsarbeiten des VSS zur Kosten-Nutzen-Analyse



1.2 Auswahl der zu betrachtenden externen Effekte

Die Detailnorm zu den externen Kosten beschränkt sich auf jene Effekte die einer Monetarisierung zugänglich sind. Die übrigen, nicht monetarisierten externen Effekte müssen ausserhalb der KNA betrachtet werden (wie z.B. in NISTRA, vgl. Kapitel 1.4).

Die zu betrachtenden externen Effekte werden in der Grundnorm (Ziffer 17) abschliessend **aufgezählt**. Es handelt sich um die folgenden sechs externen Kosten auf die Umwelt (die externen Kosten der Unfälle werden im Rahmen dieser Arbeit nicht behandelt, da sie Gegenstand der Detailnorm SN 641 824 „Unfallraten und Unfallkostensätze im Verkehr“ sind):²

- **Lärm:** Der Lärm – als Störung und Belästigung empfunden – führt zu einer Beeinträchtigung der Lebensqualität. Deshalb erzielen belärmte Wohnungen einen geringeren Preis als ruhige Wohnungen (Mietzinsausfälle oder Verkaufspreisverlust). Zudem führt der Lärm

² Streng genommen sind nicht die externen Kosten zu erheben, sondern die sozialen Kosten der Umwelteffekte. Für die betrachteten Umwelteffekte sind die externen und sozialen Kosten jedoch identisch. Im Bereich der Unfälle wäre diese Unterscheidung aber von Bedeutung (Ecoplan 2002, Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998).

auch zu Gesundheitsstörungen (Bluthochdruck und ischämische Herzkrankheiten (mangelnde Versorgung mit Blut)), die sich in zusätzlichen Krankheits- und Todesfällen niederschlagen.

- **Luftverschmutzung:** Die Luftverschmutzung wirkt sich negativ auf die menschliche Gesundheit aus. Dies führt zu zusätzlichen Krankheits- und Todesfällen. Ausserdem führt die Luftverschmutzung auch zu Gebäudeschäden in Form höherer Renovations- und Reinigungskosten an Gebäudefassaden. Schliesslich schadet die Luftverschmutzung auch der Vegetation (Ernteauffälle, Waldschäden und Beeinträchtigung der Bodenqualität).
- **Klima:** Der Ausstoss von Treibhausgasen führt zu einer Klimaerwärmung und damit weltweit zu einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur. Aufgrund der weltweiten Klimaerwärmung werden gravierende Folgen (Überschwemmungen, Wirbelstürme, Gletscherabbrüche in den Alpen usw.) befürchtet. Dem schleichenden Prozess der Klimaerwärmung soll entgegengewirkt werden, indem der Ausstoss von Treibhausgasen reduziert wird.
- **Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur:** Der Energieverbrauch durch den Betrieb der Infrastruktur entsteht durch die Beleuchtung der Strasse und durch den Tunnelbetrieb (Beleuchtung, Belüftung). Je nachdem, wie die benötigte Energie erzeugt wird, ergeben sich wiederum negative Auswirkungen (z.B. Luftverschmutzung bei Öl- oder Kohlekraftwerken) für die Umwelt. Diese negativen Auswirkungen werden getrennt ermittelt und nicht mit den Effekten der Infrastrukturnutzung vermischt, welche in den vorangehenden Punkten berücksichtigt sind.
- **Bodenversiegelung:** Die Böden spielen als Nährstoff- und Wasserspeicher, als Puffer und Lebensraum eine zentrale Rolle im Naturhaushalt. Verkehrsflächen führen zu einer Versiegelung der Böden, so dass sie diese Funktionen nicht mehr erfüllen können. Eine der Nachhaltigkeit verpflichtete Planung der Strasseninfrastruktur strebt daher einen möglichst geringen Flächenbedarf an.
- **Landschafts- und Ortsbild:** Der Verkehr hat unbestreitbar einen erheblichen Einfluss auf das Landschafts- und Ortsbild. Verkehrsinfrastrukturen und deren Nutzung können die Ursprünglichkeit, die Einmaligkeit, die Ästhetik, die Vielfältigkeit, den Erholungswert und den kulturhistorischer Wert einer Landschaft oder eines Orts nachhaltig vermindern.

In der Grundnorm (bzw. im Kommentar dazu, S. 67-70) werden zudem auch jene externen Effekte erwähnt, für die – mit dem heutigen Wissenstand – keine Kostensätze zur Verfügung stehen und daher auch in diesem Projekt **ausgeklammert** bleiben:

- Erschütterungen
- Wert von Naherholungsgebieten oder Sehenswürdigkeiten
- Zerschneidung
- Wasserverschmutzung

Diese Effekte müssen ausserhalb der KNA beurteilt werden, da eine Monetarisierung nicht möglich ist oder sehr unsicher wäre. Ihre Berücksichtigung in der KNA würde ein neues umfassendes Forschungsprojekt nötig machen, was den Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit bei Weitem sprengen würde.

1.3 Vorgaben aus der Grundnorm

Die Grundnorm schreibt lediglich vor, dass die oben beschriebenen sechs externen Effekte zu berücksichtigen sind. Wie genau dies geschehen soll, wird nicht erläutert. Dies soll in der Detailnorm SN 641 828: „Externe Kosten im Strassenverkehr“ erfolgen. Dazu muss in der vorliegenden Studie einerseits festgelegt werden, welche Inputdaten zur Erfassung dieser Effekte benötigt werden. Andererseits ist aufzuzeigen, wie die ermittelten Auswirkungen in Geldeinheiten umzurechnen sind. Dazu sind insbesondere Kostensätze festzulegen.

Die Grundnorm SN 641 820 macht einige Vorgaben, die bei der Erarbeitung dieser Berechnungs- und Bewertungsvorgaben einzuhalten sind. Insbesondere sind folgende Punkte aus der Grundnorm zu beachten:

- Die Bewertungsmethode muss gemäss Ziffer 49.1 der Grundnorm gewählt werden, d.h. es sind so weit als möglich Marktpreise zu verwenden. Liegen keine Marktpreise vor, ist die Bewertung über (in dieser Reihenfolge) einen Hedonic Pricing-³, Zahlungsbereitschafts-⁴, Vermeidungskosten-⁵ oder Ersatzkosten⁶-Ansatz vorzunehmen.
- Für die Berücksichtigung der externen Kosten sind wenn möglich die durch ein Projekt zusätzlich entstehenden Grenzkosten zu bestimmen. Nur wenn die Grenzkosten nicht verfügbar sind, können Durchschnittskosten verwendet werden (vgl. Ziffer 49.5 der Grundnorm).
- Für alle Indikatoren ist sowohl die Bestimmung des Mengen-, wie auch des Wertgerüsts festzulegen (vgl. Ziffern 42-47 und 55-60 der Grundnorm).
- Dabei gilt es auch die Entwicklung des Mengen- und Wertgerüsts über die Zeit festzulegen (vgl. Ziffer 49.6 der Grundnorm). Für die Bewertung von Projekten wird gemäss SN 641 820 (Ziffer 13) jeweils eine Betriebsphase von 40 Jahren nach der Eröffnung des Projektes betrachtet. Deshalb ist davon auszugehen, dass Prognosen bis 2070 nötig sind (bei einer Eröffnung im Jahr 2030). Für diesen langen Prognosehorizont sind pragmatische Ansätze zu wählen.
- Die genaue Bestimmung der Auswirkungen auf einen bestimmten Indikator kann aufwendig sein, wenn z.B. zusätzliche Daten beschafft werden müssen. In diesem Fall ist zu prüfen, ob für Grobevaluationen oder für kleinere Projekte eine einfachere Methode (z.B. die Verwendung von schweizerischen Durchschnittskennzahlen) vorzugeben ist, welche die Abschätzung mit weniger Aufwand erlaubt (vgl. Kapitel B der Grundnorm).

³ Im Hedonic Pricing-Ansatz wird mit statistischen Methoden der Preis eines Gutes aus den Marktpreisen von Gütern, in denen es enthalten ist, bestimmt (z.B. Preis der Ruhe im Mietpreis) (vgl. SN 641 820, Ziffer 4).

⁴ Mit dem Zahlungsbereitschafts-Ansatz wird aufgrund spezieller Umfragen ermittelt, wie viel die Bevölkerung für ein bestimmtes Gut zu zahlen bereit ist. Die Umfrageergebnisse stammen also von einem hypothetischen Markt (vgl. SN 641 820, Ziffer 4).

⁵ Mit dem Vermeidungskosten-Ansatz werden die Kosten von Massnahmen abgeschätzt, welche die Entstehung von Schäden verhindern (vgl. SN 641 820, Ziffer 4).

⁶ Mit dem Ersatzkostenansatz werden die Kosten erfasst, die entstehen, wenn das „zerstörte“ Gut andernorts ersetzt wird (z.B. Ersatz eines wertvollen Biotopes).

- Es ist zu prüfen, aufgrund welcher Daten die Berechnungen an örtliche Gegebenheiten angepasst werden können oder müssen (vgl. Ziffer 49.4 der Grundnorm).

Neben diesen Vorgaben aus der Grundnorm verfolgen wir das Ziel, bei der Bestimmung der Kostensätze **so weit als möglich Schweizer Zahlen** zu verwenden. Wir stützen uns dabei vor allem auf die Arbeiten des ARE (Bundesamt für Raumentwicklung), das die externen Kosten in mehreren Bereichen für die Schweiz berechnen liess, nämlich in den Bereichen Lärm,⁷ Luftverschmutzung (Gesundheitskosten,⁸ Gebäudeschäden⁹ und Vegetationsschäden¹⁰ (Ernteauffälle, Waldschäden und Beeinträchtigung der Bodenqualität)), Klima¹¹ und Bodenversiegelung.¹² Nur wenn keine Zahlen aus Schweizer Studien vorliegen, wird auf ausländische Studien zurückgegriffen.

Teilweise kann auch auf Grundlagen aus NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte)¹³ zurückgegriffen werden. Dabei werden die Methoden wo nötig an neuere Forschungsergebnisse angepasst bzw. weiterentwickelt.¹⁴

Die bisherigen Arbeiten zu den externen Kosten des Verkehrs, insbesondere jene im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, liefern wichtige methodische Grundlagen zur Bewertung von Umweltfolgen des Verkehrs sowie quantitative Ergebnisse zum gesamten Ausmass der externen Verkehrskosten in der Schweiz. Die Arbeiten des ARE sind aber nicht explizit auf die Verwendung in Kosten-Nutzen-Analysen ausgerichtet. Im Zusammenhang mit der Bewertung von einzelnen Strassenprojekten stellen sich vor allem bezüglich der dadurch ausgelösten Zusatz- bzw. Grenzkosten neue Fragen, welche in den ARE-Arbeiten nicht diskutiert werden. Diese zentralen Fragen werden im Rahmen dieses Forschungsprojektes geklärt. Zudem sollen möglichst einfache und benutzerfreundliche Berechnungsvorschläge zur Berücksichtigung der externen Kosten entwickelt werden, so dass diese Effekte in Zukunft bei der Projektevaluation mit vertretbarem Aufwand mitberücksichtigt werden können.

1.4 Verhältnis der Arbeiten zu NISTRA

NISTRA ist ein umfassendes Bewertungssystem für Strasseninfrastrukturprojekte. Die Bewertungsmethode ist eine erweiterte KNA (vgl. folgende Grafik):

⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz.

⁸ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz.

⁹ Infrac und Wüest (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden.

¹⁰ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000.

¹¹ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000.

¹² Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

¹³ ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte.

¹⁴ Dabei wird auch ein Vergleich mit den bisher verwendeten Kostensätzen in NISTRA angestellt, um aufzuzeigen, wie die bisher verwendeten Kostensätze von den neusten Schätzungen abweichen (wird die gesamte Bewertungsmethode geändert, ist ein solcher Vergleich nicht möglich).

- Alle Teilwirkungen, welche sich in monetären Grössen messen bzw. relativ unbestritten in solche umrechnen lassen, werden in einer **Kosten-Nutzen-Analyse** erfasst.
- Die KNA wird erweitert mit Indikatoren, die sich zwar nicht monetarisieren lassen, für die es jedoch möglich ist, eine Umrechnung in Punkte (im Sinne einer Art Nutzwertfunktion) zu definieren. Anschliessend werden die Gesellschafts-, die Wirtschafts- und die Umweltindikatoren jeweils separat mit Gewichten versehen und zu je einer **Gesellschafts-, einer Wirtschafts- und einer Umweltpunktzahl (GWUP)** aggregiert.¹⁵ Die GWUP-Indikatoren ergänzen die KNA.
- Abgerundet wird die Bewertung mit einer Anzahl von **deskriptiven Indikatoren**. Sie bilden Auswirkungen ab, die weder monetarisierbar noch quantifizierbar sind und deshalb weder in die KNA noch in die GWUP-Indikatoren einfließen können, aber weitere wichtige Informationen zur Beurteilung eines Projekts enthalten.
- Die Gesamtabwägung auf Grund von monetarisierten, bepunkteten und qualitativen Elementen ist eine politische Frage, die entsprechend beantwortet werden soll. Dies soll auf der Basis einer gut verdichteten, doch trotzdem transparenten Grundlage geschehen.

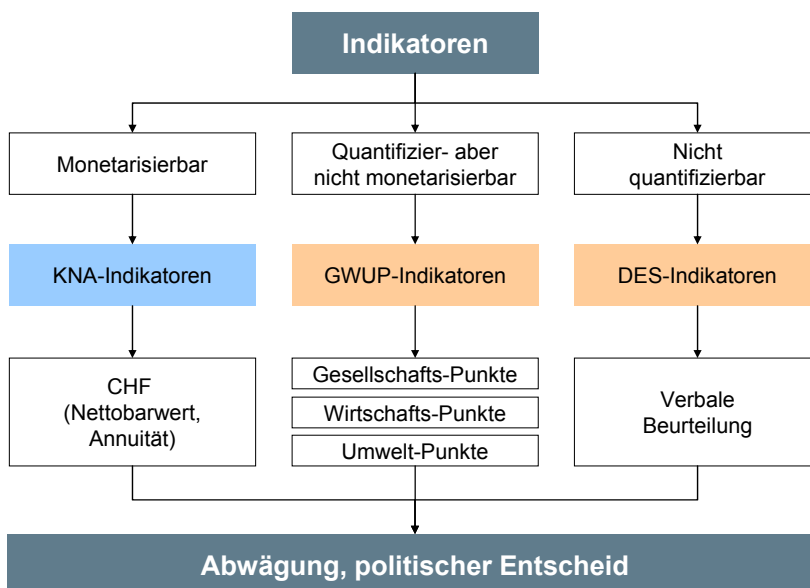
Bei der letzten Überarbeitung von NISTRAS wurde die KNA-Grundnorm SN 641 820 sowie die damals bereits bestehenden Detailnormen in NISTRAS eingebaut.¹⁶ Damit stellt NISTRAS ein Beispiel dar, wie nicht monetarisierbare Effekte neben einer KNA berücksichtigt werden können.

Die Vorgaben, welche in dieser Forschungsarbeit entwickelt werden, sollen nach Abschluss der Arbeiten ebenfalls in NISTRAS übernommen werden. Dies stellt sicher, dass nicht mehrere Vorgaben gleichzeitig existieren.

¹⁵ Das Verfahren entspricht einer Nutzwertanalyse, die aber beschränkt auf die nicht-monetarisierbaren Indikatoren ist und nur bereichsweise (d.h. für Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt separat) aggregiert wird. Aufgrund dieser Besonderheiten sprechen wir – um Verwirrungen zu vermeiden – nicht von Nutzwertanalyse.

¹⁶ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRAS.

Grafik 1-2 Grundprinzip von NISTRA: KNA erweitert um Gesellschafts-, Wirtschafts- und Umweltpunkte sowie um deskriptive Indikatoren



1.5 Gültigkeit der Werte

Beim Wertgerüst verwenden wir in dieser Studie immer den **Preisstand** des Jahres **2000**, da die meisten Daten in 2000er Preisen vorliegen. In den einzelnen Kapiteln zu den sechs verschiedenen externen Effekten wird erläutert, wie die Werte auf einen anderen Preisstand angepasst werden müssen (z.B. mit dem Nominallohnwachstum, vgl. Grundnorm Ziffer 49.2).

Nach Vorgabe der SN 641 820 (Ziffer 49.3) werden alle Kostensätze zu **Faktorpreisen**¹⁷ (nicht zu Marktpreisen) ausgewiesen.

1.6 Vorgehen

Die Arbeiten in diesem Projekt stützen sich im Wesentlichen auf eine Literaturrecherche. Die am besten geeigneten Methoden werden übernommen und wo nötig angepasst bzw. weiterentwickelt. In den Bereichen Lärm und Luftverschmutzung wurden zudem weitere Akustik- bzw. Luftverschmutzungs-Experten im Rahmen von je einem Workshop in die Erarbeitung einbezogen (vgl. Anhang A). An den beiden Workshops wurden Entwürfe zu den beiden Kapiteln Lärm und Luftverschmutzung diskutiert und bereinigt. Verschiedene bis zum Workshop noch ungeklärte Fragen und Detailprobleme konnten mit Hilfe des Expertenwissens geklärt werden.

¹⁷ Kosten zu Marktpreisen abzüglich der indirekten Steuerbelastung (z.B. durch MWST und Treibstoffsteuern) werden Faktorpreise genannt (SN 641 820, Ziffer 4.10).

1.7 Gliederung des Berichtes

Der Bericht ist wie folgt gegliedert: In den folgenden sechs Kapiteln werden die sechs externen Effekte erläutert: Lärm, Luftverschmutzung, Klima, Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur, Bodenversiegelung sowie Landschafts- und Ortsbild. Dabei ist jedes Kapitel in sechs Unterkapitel gegliedert:

- Kapitel X.1: Einleitung: Zuerst wird kurz erläutert, was bewertet wird und wie dabei vorgegangen wird.
- Kapitel X.2 Mengengerüst: Hier werden die benötigten Inputdaten beschrieben. Falls die Inputdaten nicht das eigentliche Mengengerüst darstellen, wird erläutert, wie aus den Inputdaten das Mengengerüst ermittelt werden kann.¹⁸ Ausserdem wird gezeigt, wie das Mengengerüst an örtliche Gegebenheiten angepasst werden kann.
- Kapitel X.3 Wertgerüst: Hier wird zuerst erläutert, welche Bewertungsmethode verwendet wird (z.B. Zahlungsbereitschaft oder Vermeidungskosten sowie Durchschnitts- oder Grenzkosten). Dann wird die Bestimmung des Wertgerüsts erklärt. Zudem werden Anpassungen an örtliche Gegebenheiten und an einen anderen Preisstand besprochen.
- Kapitel X.4 Veränderung über die Zeit: Die KNA muss gemäss SN 641 820 (Ziffer 13) einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren nach Eröffnung des Projektes haben. Deshalb müssen Prognosen für die Veränderungen des Mengen- und Wertgerüsts getroffen werden.
- Kapitel X.5 Vereinfachte Methode: Die in den Kapitel X.2 bis X.4 präsentierten Methoden sind teilweise anspruchsvoll. Deshalb wird anschliessend erläutert, wie die Berechnung der Auswirkungen für kleinere Projekte und Grobbewertungen vereinfacht werden kann.
- Kapitel X.6 Vergleich mit NISTRA: Zum Abschluss wird die vorgeschlagene Methode mit der momentan in NISTRA verwendeten Methode verglichen. Es ist nochmals zu betonen, dass die hier vorgeschlagenen Methoden nach Abschluss der Arbeiten in NISTRA übernommen werden sollen.

¹⁸ Beispielsweise können die Inputzahlen Fahrzeugkilometer sein, die zuerst noch in Emissionen von Treibhausgasen umgerechnet werden müssen.

2 Lärm

2.1 Einleitung

Die verkehrsbedingten Lärmkosten am Wohnort teilen sich in zwei Bereiche auf (vgl. Grafik 2-1):

- Einerseits werden die **Mietzinsausfälle** bestimmt, die sich dadurch ergeben, dass belärmte Wohnungen einen tieferen Mietzins erreichen als vergleichbare ruhige Wohnungen. Die Mietzinsausfälle können als Mass der subjektiven Lärmbelastung aufgefasst werden. Es werden nicht Mietwohnungen berücksichtigt, sondern auch Wohnungen im Eigentum.
- Andererseits werden die durch den Lärm verursachten **Gesundheitskosten** (Krankheits- und Todesfälle) ermittelt. Dabei sind die medizinischen Behandlungskosten, die Produktionsausfälle und die immateriellen Kosten (für Schmerz und Leid) zu berücksichtigen.

Dies sind auch die Bereiche, die gemäss Grundnorm (SN 641 820, Ziffer 55) in der Detailnorm abgedeckt werden müssen.¹⁹

Damit werden im Folgenden **nur** die Auswirkungen des **Lärms am Wohnort** betrachten. Weitere Auswirkungen des Lärms werden jedoch bei der Monetarisierung **nicht berücksichtigt** wie beispielsweise:²⁰

- Auswirkungen des Lärms in Schutz- und Erholungsgebieten
- Auswirkungen des Lärms am Arbeitsplatz (Produktionsausfälle durch verminderte Leistungsfähigkeit des Personals, Kosten von Schallschutzmassnahmen)
- Verluste durch Auszonung oder Nicht-Einzonung von Grundstücken in der Raumplanung, sowie auch Auswirkungen auf nicht überbautes Bauland (sogenanntes Bauerwartungsland)
- Kosten von Schallschutzmassnahmen an Wohngebäuden (Schallschutzfenster)

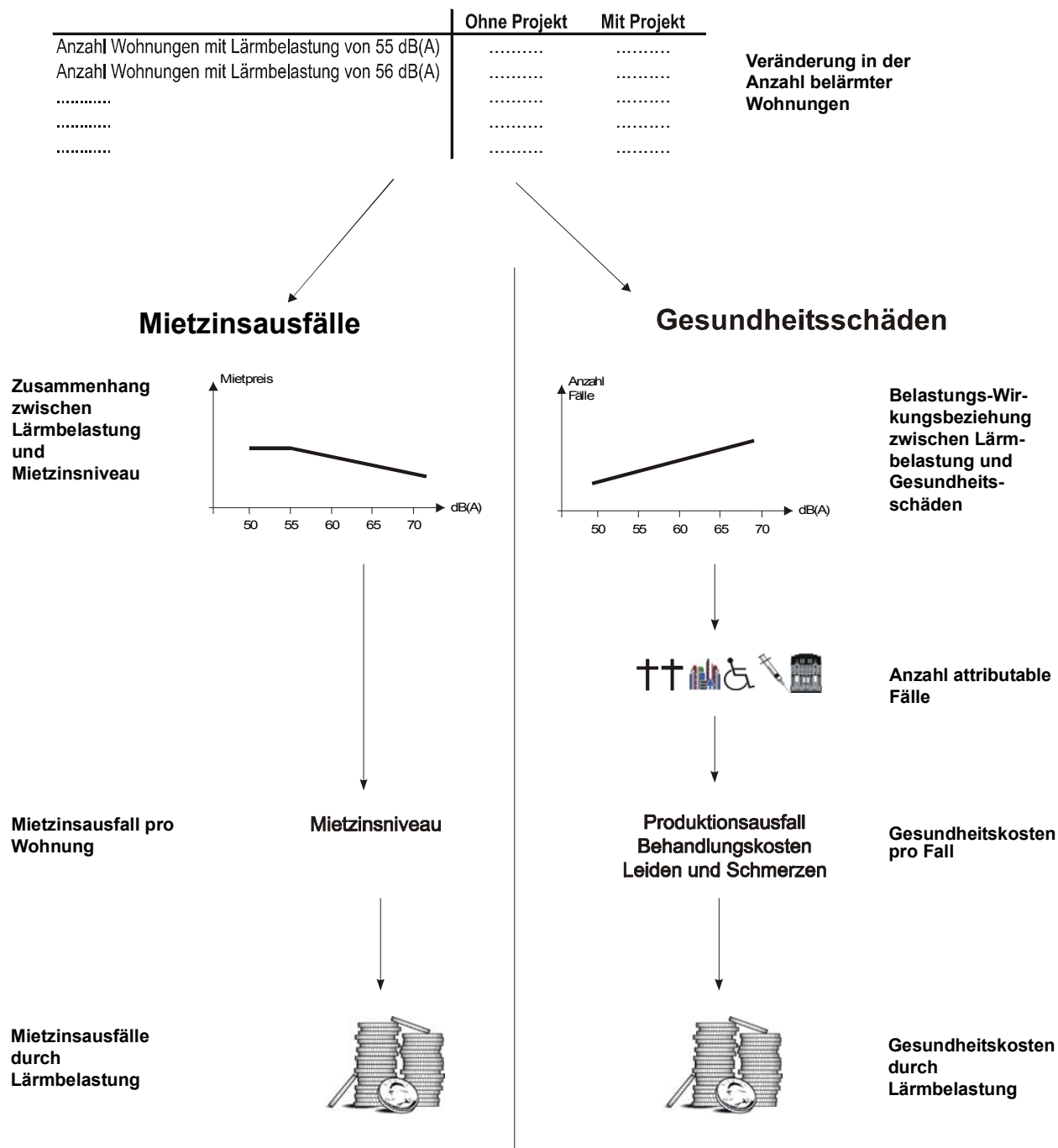
Diese Bereiche müssen bei einer Monetarisierung vernachlässigt werden, da dazu keine Kostensätze zur Verfügung stehen. Die Bereiche sollten ausserhalb der KNA in die Bewertung miteinbezogen werden.²¹

¹⁹ Die gleichzeitige Berücksichtigung von Gesundheitsschäden und Mietzinsausfällen wirft die Frage nach allfälligen Doppelzählungen auf. Wir gehen davon aus, dass Schlaf- und Kommunikationsstörungen sich in tieferen Mietpreisen niederschlagen. Diese Bereiche werden deshalb bei den Gesundheitskosten nicht berücksichtigt. Aber es besteht ein Konsens, dass bei weniger bekannten Effekten (wie ischämischen Herzkrankheiten (mangelnde Versorgung mit Blut) und Bluthochdruck bedingten Krankheiten) Doppelzählungen nicht zu erwarten sind, da sich die Bevölkerung dieser Effekte nicht bewusst ist (Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 6 und Navrud 2002, The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 5).

²⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 4-5.

²¹ Ein Beispiel, wie dies geschehen kann, wird in Ecoplan (2007, Handbuch eNISTRA, S. 106) dargestellt.

Grafik 2-1: Ermittlung der verkehrsbedingten Lärmkosten



In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte der Lärm (am Wohnort) durchschnittlich 1.0% aller monetarisierten Indikatoren aus. In allen 17 Projekten schwankte die Bedeutung des Lärms zwischen 0.0% und 2.8%.²² Allerdings wurde für die Pilotanwendungen noch eine sehr

²² Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

grobe Methode zur Bewertung des Lärms verwendet.²³ Es ist nicht klar, ob mit der neuen, im Folgenden entwickelten Methode die Ergebnisse höher oder tiefer liegen (je nach untersuchten Projekt ist grösser und kleiner möglich, der Durchschnitt ist unklar).

Im Folgenden muss also zuerst das Mengengerüst bestimmt werden (Anzahl belärmte Wohnungen für die Mietzinsausfälle und Anzahl belärmte Personen für die Gesundheitskosten), dann muss das Wertgerüst (Kostensätze) ermittelt werden.

2.2 Mengengerüst

2.2.1 Benötigte Inputdaten

Die Bestimmung der Lärmkosten ist keineswegs trivial, denn die Lärmbelastung nimmt kaum zu, wenn ein zusätzliches Fahrzeug über eine Strasse fährt. Die Grenzkosten einer zusätzlichen Fahrt sind also häufig vernachlässigbar klein. Grössere Veränderungen der Verkehrsmenge auf einer bestimmten Strasse führen jedoch zu hörbaren Be- oder Entlastungen. Der Bau einer neuen Umfahrungsstrasse z.B. kann zu einer Entlastung im Ortskern führen. Gleichzeitig erhöht er jedoch die Lärmbelastung entlang der Umfahrungsstrasse (ausser diese verläuft in einem Tunnel). Das Ergebnis hängt stark von der konkreten Situation ab. So ist es auch möglich, dass die Entlastung kaum wahrnehmbar, die Mehrbelastung jedoch spürbar ist.

Eine erste wichtige Frage bei der Ermittlung des Mengengerüsts ist, wie der zu betrachtende Raum abgegrenzt werden muss, d.h. in welchem Gebiet sind Veränderungen der Lärmbelastung zu berücksichtigen. Bei der **Abgrenzung des Untersuchungsraumes** ist es wichtig, dass geringe Veränderungen in der Verkehrsmenge als nicht wahrnehmbar gelten. Konkret gelten Veränderungen des Lärms unter 1 dB(A) als nicht wahrnehmbar (vgl. Anhang B). Deshalb sind für die Bestimmung der Lärmkosten nur Strassen mit einer starken Veränderung der Verkehrsmenge zu betrachten wie z.B. Neubaustrecken und deren Zulaufstrecken sowie die entlasteten alten Strassen. Der Untersuchungsraum muss **mindestens alle Strassen mit einer Veränderung der Verkehrsmenge um mindestens den Faktor 1.25** enthalten (Zunahme um 25% oder Abnahme um 20% – dies gilt bei gleichbleibendem Schwerverkehrsanteil und gleicher Geschwindigkeit, vgl. Anhang B). Die gewählte Abgrenzung des Untersuchungsraums ist zu begründen.

Bei der Berechnung der Auswirkungen auf den Lärm ist es wichtig, welche Inputdaten für die Bewertung zur Verfügung stehen. Um in der Praxis anwendbar zu sein, dürfen die Anforderungen nicht zu hoch sein. Andererseits sollen auch ohnehin vorhandene Daten (z.B. aus der Umweltverträglichkeitsprüfung) benutzt werden. Für das weitere Vorgehen wird zwischen Lärm in der Betriebs- und Bauphase der Verkehrsinfrastruktur unterschieden.

²³ Damals wurden nur zusätzliche oder wegfallende Grenzwertüberschreitungen (55 dB(A) tags) berücksichtigt.

a) Betriebsphase

In Deutschland (EWS²⁴) findet für die Ermittlung des Lärms in der Betriebsphase ein sehr umfassendes und kompliziertes Verfahren Anwendung: Die Lärmbelastung (bzw. das Mengengerüst) wird sehr differenziert betrachtet. Dabei werden Verkehrsstärke (DTV), Schwerverkehrsanteil, Geschwindigkeit, Strassenoberfläche, Steigung, Abstand des Hauses von der Strasse, Boden- und Meteorologiedämpfung und Mehrfachreflexion und die Zahl der betroffenen Personen berücksichtigt. Dieses Verfahren ist mittlerweile schon relativ alt. Es legt jedoch den Einsatz eines modernen Lärmmodells nahe, welches die erwähnten Faktoren mitberücksichtigen kann.

Im EU-Projekt HEATCO, in dem Vorschläge für eine KNA für grenzüberschreitende Projekte gemacht werden, werden als Inputdaten die Anzahl der von einem bestimmten Lärmniveau betroffenen Personen verlangt.²⁵

Auch in der Schweiz ist die Berechnung solcher Daten möglich (vgl. unten). Deshalb soll auch für die Schweiz eine Methode vorgeschlagen werden, die auf detaillierte Daten zur Lärmbelastung zurückgreift. Sowohl für den Projektfall als auch für den Referenzfall sind also folgende Daten für den **Taglärm** zu beschaffen (für den Nachtlärm siehe Ausführungen in Kapitel 2.3.2).²⁶

- Anzahl **Wohnungen**, die einem gewissen Lärmniveau ausgesetzt sind, wobei für Lärmniveaus über 55 dB(A) nach Lärmklassen von 1 dB(A) unterschieden wird (d.h., 55 dB(A), 56 dB(A), 57 dB(A), ... – dabei werden die üblichen Rundungen verwendet, d.h. die Klasse 55 dB ist z.B. definiert als 54.5 bis 55.4 dB(A), vgl. Tabelle 2-1)
- Anzahl **Personen**, ebenfalls nach 1 dB(A)-Lärmklassen über 55 dB(A)²⁷

Daraus lässt sich sofort für jede Lärmklasse berechnen, wie viele Wohnungen bzw. Personen durch das Projekt mehr oder weniger dem entsprechenden Lärmniveau ausgesetzt sind (für Wohnungen vgl. Tabelle 2-1, für Personen ist eine identisch strukturierte Tabelle zu erstellen). Diese **Veränderungen der belasteten Wohnungen bzw. Personen nach Lärmklassen** dienen als Inputdaten in die KNA.

²⁴ EWS (1997), Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen EWS und EWS (1997), Kommentar zum Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen EWS.

²⁵ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 143-155.

²⁶ Die hier beschriebenen Inputdaten für eine KNA werden im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) nicht benötigt, d.h. für eine KNA sind zusätzliche Daten zu erheben. Im Rahmen der UVP wird nur der jeweils lauteste Punkt eines Gebäudes betrachtet. In der UVP wird aber kein Bezug vom Gebäude zu den Wohnungen resp. den Personen hergestellt. Diese Verknüpfung zwischen belärmten Gebäuden und Wohnungen bzw. Personen muss als einzige Ergänzung zur UVP hergestellt werden. Nach einem Hektarraster sind diese Daten in der Lärmdatenbank Schweiz (vgl. Exkurs unten) enthalten, genauere Daten sind beim Bundesamt für Statistik vorhanden.

²⁷ Falls das Lärmmodell die Berechnung der Anzahl Personen und Wohnungen nicht direkt erlaubt, kann eine Umrechnung über die durchschnittliche Anzahl Personen pro lärmbelastete Wohnung von 1.94 verwendet werden ($1.94 = 2'234'008 \text{ Personen} / 1'151'123 \text{ Wohnungen}$ (Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 37).

Tabelle 2-1: Berechnung der Veränderung der Lärmbelastung für ein fiktives Projekt

Wohnungen mit einer Lärmbelastung von	Projektfall	Referenzfall	Veränderung
55 dB(A) (54.5 - 55.4)	8000	7000	1000
56 dB(A) (55.5 - 56.4)	8000	7000	1000
57 dB(A) (56.5 - 57.4)	8500	7500	1000
58 dB(A) (57.5 - 58.4)	8500	7500	1000
59 dB(A) (58.5 - 59.4)	9000	8000	1000
60 dB(A) (59.5 - 60.4)	9000	8000	1000
61 dB(A) (60.5 - 61.4)	8900	8000	900
62 dB(A) (61.5 - 62.4)	8800	8000	800
63 dB(A) (62.5 - 63.4)	8200	7500	700
64 dB(A) (63.5 - 64.4)	8100	7500	600
65 dB(A) (64.5 - 65.4)	7500	7000	500
66 dB(A) (65.5 - 66.4)	6900	6500	400
67 dB(A) (66.5 - 67.4)	6300	6000	300
68 dB(A) (67.5 - 68.4)	5700	5500	200
69 dB(A) (68.5 - 69.4)	4600	4500	100
70 dB(A) (69.5 - 70.4)	3500	3500	0
71 dB(A) (70.5 - 71.4)	2400	2500	-100
72 dB(A) (71.5 - 72.4)	1300	1500	-200
73 dB(A) (72.5 - 73.4)	200	500	-300
74 dB(A) (73.5 - 74.4)	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮

Bei der Berechnung der Lärmveränderungen ist vom Gesamtlärm auszugehen, d.h. auch andere Lärmquellen sind zu berücksichtigen, denn der Bau einer Strasse entlang einer bestehenden Schienenverbindung führt zu einer geringeren Veränderung in der Gesamtlärmbelastung als der Bau durch ein bisher nicht lärmbelastetes Gebiet.

Wir gehen bei diesen Datenanforderungen davon aus, dass Lärmveränderungen erst ab einem Lärmniveau von **55 dB(A) tags** berücksichtigt werden. Lärmveränderungen unter diesem Niveau werden nicht berücksichtigt. Die Grenze von 55 dB(A) tags entspricht dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärmschutz-Verordnung und wurde auch bei der Monetarisierung der Lärmkosten für das Jahr 2000 verwendet.²⁸ Diese Untergrenze kann als vorsichtig bezeichnet werden. Tatsächlich zeigen Untersuchungen,²⁹ dass auch bei tieferen Werten der Lärm als störend empfunden wird und selbst unter 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft zu einer weiteren Lärmverminderung bestehen würde.³⁰ Deshalb wird teilweise die Meinung vertreten, dass 50 dB(A) ein geeigneteres minimales Lärmniveau darstellt als 55

²⁸ BUWAL (1998), Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen, S. 29 und EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 55.

²⁹ Finegold et al. (1994), Community Annoyance and Sleep Disturbance und Miedema und Vos (1998), Exposure-response relationships for transportation noise.

³⁰ Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26 und Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, Annex E.

dB(A).³¹ Wir halten uns jedoch an die Lärmschutzverordnung und an die bisherigen Studien zur Monetarisierung des Lärms in der Schweiz.

Die Daten für die Tabelle 2-1 können mit jedem modernen Lärmberechnungsmodell ermittelt werden, sofern die berechneten Lärmdaten mit den entsprechenden Statistikdaten (Wohnungen und Personen) verknüpft werden können. Fehlen die Personen- und Wohnungsdaten, so können diese Werte auch über die Flächen der Wohngebäude (unter Berücksichtigung der entsprechenden Kennwerte) abgeschätzt werden. Der folgende Exkurs enthält einige Erläuterungen zur Lärmdatenbank Schweiz.

Lärmdatenbank Schweiz

Ab Ende 2007 verfügt das BAFU mit der Lärmdatenbank Schweiz (LDBS) über ein modernes und leistungsfähiges Berechnungstool.³² Damit lassen sich die Daten für Personen und Wohnungen (gemäss Tabelle 2-1) mit vernünftigem Aufwand für ein neues Strassenprojekt ermitteln. In der LDBS werden erstmals der Strassen-, Schienen- und Flugverkehrslärm in der Gesamtschweiz abgebildet. Damit erfolgt eine Lärmkartierung analog der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie 2002/49/EG. Die LDBS umfasst folgende Komponenten: Ein Lärmberechnungsmodell (CadnaA) zur Berechnung der Lärmdaten, eine Datenbank (Oracle) zur Verwaltung der grossen Datenmengen und ein geografisches Informationssystem (Arcgis) zur Auswertung und Verschneidung der Lärmdaten mit beliebigen weiteren Daten wie Raumplanungsdaten oder Statistikdaten (wie Bevölkerung und Wohnungen). Für die Berechnung von Strassenlärm stehen in der LDBS, flächendeckend über die gesamte Schweiz, unter anderem folgende Inputdaten zur Verfügung:³³

- Digitales Geländemodell (Grundlage VEKTOR25)
 - Strassennetz
 - Eisenbahnnetz
 - Primärflächen
 - Gebäude (nur Lage, Höhe als Default-Wert)
 - Höhenkurven 10m, z.T. 5m (DHM25-Basismodell) und damit Steigungen (für Lärmemissionen relevant)
- Strassenverkehr³⁴
 - Nationales Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK und damit Verkehrsstärke
 - Pauschalisierte Annahmen für die vom UVEK nicht erfassten, relevanten Strassen

³¹ Müller-Wenk und Hofstetter (2003), Monetarisierung verkehrsbedingter Gesundheitsschäden, S. 54 und Navrud (2002), The State of the Art on Economic Valuation of Noise, S. 26.

³² Mail des BAFU vom 12.6.2007.

³³ Mail von und Telephon mit Herrn Höin vom 16.8.2007.

³⁴ Nicht berücksichtigt sind jedoch Kurven (Lärmemissionen durch Bremsen und Beschleunigen).

- Festlegung der Geschwindigkeiten (Autobahn = 120, ausserorts = 80, innerorts = 50 km/h)
- Annahmen Schwerverkehr (Normangaben aus der Lärmschutz-Verordnung, d.h. 10% tags und 5% nachts)
- Statistik (Grundlage Volkszählung 2000)
 - Wohnbevölkerung
 - Wohnungen
- Raumplanung
 - Bauzonen
 - Lärmempfindlichkeitsstufen (ohne Aufstufungen)
 - Siedlungsgebiete
 - Kantonsgrenzen
 - Gemeindegrenzen
- Massnahmen³⁵
 - Lärmschutzwälle und -wände an Nationalstrassen (nur Lage)
 - Default-Werte für die Höhen der Massnahmen

Das Lärmmodell selbst berücksichtigt die Boden- und Luftdämpfung. Die Dämpfung durch Hindernisse wie Gebäude, Lärmschutzwälle und Topographie (Hügel etc.) ist ebenfalls enthalten, jedoch nicht die Dämpfung durch Bäume, Büsche etc. Nicht berücksichtigt ist die Häufigkeit von Temperaturinversionen (die den Lärm verstärken). Die Genauigkeit der Resultate kann durch die Verfeinerung der Inputdaten und die Festlegung der Berechnungsparameter (wie z.B. Berücksichtigung der Reflexionen (bzw. des Echos)) beliebig gesteigert werden.

b) Bauphase

Bisher haben wir nur die Betriebsphase der neuen Strasse betrachtet. Natürlich können aber auch während der **Bauphase** grössere Lärmbelastungen entstehen. Dabei ist einerseits an den Baulärm und andererseits an Umwegfahrten zu denken.

Die Auswirkungen von **Umwegfahrten** (Umleitungen) könnten prinzipiell genau gleich behandelt werden wie die Veränderungen in der Betriebsphase. Für die relativ kurze Bauphase kann aber kaum derselbe Aufwand getrieben werden wie für die Betriebsphase. Wir nehmen daher an, dass für Umwegfahrten keine komplexen Computerberechnungen (Verkehrs- und Lärmmodell) angestellt werden. Wenn Umwegfahrten überhaupt miteinbezogen werden, dann mit einfacheren Methoden, d.h. mit der in Kapitel 2.5 vorgestellten einfacheren Bewer-

³⁵ Nicht berücksichtigt sind jedoch Strassenoberflächen (Belagszustand, Flüsterbelag etc.).

tungsmethode. Bei vielen Fällen sind jedoch keine Umwegfahrten nötig oder die Umleitung erfolgt nur während einer so kurzen Zeit, dass deren Effekte vernachlässigt werden können.

Die Auswirkungen von **Baulärm** können mit den üblichen Lärmmodellen nicht berechnet werden, da der Baulärm nach Schweizer Umweltrecht nicht ein Bestandteil des Strassenlärms ist³⁶ und somit in den Strassenverkehrsmodellen nicht enthalten ist.³⁷ Somit ist der Baulärm (mit vernünftigem Aufwand) nicht monetarisierbar. Der Baulärm kann deshalb lediglich **deskriptiv** in der Bewertung berücksichtigt werden.

2.2.2 Berechnung des Mengengerüsts

Die erhobenen Inputdaten entsprechen direkt dem Mengengerüst. Es ist keine Umrechnung nötig.

2.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Die Berechnung des Mengengerüsts mittels eines Computermodells berücksichtigt bereits die örtlichen Gegebenheiten.³⁸

2.3 Wertgerüst

2.3.1 Bewertungsmethode

Beim Wertgerüst stützen wir uns auf die ARE-Studie zu den Lärmkosten in der Schweiz.³⁹ Für die Mietzinsausfälle wird die Hedonic Pricing Methode verwendet. Die medizinische Heilungskosten und die Nettoproduktionsausfälle können beide über Marktpreise bestimmt werden. Die immateriellen Kosten werden über Zahlungsbereitschaften monetarisiert.

Aufgrund des zur Verfügung gestellten Mengengerüsts können die durch das Projekt zusätzlich ausgelösten Kosten bestimmt werden (Grenzkosten). Falls die zusätzlichen Kosten nicht verfügbar wären, müsste auf Durchschnittskosten zurückgegriffen werden.

2.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Das im Folgenden hergeleitete Wertgerüst bezieht sich wie in der ARE-Studie immer auf Faktorpreise des Jahres 2000.

³⁶ Der Baulärm wird nach der Baulärm-Richtlinie des BAFU behandelt (Mail von Herrn Höin vom 16.8.2007).

³⁷ Zudem dürfte eine Berechnung deutlich komplexer sein, da die verschiedenen Bauphasen unterschiedlich lärmintensiv sind – im Gegensatz dazu ist der Strassenlärm ein relativ gleichmässiges Geräusch.

³⁸ Einzig wenn das Modell zur Berechnung des Lärms nur die Anzahl Wohnungen berechnen kann, aber nicht die Anzahl Personen (oder umgekehrt), kann beim Vorliegen lokaler Daten vom Durchschnitt von 1.94 Personen pro Wohnung abgewichen werden (vgl. Fussnote 27).

³⁹ EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs.

a) Mietzinsausfälle

In der ARE-Studie⁴⁰ wird für die Monetarisierung der Mietzinsausfälle hergeleitet, dass die Mietzinsabnahme 0.8% pro dB(A) beträgt (dies gilt unabhängig von den Eigentumsverhältnissen (Mietwohnung, Eigentumswohnung)). Wie erwähnt werden dabei nur Lärmniveaus über 55 dB(A) berücksichtigt. Dies bedeutet, dass eine Lärmveränderung unter 55 dB(A) keinen Einfluss auf die Mietpreise hat. Jedes Dezibel über 55 dB(A) reduziert den Mietpreis linear um 0.8%. Dies wird in Grafik 2-1 (Seite 16 links an zweiter oberster Position) dargestellt.

Da die Studien, aufgrund derer die Mietpreisreduktion von 0.8% pro dB(A) bestimmt wurde, alle von Daten zum Tageslärm ausgehen, müssen bei der Ermittlung der Mietzinsausfälle für ein Strassenprojekt ebenfalls Daten zum Tageslärm verwendet werden.

Das Mietzinsniveau in der Schweiz betrug im Jahr 2000 durchschnittlich 1'107 CHF pro Wohnung und pro Monat oder 13'281 CHF pro Jahr.⁴¹ Die **Mietzinsausfälle** von 0.8% pro dB(A) entsprechen also einem Betrag von **106.25 CHF pro Jahr, Wohnung und dB(A) Tageslärm**. Wird durch den Neubau einer Strasse eine Wohnung neu z.B. mit 60 dB(A) statt 55 dB(A) belastet, so können die damit verursachten Mietzinsausfälle auf 531 CHF / Jahr (= (60 – 55) * 106.25) veranschlagt werden.

b) Gesundheitskosten

Während die Herleitung des Wertgerüsts bei den Mietzinsausfällen relativ einfach ist, sind bei den Gesundheitskosten grössere Schwierigkeiten zu meistern. Die Gesundheitskosten machen zwar nur 11.4% der Strassenlärmkosten des Jahres 2000 aus, doch die Verwendung dieses Prozentsatzes auf die oben bestimmte Mietzinsreduktionen würde zu falschen Ergebnissen führen, da die Gesundheitskosten erst ab 65 dB(A) tags oder 50 dB(A) nachts berücksichtigt werden.⁴² Deshalb wird im Folgenden das Wertgerüst für die Gesundheitsschäden detailliert hergeleitet.

Die Ermittlung der Gesundheitskosten erfolgt in der ARE-Studie über ischämische Herzkrankheiten (mangelnde Versorgung mit Blut) und Bluthochdruck bedingte Krankheiten. Für beide Krankheitsbilder wurde untersucht, wie die Belastungs-Wirkungsbeziehung zwischen der Lärmbelastung und der Häufigkeit der Krankheit ausfällt.⁴³ Es zeigt sich, dass unter 65 dB(A) Tageslärm keine ischämischen Herzkrankheiten auftreten. Darüber geht die Studie von einer linearen Zunahme der Anzahl Fälle bei steigendem Lärmniveau aus (vgl. Grafik 2-2). Für Bluthochdruck bedingte Krankheiten zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei nun Kosten ab einem Lärmniveau von 50 dB(A) Nachtlärm auftreten.

⁴⁰ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 56ff.

⁴¹ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 59.

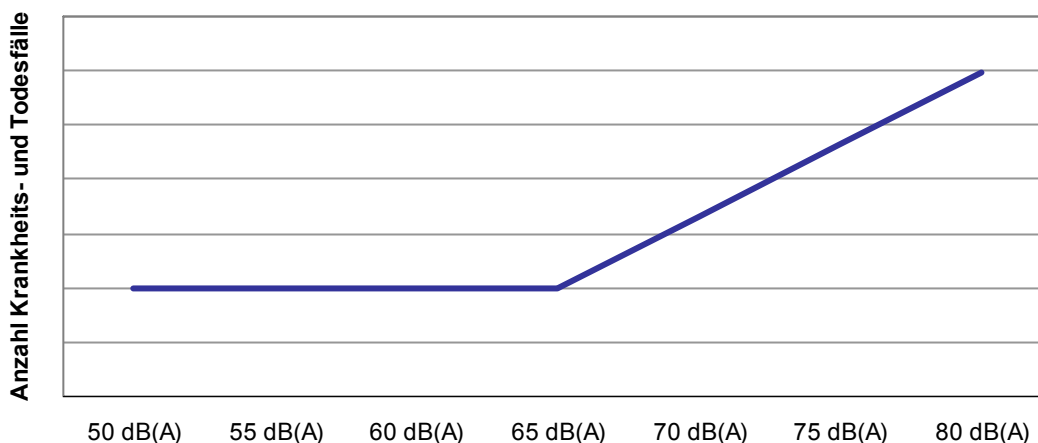
⁴² Der Tag entspricht gemäss schweizerischer Umweltgesetzgebung 6 – 22 Uhr, die Nacht 22 – 6 Uhr (Ecoplan, 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 18).

⁴³ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 75ff.

In der ARE-Studie⁴⁴ wurde – ausgehend von den Grundhäufigkeiten der Krankheiten in der Bevölkerung (ohne Lärm), der oben bestimmten Zunahme dieser Krankheiten bei Lärmniveaus über 65 dB(A) tags bzw. 50 dB(A) nachts sowie des gesamten Mengengerüsts für die Schweiz (Anzahl Personen nach Lärmniveaus) – berechnet, wie viele Personen in der Schweiz aufgrund des Lärms vorzeitig sterben oder erkranken. Dieses Mengengerüst wurde mittels Kostensätzen monetarisiert. Ausgehend von diesen Grundlagen in der ARE-Studie wurde für die vorliegende Arbeit eine weiterführende Auswertung (vgl. folgender Exkurs) mit folgendem Ergebnis vorgenommen:

- Der Kostensatz für **ischämische Herzkrankheiten** beläuft sich auf **16.87 CHF pro Person und Jahr pro dB(A) Lärmbelastung über 65 dB(A) Tageslärm**.
- Für **Bluthochdruck bedingte Krankheiten** ergibt sich ein Kostensatz von **14.65 CHF pro Person und Jahr pro dB(A) Lärmbelastung über 50 dB(A) Nachtlärm**.

Grafik 2-2: Zunahme der ischämischen Herzkrankheiten bei Lärmniveaus über 65 dB(A) tags



Die Anwendung dieser beiden Kostensätze erfordert, dass das Mengengerüst der belasteten Personen sowohl für den Tageslärm als auch für den Nachtlärm erhoben werden muss. Die Lärmberechnungsmodelle (wie z.B. die LDBS) können auch Werte für den Nachtlärm berechnen. Für die Berechnung des Nachtlärms sind jedoch einige Anpassungen in der Berechnung nötig:

- Die Verkehrsstärke ist in der Nacht tiefer.
- Aufgrund des Nachtfahrverbots gibt es weniger Schwerverkehr (nur verderbliche Güter etc.)

⁴⁴ Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 79 – 88 und 91 – 121.

Exkurs: Berechnung der Kostensätze für die Gesundheitskosten

Für die Ermittlung der Gesundheitskosten wird für ischämische Herzkrankheiten und für Bluthochdruck je ein Kostensatz pro dB(A) Lärm und pro Person benötigt. Diese Werte sind in der ARE-Studie nicht aufgeführt und müssen deshalb für das vorliegende Projekt neu ermittelt werden.⁴⁵ Ausgangspunkt dazu sind die in der folgenden Tabelle dargestellten Ergebnisse zu den lärmbedingten Gesamtkosten der beiden Krankheiten.

Tabelle 2-2: Lärmbedingte Krankheitskosten im Strassenverkehr im Jahr 2000 in der Schweiz

	Ischämische Herzkrankheiten	Bluthochdruck bedingte Krankheiten	Total
Kosten in Mio. CHF	24.24	74.85	99.09

Diese Kosten müssen nun in ein Verhältnis zu der zu Grunde liegenden Lärmbelastung gesetzt werden. Dazu wird die Einheit dB(A) Lärm pro Person über 65 dB(A) tags oder 50 dB(A) nachts verwendet. Im oberen Teil von Tabelle 2-3 werden dazu die lärmbelasteten Personen aus der ARE-Studie übernommen,⁴⁶ d.h. es wird angegeben, wie viele Menschen in der Schweiz durch den Strassenlärm einem Lärmniveau über 65 dB(A) tags bzw. 50 dB(A) nachts ausgesetzt sind. Der rechte Teil der Tabelle zeigt, um wie viele dB(A) die Personen über der Grenze von 65 bzw. 50 dB(A) belastet sind. Aus diesen Daten wird dann die Zahl der dB(A) pro Person über einem Lärmniveau von 65 bzw. 50 dB(A) berechnet, was 1.4 bzw. 5.1 Mio. dB(A) pro Person ergibt (z.B. 1.4 Mio. = 423'920 * 2 + 83'930 * 7 + 155 * 12). Werden die Kosten aus Tabelle 2-2 nun durch diese Zahlen dividiert, so ergeben sich daraus die im Haupttext dargestellten Kostensätze, die auch in Tabelle 2-3 aufgeführt sind.

Tabelle 2-3: Ermittlung der relevanten Strassenlärmbelastung und des Kostensatzes

Lärmbelastung in dB(A)	Tageslärm	Nachtlärm	Durchschnittliche Belastung in dB(A) über	
	Personen	Personen	65 dB(A)	50 dB(A)
49.5 - 54.4		555'139		2
54.5 - 59.4		362'071		7
59.5 - 64.4		120'077		12
64.5 - 69.4	423'920	1'334	2	17
69.5 - 74.4	83'930	11	7	22
> 74.5	155	-	12	27
Lärmbelastung in dB(A) für alle Personen über 65 dB(A) bzw. 50 dB(A)	1'437'206	5'108'623		
Kosten in Mio. CHF	24.24	74.85		
Kosten in CHF pro dB(A) pro Person über 65 dB(A) bzw. 50 dB(A)	16.87	14.65		

⁴⁵ Da wir die ursprünglichen Berechnungen für die ARE-Studie durchgeführt haben, war uns dies möglich.

⁴⁶ EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 37.

Für die Berechnung des Nachtlärms wären also zusätzliche Inputdaten zu den Verkehrsmengen in der Nacht nötig, die jedoch aus den Verkehrsmodellen meist nicht vorliegen. Vielmehr wären für die Bestimmung des Nachtlärms meistens neue Verkehrsmodell-Berechnungen nötig. Deshalb schlagen wir vor, auf die Daten zum Nachtlärm zu verzichten.

Stattdessen sollen die Auswirkungen des Nachtlärms approximativ über den Taglärm abgeschätzt werden. Am Workshop Lärm (vgl. Anhang A) wurde die Korrektur, wie der Nachtlärm approximativ in Taglärm umgerechnet werden kann, diskutiert. Die Experten waren sich einig, dass eine durchschnittliche Korrektur um 7 dB(A) zu verwenden ist. Folglich wird das Wertgerüst wie folgt angepasst:

- Für Bluthochdruck bedingte Krankheiten wird ein Kostensatz von 14.65 CHF pro Person und Jahr pro dB(A) Lärmbelastung über 57 dB(A) Tageslärm verwendet (statt über 50 dB(A) Nachtlärm).

c) Zusammenfassung

Zusammenfassend ergibt sich also das folgende Wertgerüst pro Jahr, das für die Wohnungen resp. Personen nach dB(A)-Klassen im Referenz- und im Projektfall anzuwenden ist:

- Über 55 dB(A) Tageslärm: Mietzinsausfälle von 106.25 CHF pro Wohnung und dB(A)
- Über 57 dB(A) Tageslärm: Bluthochdruck bedingte Krankheiten von 14.65 CHF pro Person und dB(A)
- Über 65 dB(A) Tageslärm: Ischämische Herzkrankheiten von 16.87 CHF pro Person und dB(A)

Daraus folgt, dass folgende Kostenbestandteile berücksichtigt werden:

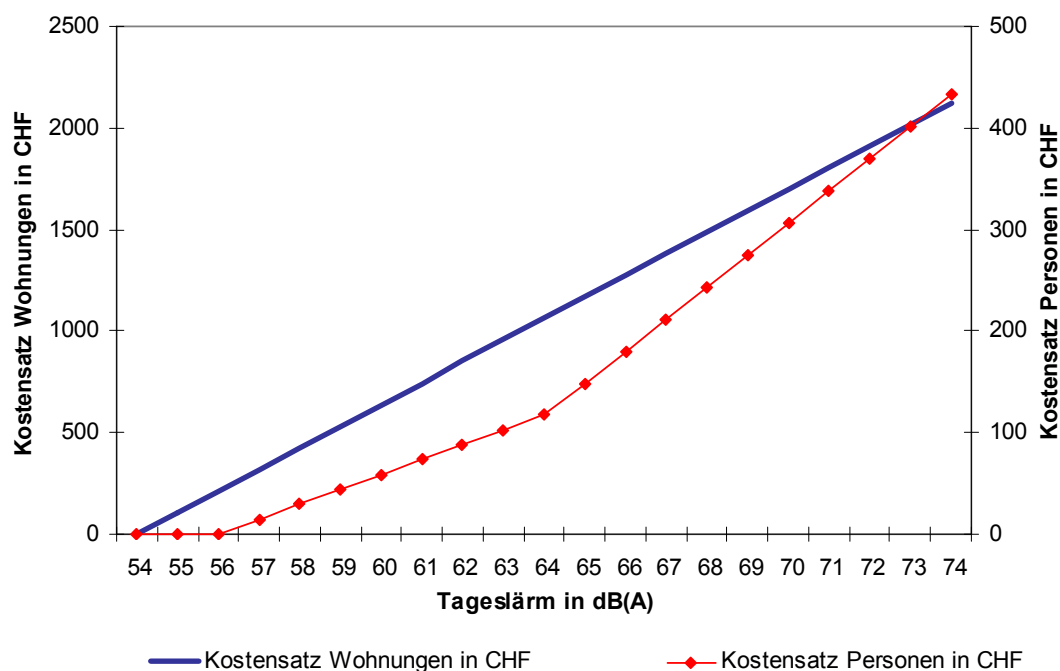
- über 55 dB(A): Mietzinsausfälle
- über 57 dB(A): Mietzinsausfälle und Bluthochdruck bedingte Krankheiten
- über 65 dB(A): Mietzinsausfälle, Bluthochdruck bedingte Krankheiten und ischämische Herzkrankheiten

Dies wird in der folgenden Tabelle und Grafik nochmals veranschaulicht, in der das Mengen- und Wertgerüst anhand der Berechnung der Lärmkosten eines fiktiven Beispiels dargestellt werden. Die benötigten Inputdaten werden in der Tabelle gelb hinterlegt. Der Kostensatz der Wohnungen steigt ab 55 dB(A) linear an, derjenige der Personen verläuft zwischen 57 und 65 und über 65 dB(A) linear, wird aber bei 65 dB(A) steiler, da ab diesem Lärmniveau neben den Bluthochdruck bedingten Krankheiten auch noch die ischämischen Herzkrankheiten berücksichtigt werden. Ganz rechts in Tabelle 2-4 wird das Ergebnis für das fiktive Projekt berechnet: Insgesamt erhöhen sich in diesem Beispiel die Lärmkosten um gut 6.6 Mio. CHF.

Tabelle 2-4: Berechnung der Lärmkosten eines fiktiven Projektes (projektabhängige Inputdaten gelb hinterlegt)

Lärmbelastung	Veränderung Anzahl Wohnungen Tageslärm	Veränderung Anzahl Personen Tageslärm	Kostensatz Wohnungen in CHF	Kostensatz Personen in CHF	Ergebnis in CHF
55 dB(A) (54.5 - 55.4)	1'000	1'940	106.25	-	106'250
56 dB(A) (55.5 - 56.4)	1'000	1'940	212.50	-	212'500
57 dB(A) (56.5 - 57.4)	1'000	1'940	318.75	14.65	347'171
58 dB(A) (57.5 - 58.4)	1'000	1'940	425.00	29.30	481'842
59 dB(A) (58.5 - 59.4)	1'000	1'940	531.25	43.95	616'513
60 dB(A) (59.5 - 60.4)	1'000	1'940	637.50	58.60	751'184
61 dB(A) (60.5 - 61.4)	900	1'746	743.75	73.25	797'270
62 dB(A) (61.5 - 62.4)	800	1'552	850.00	87.90	816'421
63 dB(A) (62.5 - 63.4)	700	1'358	956.25	102.55	808'638
64 dB(A) (63.5 - 64.4)	600	1'164	1'062.50	117.20	773'921
65 dB(A) (64.5 - 65.4)	500	970	1'168.75	148.72	728'633
66 dB(A) (65.5 - 66.4)	400	776	1'275.00	180.24	649'866
67 dB(A) (66.5 - 67.4)	300	582	1'381.25	211.76	537'619
68 dB(A) (67.5 - 68.4)	200	388	1'487.50	243.28	391'893
69 dB(A) (68.5 - 69.4)	100	194	1'593.75	274.80	212'686
70 dB(A) (69.5 - 70.4)	-	-	1'700.00	306.32	-
71 dB(A) (70.5 - 71.4)	-100	-194	1'806.25	337.84	-246'166
72 dB(A) (71.5 - 72.4)	-200	-388	1'912.50	369.36	-525'812
73 dB(A) (72.5 - 73.4)	-300	-582	2'018.75	400.88	-838'937
74 dB(A) (73.5 - 74.4)	-	-	2'125.00	432.40	-
Total					6'621'492

Grafik 2-3: Kostensätze pro Wohnung und pro Person nach Lärmbelastung



2.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Bei den Gesundheitskosten ist keine Anpassung an örtliche Gegebenheiten nötig. Bei den Mietzinsausfällen wurde von einem durchschnittlichen Mietzins von 1'107 CHF / Monat ausgegangen. Wenn in der betrachteten Region ein höheres oder tieferes Mietzinsniveau herrscht, ist eine lineare Anpassung nötig: Beträgt das Mietzinsniveau z.B. nur 1'000 CHF, so ist der Kostensatz auf 96.00 CHF anzupassen ($= 106.25 / 1'107 * 1'000$). Bei dieser Anpassung sind nur grossräumige Unterschiede zu beachten (z.B. zwischen Kantonen), aber keine kleinräumigen (arm – reich in verschiedenen Wohnquartieren).

2.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, sind die Werte wie folgt auf den Preisstand der KNA anzupassen:

- Mietzinsausfälle: Mit dem Mietpreisindex⁴⁷
- Gesundheitskosten: Mit dem Nominallohnwachstum,⁴⁸ da es sich um Werte handelt, die hauptsächlich mit einer Zahlungsbereitschaft bestimmt wurden.⁴⁹

2.4 Veränderung über die Zeit

Wie in Kapitel 1.3 beschrieben, sind für die Bewertung Prognosen bis ca. zum Jahr 2070 nötig. Für diesen langen Prognosehorizont ist ein pragmatischer Ansatz zu wählen. Es geht nicht darum, für jeden einzelnen Einflussfaktor eine separate Prognose zu treffen, sondern eine Gesamtprognose für alle Veränderungen. Daher werden hier die Veränderungen des Mengen- und Wertgerüsts gemeinsam betrachtet.

Das Mengengerüst (vgl. Tabelle 2-1) und das Wertgerüst sind wie erläutert nicht nur für ein Stichjahr (z.B. 2030 oder 2000) zu erheben, sondern es ist auch abzuschätzen, wie sie sich über die Zeit bzw. über die nächsten Jahrzehnte verändern dürften. Folgende Faktoren können einen Einfluss auf die zukünftige Höhe der Lärmkosten haben (die verschiedenen Faktoren werden dann in Tabelle 2-5 zusammengefasst):⁵⁰

- Veränderung des **Mengengerüsts**:

⁴⁷ Siehe z.B. BFS (2007), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 145.

⁴⁸ Siehe z.B. Die Volkswirtschaft (Zeitschrift des Seco), Tabelle B 10.3.

⁴⁹ 95% der gesamten Gesundheitskosten durch den Strassenverkehr werden über eine Zahlungsbereitschaft bestimmt. Weitere 3% durch medizinische Behandlungskosten und 2% durch Nettoproduktionsausfälle (Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 116).

⁵⁰ Lärmsanierungen (Lärmschutzwände, Flüsterbeläge etc.) spielen hier hingegen keine Rolle, denn es wird ein spezifisches Projekt betrachtet, in dem eine Lärmschutzwand entweder mit enthalten ist oder eben nicht. Verkehrswachstum ist auch irrelevant, weil erst Zunahmen über 25% als wahrnehmbar gelten (vgl. Anhang B).

- Bei den **Lärmemissionen der Motoren** besteht nach Einschätzung des BAFU für Personenwagen ein Potential von 10 dB(A) durch die mögliche Einführung von Hybridmotoren (Aussage der Experten am Workshop Lärm, vgl. Anhang A). Beim Güterverkehr sind jedoch keine Veränderungen bei den Motoremissionen absehbar.
- Die **Lärmemissionen durch Rollgeräusche** (Räder) sind zur dominanten Lärmquelle geworden.⁵¹ Das Geräuschminderungspotenzial der leisesten PKW-Reifen gegenüber dem Mittelwert der verwendeten PKW-Reifen beträgt nach Angabe der Zementindustrie etwa 4 dB(A).⁵² Andernorts wird jedoch nur von 1 – 2 dB(A) gesprochen.⁵³ Die Experten am Workshop vertraten die Meinung, dass 1 – 2 dB(A) plausibel seien. Dies gilt für den Personen und Güterverkehr.

Die Auswirkungen von **Lärminderungen bei Motoren und Rollgeräuschen** werden zusammen untersucht. Dabei ist auch zu erwähnen, dass im Rahmen der EU zwar viel geforscht wird, aber keine Normierung absehbar ist (Aussage der Experten am Workshop Lärm). Das Potenzial von 10 dB(A) bei Motorenlärm des Personenverkehrs und von 1 – 2 dB(A) bei Rollgeräusch im Personen- und Güterverkehr wird in eine Veränderungsrate in % pro Jahr umgerechnet. Dabei ergibt sich eine grob berechnete **Abnahme von 0.85% pro Jahr**.⁵⁴ Dieser Wert ist allerdings mit relativ grossen **Unsicherheiten** verbunden.

- **Bevölkerungswachstum**: Die Bevölkerungsszenarien des BfS⁵⁵ gehen im Basisszenario von einer Bevölkerungszunahme bis zum Jahr 2036 aus und dann von einer leichten Abnahme. Bis 2036 wächst die Bevölkerung durchschnittlich mit 0.30% pro Jahr, bis 2050 mit 0.18% pro Jahr.⁵⁶

⁵¹ Steven (2000), Minderungspotenziale beim Strassenverkehrslärm.

⁵² Bdz et al. (2006), Strassenverkehrslärm: Erkenntnisse und Minderungsmöglichkeiten.

⁵³ Reichelt (2004), Research association "Quiet Road traffic".

⁵⁴ Dazu werden zuerst die Lärmemissionen durch Motor sowie Rollen und daraus im Total für Personen- und Güterverkehr zu Bedingungen im Jahr 2000 ermittelt. Dazu verwenden wir die Formeln für die Lärmberechnung aus EcoPlan et al. (2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 46). Dies wird für innerorts, ausserorts und Autobahn gemacht. Dann ziehen wir davon beim Motor- bzw. Rollgeräusch das oben beschriebene Potential zur Lärmreduktion ab und berechnen die Auswirkungen auf den Gesamtlärm, der im Personenverkehr um 2.5 – 3.5 dB(A) abnimmt (je nachdem ob das Rollgeräusch sich um 1 oder 2 dB(A) reduziert – der angegebenen Wert ist ein Durchschnitt für die verschiedenen Verkehrssituationen (innerorts, ausserorts und Autobahn)) und im Güterverkehr um 0.5 – 1 dB(A). Dann wird die Berechnung der Lärmkosten für die ganze Schweiz in EcoPlan et al. (2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs) reproduziert unter der Voraussetzung, dass die Zahl der belärmten Personen bzw. Wohnungen entsprechend der Abnahme des Lärms um 0.5 – 3.5 dB abnimmt. Die resultierende Abnahme der Lärmkosten wird dann mit einer konstanten Veränderungsrate auf 40 Jahre verteilt. Die Ergebnisse für den Personen- und Güterverkehr werden dann mit dem entsprechenden Anteil an den Lärmkosten des Strassenverkehrs von 63% bzw. 37% gewichtet (EcoPlan et al. (2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 62). Je nachdem ob die Abnahme des Rollgeräusches 1 oder 2 dB(A) ergibt sich daraus eine durchschnittliche Abnahme von 0.8% bis 1.1% pro Jahr. Würde die Abnahme hingegen auf 50 statt 40 Jahre aufgeteilt, würde sich eine Abnahme von 0.6% bis 0.9% ergeben. Als provisorischer Durchschnitt verwenden wir in Tabelle 2-5 einen Wert von 0.85% (Mitte zwischen 0.6% und 1.1%).

⁵⁵ BfS (2006), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050.

⁵⁶ Die Verwendung des Schweizer Durchschnitts könnte zu hoch oder zu tief sein: Der Durchschnitt könnte zu hoch sein, weil tendenziell das Wachstum an wenig lärmexponierten Standorten vorzuziehen ist. Er könnte aber auch

- **Zunahme der Wohnungen und des Siedlungsraumes:** Die Zahl der Wohnungen hat zwischen 1996 und 2005 um jährlich 1.0% zugenommen.⁵⁷ Gemäss der Arealstatistik hat die Gebäudefläche zwischen 1979/85 und 1992/97⁵⁸ um 6.9% zugenommen, was etwa 0.6% pro Jahr entspricht. Unseres Wissens gibt es jedoch keine Prognosen für die Veränderung der Zahl der Wohnungen und der Gebäudeflächen. Deshalb verwenden wir bestehende Prognosen für die Veränderung der Energiebezugsfläche von Haushalten. Hier wird bis 2070 ein durchschnittliches Wachstum von **0.7% pro Jahr** prognostiziert.⁵⁹
- Veränderung des **Wertgerüstes:**
 - Reale Veränderung der **Mietpreise:** Zwischen 1990 und 2006 haben sich die Mietpreise real um 0.7% pro Jahr erhöht, die Zunahme war aber in den Jahren 2000 bis 2006 mit 0.6% etwas geringer.⁶⁰ Im Weiteren rechnen wir mit **0.65% pro Jahr**.
 - Die **Gesundheitskosten** werden hauptsächlich mittels einer Zahlungsbereitschaft (vgl. Fussnote 49) bestimmt und nehmen deshalb – wie üblich – mit dem Reallohnwachstum zu, das in etwa **0.75% pro Jahr** betragen dürfte.⁶¹

Die Festlegung der Veränderungen des Lärmeffektes über die Zeit kann nicht genau erfolgen. Deshalb soll pragmatisch eine Veränderungsrate pro Jahr bestimmt werden, die alle oben beschriebenen Veränderungen umfasst. Bei der Festlegung der Prognose ist zu beachten, dass nicht alle Veränderungen gleich auf das Gesamtergebnis wirken, gewisse Veränderungen haben nur einen Einfluss auf die Mietzinsausfälle, andere nur auf die Gesundheitskosten und einige auf alle. Dabei ist zu beachten, dass sich die Lärmkosten des Strassenverkehrs in der Schweiz im Jahr 2000 zu 88.6% auf Mietzinsausfälle und zu 11.4% auf Gesundheitskosten verteilen.⁶²

Die folgende Tabelle fasst die oben beschriebenen Veränderungen pro Jahr zusammen. Es ist zu betonen, dass die einzelnen Zahlen in der Tabelle alle mit Unsicherheiten verbunden sind (insbesondere die Abnahme der Lärmemissionen von Motoren und Rollgeräuschen). Deshalb können sie nur als Grössenordnungen verstanden werden. Die Tabelle soll lediglich zeigen, wie die verschiedenen Prognosen verknüpft werden müssen, um zu einem Gesamtergebnis zu kommen.

zu tief sein, weil das Wachstum vor allem in urbanen Räumen stattfindet, die lärmbelastet sind. Deshalb verwenden wir den Durchschnitt. Diese Aussage gilt auch für den nächsten Punkt (Zunahme der Wohnungen und des Siedlungsraumes).

⁵⁷ BfS (2007), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 215.

⁵⁸ Die Arealstatistik wird jeweils über ca. 5 Jahre neu erhoben (BfS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 71).

⁵⁹ EcoPlan (2007), Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse), Kapitel 6.5.

⁶⁰ Nominelle Mietpreise abzüglich Inflation (BfS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 145 und 141).

⁶¹ EcoPlan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 122.

⁶² EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 122.

Die Berechnungen in Tabelle 2-5 zeigen, dass die gesamte Veränderung in der Grössenordnung von 0.45% pro Jahr liegt. Deshalb schlagen wir eine gerundete **Zunahme der Lärmkosten um 0.5% pro Jahr** vor.⁶³

Tabelle 2-5: Übersicht über die zu erwartenden zukünftige Veränderungen pro Jahr mit Einfluss auf die Höhe der spezifischen Lärmkosten
ALLE ZAHLEN SIND NUR ALS GRÖSSENORDNUNGEN ZU VERSTEHEN.

	Mietzinsausfälle (88.6%)	Gesundheitskosten (11.4%)	Total
Motoren und Rollgeräusche	-0.85%	-0.85%	-0.85%
Bevölkerungswachstum		0.20%	0.02%
Zunahme Wohnungen	0.70%		0.62%
Mietpreise	0.65%		0.58%
Gesundheitskosten		0.75%	0.09%
Total¹	0.49%	0.09%	0.45%

¹ Das Total wird multiplikativ gebildet, d.h. $(1+X)*(1+Y)* \dots - 1$.

Einige dieser Veränderungen sind auch für die Berechnungen mit dem Lärmmodell relevant. Bei der Übernahme der Daten aus dem Lärmmodell ist deshalb darauf zu achten, dass Veränderungen nicht doppelt berücksichtigt werden.

2.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Die oben beschriebene Bewertungsmethode stellt relativ hohe Anforderungen an die benötigten projektabhängigen Inputdaten: Die Ermittlung der Veränderung der Anzahl belärmten Personen und Wohnungen nach 1-dB(A)-Lärmklassen erfordert den Einsatz eines Lärmmodells. Es ist jedoch davon auszugehen, dass für Grobbewertungen oder für kleinere Projekte der Einsatz von Lärmmodellen nicht gefordert werden kann. Für solche Bewertungen ist deshalb eine einfachere Methode zur Verfügung zu stellen, die auf üblicherweise vorhandenen Daten aufbaut oder auf Daten, die relativ leicht beschafft werden können.

Im Rahmen des Workshops zum Lärm (vgl. Anhang A) wurden zwei verschiedene Varianten einer vereinfachten Methode diskutiert, da beide in tatsächlichen Bewertungen bereits angewendet wurden. Nach reiflicher Überlegung sind die Teilnehmer des Workshops zur Auffassung gelangt, dass die im Folgenden vorgestellte Durchschnittskosten-Methode vorzuziehen ist. Die Alternative, nach der nur Strassen mit grossen Veränderungen der Verkehrsmenge

⁶³ Bei der Bewertung eines spezifischen Projektes ist auch zu berücksichtigen, dass die Entwicklung von Bevölkerung, Wohnungen und Mietpreisen regional unterschiedlich sein können. Entsprechend kann beim Vorliegen lokaler Daten von den Schweizer Durchschnittswerten abgewichen werden.

betrachtet werden, und die Gründe, warum diese Alternative abgelehnt wurde, werden im Anhang B kurz dargestellt.

a) Bewertung über Durchschnittskosten

Die vereinfachte Bewertung des Lärms rechnet mit durchschnittlichen Lärmkosten pro Fahrzeugkilometer (Fzkm). Diese Bewertungsmethode wurde – als Übergangslösung bis zum Abschluss der vorliegenden Studie – in eNISTRA vorgeschlagen,⁶⁴ obwohl bekannt war, dass dieses Vorgehen zu grösseren Problemen führen kann, denn die Grenzkosten des Lärms können beinahe gleich Null sein, auch wenn die Durchschnittskosten deutlich grösser als Null sind. Die Bewertung mit den Durchschnittskosten kann somit zu Fehleinschätzungen führen. Auch bei neu gebauten Strassen trifft der Durchschnittskostensatz meist nicht zu, da es entscheidend ist, ob die Strasse durch dicht oder dünn besiedeltes Gebiet führt. Die Methode wird also der spezifischen Situation einer neuen Strasse (und der entlasteten alten Strasse) nicht gerecht. Im Folgenden wird das NISTRA-Verfahren kurz beschrieben.

Die Grundlage für die Bewertung bilden die durchschnittlichen Kosten pro Fzkm (vgl. Tabelle 2-6). Die Werte stammen aus derselben ARE-Studie wie das oben verwendete Wertgerüst, es wird aber nicht mehr zwischen Mietzinsausfällen und Gesundheitskosten differenziert.

Da der Kostensatz aus der Division der gesamten Strassenlärmskosten in der Schweiz durch die gefahrenen Fzkm entsteht, ist bei dieser Abschätzungsmethode prinzipiell die gesamte Veränderung der Fzkm als Folge des neuen Infrastrukturprojektes zu berücksichtigen. Entsprechend ist der Untersuchungsperimeter nicht wie in der detaillierten Methode auf Strassen zu konzentrieren, auf denen grössere Veränderungen der Verkehrsmenge zu beobachten sind (vgl. Kapitel 2.2.1). Um aber grobe Fehler bei Tunnelbauten oder Ortsumfahrungen zu vermeiden, sind in diesen Fällen die Fzkm im neuen Tunnel oder auf der neuen Umfahrungsstrasse (falls in unbewohntem Gebiet) nicht zu berücksichtigen, denn der vorliegende Indikator analysiert nur den Lärm am Wohnort.

Als Inputdaten werden die Veränderungen der Fzkm benötigt, die im Rahmen einer KNA ohnehin vorliegen. Dies kann differenziert nach den sechs in Tabelle 2-6 aufgeführten Fahrzeugkategorien geschehen, nur nach Personen und Güterverkehr oder nur für den Gesamtverkehr. In der Nähe des Projektes ist falls nötig darauf zu achten, dass Fzkm in Tunnels und unbewohnten Gebieten nicht berücksichtigt werden.

⁶⁴ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 156 – 157.

Tabelle 2-6: Durchschnittliche Lärmkosten im Jahr 2000 in CHF / Fzkm

	Personenverkehr					Güterverkehr			Ø PV und GV
	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	
Lärmkosten	0.0075	0.0861	0.0861	0.0756	0.0106	0.0232	0.0861	0.0493	0.0149

PW = Personenwagen, Bus = Linienbus ÖV, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

Quelle: Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 127.

Für eine Anpassung an örtliche Gegebenheiten kann wiederum das Mietpreisniveau berücksichtigt werden, wobei zu beachten ist, dass 88.6% der obigen Werte auf Mietpreisausfälle zurückzuführen sind. Auch die Anpassung an den Preisstand und die Veränderungen über die Zeit erfolgen wie in Kapitel 2.3.4 und 2.4 beschrieben.

b) Einsatzgebiet der vereinfachten Methode

Die Grundnorm SN 641 820 „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr“ gibt im Kapitel B eine Typisierung der Projekte vor:

- Kleine und mittlere Projekte mit Kosten unter 50 Mio. CHF
- Regionale Grossprojekte mit Kosten zwischen 50 und 500 Mio. CHF
- Überregionale und nationale Grossprojekte mit Kosten über 500 Mio. CHF

Daraus abzuleiten, dass die detaillierte Methode (vgl. Kapitel 2.2 und 2.3) für kleine Projekte nicht vorgeschrieben werden kann, wäre jedoch nicht zielführend. Tatsächlich ist es nämlich so, dass gerade bei kleinen Projekten oft eine sehr gute Datenlage herrscht, da bei kleineren Projekten Lärmveränderungen eine relevante Auswirkungen sein können (Aussage der Experten am Workshop). Deshalb besteht selbst bei kleinen Projekten oft die Möglichkeit, die detaillierte Methode zu verwenden.

Deshalb ist bei überregionalen und nationalen Grossprojekten eine detaillierte Betrachtung zu fordern. Bei kleineren Projekten ist immer dann eine detaillierte Bewertung vorzunehmen, wenn die Daten dies erlauben oder wenn der Lärm ein relevanter Indikator sein könnte.

Die **vereinfachte Methode** kommt also vor allem in folgenden Fällen zum Einsatz:

- **Grobevaluationen**
- Bewertung von Projekten mit Kosten unter 500 Mio. CHF, in denen die nötigen Inputdaten für die detaillierte Methode nicht zur Verfügung stehen.
- Für die Bewertung von Umleitungen während der Bauphase (vgl. Kapitel 2.2.1b).

2.6 Vergleich mit NISTRA

Das momentan in NISTRA als Übergangslösung verwendete Verfahren entspricht – wie bereits erwähnt – der hier vorgeschlagenen vereinfachten Methode. Bei der Veränderung

über die Zeit wurde bisher von einer Zunahme der Gesundheitskosten über die Zeit mit dem Reallohnwachstum ausgegangen. Die in Kapitel 2.4 präsentierten fundierten Überlegungen zeigen jedoch, dass auch weitere Veränderungen zu erwarten sind.

Die hier hergeleitete detaillierte Methode erlaubt es, den Lärm künftig exakter in einer KNA abbilden zu können als dies bisher der Fall war.

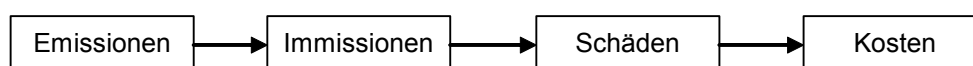
3 Luftverschmutzung

3.1 Einleitung

3.1.1 Durchschnittskosten oder Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten

Um die Kosten der Luftverschmutzung abzuschätzen, wird meist der Ursachen-Wirkungsketten-Ansatz (impact pathway approach) verwendet (vgl. Grafik 3-1): Die Emissionen werden durch den Wind transportiert und führen zu Immissionen. Die Immissionen führen zu Schäden (z.B. an der Gesundheit oder an Gebäuden). Diese Schäden können wiederum in Kosten umgerechnet werden.

Grafik 3-1: Der Ursachen-Wirkungsketten-Ansatz



Eine wesentliche **Grundsatzfrage** ist es nun, ob bei der Ermittlung der Kosten über den Ursachen-Wirkungsketten-Ansatz jeweils **Durchschnittswerte** verwendet werden sollen **oder** ob auf **lokale Gegebenheiten** Rücksicht genommen wird:

- Emissionen: Steigungen und Geschwindigkeiten (zumindest Autobahn, ausserorts, innerorts) führen z.B. zu lokal unterschiedlichen Emissionen.
- Immissionen: Je nach Bevölkerungsdichte und je nach Windrichtungen und -geschwindigkeiten (sowie nach anderen meteorologischen Effekten) führen dieselben Emissionen nicht zu denselben Immissionen.
- Schäden: Dieselbe Schadstoffkonzentration (Immission pro Person oder Gebäude) führt überall zu denselben Gesundheitskosten oder Gebäudeschäden.
- Kosten: Die Schäden an Gesundheit oder Gebäuden führen überall zu denselben Kosten.

Bei den Schäden und Kosten ist eine Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten also nicht nötig. **Die Frage nach der Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten bezieht sich also nur auf die Emissionen und Immissionen.**

a) Emissionen

In den bekannten schweizerischen Bewertungssystemen⁶⁵ werden die Kosten der Luftverschmutzung entweder direkt über einen durchschnittlichen Kostensatz pro Fahrzeugkilometer

⁶⁵ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, Planergemeinschaft WEN (2007), Handbuch WENIS und ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte.

(Fzkm) berechnet (vgl. Methode A in Grafik 3-2) oder es werden über das Handbuch Emissionsfaktoren die Schadstoffemissionen ermittelt (ebenfalls von den Fzkm ausgehend) und diese dann mit einem durchschnittlichen Kostensatz pro Tonne Schadstoff monetarisiert (vgl. Methode B in Grafik 3-2).

Wird ein durchschnittlicher Kostensatz pro Fzkm (Methode A) verwendet, wird für die gesamte Ursachen-Wirkungskette eine Durchschnittsbetrachtung unterstellt. Wird hingegen ein Kostensatz pro Tonne Schadstoff verwendet (Methode B), erlaubt dies, bei den Emissionen auf lokale Gegebenheiten (wie Steigungen, Geschwindigkeit) einzugehen, doch wird bei den Immissionen (sowie bei den Schäden und Kosten) eine Durchschnittsbetrachtung unterstellt.

Diese beiden Durchschnittsmethoden (A und B) haben den Vorteil, dass sie sehr einfach sind und keine besonderen projektspezifischen Inputdaten benötigen: Es muss einzig die Veränderung der Fzkm zur Verfügung stehen, die sich bei Verwendung eines Verkehrsmodells automatisch ergibt, sowie für die Methode B noch Emissionsfaktoren pro Fzkm.

Einzig die Methode B, die von einem durchschnittlichen Kostensatz pro Tonne Schadstoff ausgeht, berücksichtigt die lokalen Gegebenheiten wie Steigungen, Geschwindigkeit bei den Emissionen. Diese Unterschiede sollten berücksichtigt werden und werden es im Folgenden auch.

Grafik 3-2: Mögliche Ansätze der lokalen Differenzierung

	Emissionen	Immissionen	Schäden	Kosten
Methode A: Kostensatz pro Fzkm	keine Differenzierung nach lokalen Gegebenheiten			
Methode B: Kostensatz pro t Emissionen	lokale Gegebenheiten (Steigung, Geschwindigkeit)	keine weitere Differenzierung		
Methode C: Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten (bei den Immissionen)	lokale Gegebenheiten (Steigung, Geschwindigkeit)	Differenzierung für Schäden durch lokale Schadstoffe (z.B. nach Bevölkerungsdichte, Windverhältnissen usw.)	keine weitere Differenzierung	
		Keine Differenzierung für Schäden durch regionale Schadstoffe		

b) Immissionen

Diese einfachen Vorgehen führen aber dazu, dass Emissionen mitten im Stadtzentrum bzw. auf der grünen Wiese gleich behandelt werden. Dabei wird vernachlässigt, dass der Ort der Emission sehr wohl eine wichtige Rolle für die dadurch entstehenden **Immissionen** (bzw. Kosten) spielt. Denn es ist entscheidend, ob am Ort der Immission viele Menschen wohnen (Gesundheitskosten) und damit auch viele Gebäude stehen (Gebäudeschäden) oder nicht.

Man könnte denken, dass die Berücksichtigung des Ortes der Immissionen nicht nötig sein dürfte, da die Luftverschmutzung bei Kosten-Nutzen-Analysen von Infrastrukturprojekten meist relativ unbedeutend ist: In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte die Luftver-

schmutzung durchschnittlich nur 0.2% aller monetarisierten Indikatoren aus. In keinem der 17 Projekte erreichte die Luftverschmutzung eine Bedeutung, die über 0.7% liegt.⁶⁶

Trotzdem ist eine detaillierte Methode nötig, weil die Vernachlässigung des Ortes der Immissionen dazu führen kann, dass die Auswirkungen eines Projektes auf die Luftqualität völlig falsch eingeschätzt werden: Wird z.B. eine Umfahrungsstrasse gebaut, so kann diese länger sein als die bisherige Strasse durch den Ort hindurch, so dass höhere Emissionen zu verzeichnen sind. Wird nun ein konstanter Kostensatz pro Emission angewendet, bedeutet dies, dass das Projekt mit zusätzlichen Kosten verbunden ist. Tatsächlich führt das Projekt jedoch zu einer Entlastung im Wohngebiet und zu einer Mehrbelastung auf der grünen Wiese, wo die lokalen Schäden viel geringer sind. Damit entsteht ein Nutzen. Die Bewertung muss dies abbilden können, d.h. sie muss den Ort der Immissionen berücksichtigen. Würde dies nicht gemacht, würde die Bewertung möglicherweise das falsche Vorzeichen ausweisen.

Ein **Ziel** unseres Auftrages ist es deshalb, die **lokalen Gegebenheiten auch bei den Immissionen zu berücksichtigen**. Deshalb werden wir im Folgenden die detaillierteste Methode C in Grafik 3-2 vorschlagen. Dabei ist es auch wichtig, dass zwischen lokalen und regionalen Schadstoffen differenziert wird, d.h. zwischen Schadstoffen, die lokale Schäden verursachen und für welche die Beachtung des Emissionsortes relevant ist, und Schadstoffen, die über weite Distanzen transportiert werden, bevor sie einen Schaden verursachen (für Details siehe Kapitel 3.1.3) und für welche der Emissionsort keine Rolle spielt. **Für regionale Schadstoffe genügt also in der detailliertesten Methode C** sozusagen **die Methode B** (Kostensatz pro t Emissionen).

3.1.2 Berücksichtigte Effekte

Gemäss Grundnorm SN 641 820 (Ziffer 56) sind folgende Kostenbestandteile der Luftverschmutzung zu berücksichtigen:

- **Gesundheitsschäden:** Luftschadstoffe können zu Krankheits- und Todesfälle führen.
- **Gebäudeschäden:** Luftschadstoffe können zur Folge haben, dass Gebäude häufiger renoviert und gereinigt werden müssen.
- **Vegetationsschäden:** Die Vegetationsschäden beinhalten Ernteauffälle, Waldschäden sowie die Beeinträchtigung der Bodenqualität.

Die folgende Tabelle zeigt die bisher verwendeten Kostensätze für die Methode A (Kostensatz pro Fzkm, vgl. Grafik 3-2) und zeigt damit die Grössenordnung der verschiedenen Kostenbereiche auf: Die Gesundheitskosten sind für 76% der Kosten verantwortlich, die Gebäudeschäden für weitere 12%. Die Vegetationsschäden sind zusammen gleich gross wie die Gebäudeschäden (12%). Wie die Werte in Tabelle 3-1 ermittelt wurden, wird in der folgenden Box erläutert.

⁶⁶ Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

Tabelle 3-1: Durchschnittliche externe Kosten der Luftverschmutzung im Strassenverkehr im Jahr 2000 in CHF / Fzkm

	Personenverkehr					Güterverkehr			Ø PV +GV
	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	
Gesundheitskosten ¹	0.0156	0.2574	0.1536	0.0149	0.0168	0.0537	0.1678	0.1010	0.0261
Gebäudeschäden ²	0.0022	0.0462	0.0565	0.0009	0.0025	0.0047	0.0414	0.0188	0.0042
Ernteaussfälle ³	0.0006	0.0204	0.0136	0.0004	0.0007	0.0018	0.0122	0.0058	0.0012
Waldschäden ³	0.0006	0.0186	0.0125	0.0004	0.0007	0.0017	0.0111	0.0053	0.0012
Bodenqualität ³	0.0010	0.0165	0.0163	0.0006	0.0011	0.0026	0.0162	0.0079	0.0018
Total	0.0200	0.3591	0.2525	0.0172	0.0217	0.0645	0.2487	0.1388	0.0345

PW = Personenwagen, Bus = Linienbus ÖV, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

¹ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, S. 148.

² Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 77-78 sowie eigene Berechnungen aus diesen Zahlen.

³ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 147.

Berechnungsmethode

Die Gesundheitskosten in Tabelle 3-1 wurden wie folgt ermittelt:⁶⁷

- Aufgrund der Fzkm und der Emissionsfaktoren pro Fzkm werden die Emissionen des Strassenverkehrs ermittelt.
- Diese werden mit einem Schadstoff-Ausbreitungsmodell in Immissionen umgerechnet und zu einer Immissionskarte (200x200 m Raster) zusammengefasst. Aus der Überlagerung von Immissions- und Einwohnerkarte kann die Schadstoffexposition der Bevölkerung bestimmt werden.
- Über epidemiologische Studien wird anschliessend ermittelt, wie viele zusätzliche Krankheits- und Todesfälle die Luftverschmutzung verursacht.
- Diese Krankheits- und Todesfälle werden mit Kostensätzen pro Krankheitsbild monetarisiert.
- Um Kosten pro Fzkm zu erhalten, werden die gesamten Kosten durch die Fzkm dividiert.

Für die Bewertung der Gesundheitsschäden durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung wurde also dasselbe Verfahren angewendet wie bei den lärmbedingten Gesundheitskosten (vgl. rechter Teil der Grafik 2-1 auf Seite 16). Ähnliche Methoden wurden auch zur Bestimmung der Gebäude- und Vegetationsschäden verwendet.

⁶⁷ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung.

3.1.3 Lokale und regionale Schadstoffe

Im Folgenden diskutieren wir zuerst, welche Schadstoffe verwendet wurden, um die Schäden der Luftverschmutzung zu monetarisieren. Dabei konzentrieren wir uns auf die Studien, die im Auftrag des ARE erarbeitet wurden, da diese die Grundlage für die Monetarisierung bilden sollen.⁶⁸ Die nachstehende Zusammenstellung in Tabelle 3-2 zeigt, welche Kostenbereiche basierend auf welchen Luftschadstoffen ermittelt werden:

- Gesundheitskosten: In der Schweiz werden gemäss der Studie im Auftrag des ARE⁶⁹ die Gesundheitskosten über den Leitschadstoff PM₁₀ (Partikel mit einem Durchmesser von höchstens 10 µm) ermittelt. In epidemiologischen Studien zeigte sich, dass PM₁₀ eine sehr gute Korrelation mit Gesundheitsproblemen hat.
- Gebäudeschäden: Auch die Gebäudeschäden werden in der Schweiz über den Leitschadstoff PM₁₀ bestimmt. Dabei wird die Bedeutung von Russ, der Teil von PM₁₀ ist, betont. Zudem wird erläutert, dass Russ auch als Katalysator für andere korrosive Schadstoffe wirkt, die sich an der Oberfläche von Russ sammeln.⁷⁰
- Ernteauffälle: In der Schweiz werden Ernteauffälle über die Ozonkonzentration quantifiziert, die das Wachstum verschiedener Nutzpflanzen reduziert. Dabei wird der sogenannte AOT40c-Wert verwendet.⁷¹
- Waldschäden: Waldschäden werden teilweise von Ozon (AOT40f) verursacht (geringe Holzernte) und teilweise über die Bodenversauerung durch sauren Regen (geringere Holzernte und höheres Risiko von Sturmschäden).⁷²

Tabelle 3-2: Übersicht über Luftschadstoffe, die zur Monetarisierung verwendet wurden

	Quantifizierung über	Davon Schadstoffe mit lokalen Effekten
Gesundheitskosten	PM ₁₀	Primäres PM ₁₀
Gebäudeschäden	PM ₁₀	Primäres PM ₁₀
Ernteauffälle	Ozon	keine
Waldschäden	Ozon, Bodenversauerung	keine
Bodenqualität	Schwermetalle, PAK	Schwermetalle, PAK

⁶⁸ Für einen Vergleich mit Vorgaben auf EU-Ebene (HEATCO und ExternE) siehe Ecoplan (2006), Environmental costs in sensitive areas, S. 21 – 23.

⁶⁹ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, S. 10.

⁷⁰ Infras und Wüest und Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 20-21.

⁷¹ Der AOT40c Wert misst die akkumulierte Ozondosis über einem Schwellenwert von 40 ppb (parts per billion) während der Wachstumsphase der Kulturpflanzen (1. Mai bis 31 Juli). AOT steht für „accumulated exposure over threshold“ und „c“ für „crop“ (Infras 2006, Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 58 und 154).

⁷² AOT40f ist ein Ozonwert, der während der Wachstumsphase der Wälder („f“ für „forest“) vom 1. April bis 30. September ermittelt wird (Infras 2006, Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 74 und 154).

- Bodenqualität: Die Bodenqualität wird durch Schwermetalle wie Zink, Cadmium und PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, die in Verbrennungsprozessen entstehen) beeinträchtigt.⁷³

Gewisse Schäden werden durch Schadstoffe verursacht, die über weite Strecken transportiert werden, bevor sie den Schaden auslösen. Solche Schadstoffe nennen wir **regionale Schadstoffe**. Ein Beispiel dafür ist Ozon, das sich zuerst aus Vorläufersubstanzen bilden muss und vor und nach der Umwandlung in Ozon mit Winden verfrachtet wird. Bei solchen, über weite Strecken transportierten Schadstoffen ist eine Berücksichtigung von lokalen Begebenheiten wenig sinnvoll, es **genügt** daher **eine Durchschnittsbetrachtung** (d.h. die Methode B (Kostensatz pro t Emissionen) in Grafik 3-2).

Relevant ist die Berücksichtigung lokaler Begebenheiten nur für **lokale Schadstoffe**, deren Schaden in unmittelbarer Nähe des Emissionsortes anfällt.

Im Folgenden wird für die in Tabelle 3-2 angeführten Kostenbereiche untersucht, ob aufgrund der Schadstoffe eine regionale Durchschnittsbetrachtung zur Kostenermittlung ausreicht, oder ob die Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten aufgrund der Schadstoffart erforderlich wäre.

a) Vegetationsschäden

Ernteauffälle und Waldschäden werden durch Ozon und sauren Regen verursacht (vgl. auch Grafik 3-3). Beides sind regionale Schadstoffe, so dass für diese Schäden der Ort der Emission keine entscheidende Rolle spielt. Für Ernteauffälle und Waldschäden genügt es also, eine Durchschnittsbetrachtung durchzuführen.

Die Schäden für die Bodenqualität werden über einen Reparaturkostenansatz monetarisiert, d.h. die Kosten für die Sanierung der mit Schwermetallen und PAK verschmutzten Böden dienen als Grundlage für die Monetarisierung.⁷⁴ Da die Kosten der Sanierung überall in der Schweiz als gleich angenommen wurden, ist eine Differenzierung nach dem Ort gar nicht möglich. Somit genügt auch für die Schäden für die Bodenqualität eine Durchschnittsbetrachtung. Obwohl die Bodenschäden klar lokal sind, genügt also die Methode B (Kostensatz pro t Emissionen, vgl. Grafik 3-2).

Als erste **Schlussfolgerung** ergibt sich somit: Die **Vegetationsschäden** können – auch bei Verwendung der Methode C – **über die Methode B** (Kostensatz pro t Emissionen, vgl. Grafik 3-2) **monetarisiert** werden (vgl. Grafik 3-3).

⁷³ Infras (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 93.

⁷⁴ Infras (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 90 – 101.

Grafik 3-3: Aufteilung der Vegetationsschäden auf lokale und regionale Schäden

	Schadstoffausbreitung der Leitschadstoffe	
	lokal	regional
Vegetationsschäden	0%	100%
Ernteaufschläge		Ozon (AOT40c)
Waldschäden		Ozon (AOT40f) Bodenversauerung / Saurer Regen
Bodenqualität	Zink, Cadmium, PAK	Berechnungsmethode der Schäden jedoch überall gleich (Reparaturkosten)

b) Gesundheitskosten

Es ist zu beachten, dass PM₁₀ sich aus **primärem und sekundärem PM₁₀** zusammensetzt. Primäres PM₁₀ wird direkt als PM₁₀ ausgestossen. Sekundäres PM₁₀ bildet sich erst in der Luft durch die Reaktion zwischen den Vorläufersubstanzen Stickoxide NO_x, Ammoniak NH₃, Schwefeldioxid SO₂ und Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe NMVOC.⁷⁵ **Sekundäres PM₁₀** wird über grössere Distanzen transportiert und ist somit ein **regionaler Schadstoff**, dessen Schäden über Durchschnittskosten bewertet werden können. Die Schäden durch primäres und sekundäres PM₁₀ müssen also unterschieden werden.

Dazu verwenden wir Daten aus dem Schadstoffausbreitungsmodell, das auch für die Ermittlung der Kosten der Luftverschmutzung verwendet wurde. Dabei interessieren uns nur die Schadstoffimmissionen, die durch den Strassenverkehr verursacht werden. Diese wurden bisher jedoch nie in der hier nötigen Differenzierung berechnet. Deshalb wurde Infras und Meteotest beauftragt, diese nicht publizierten Zahlen aus ihrem bestehenden Schadstoffausbreitungsmodell herauszulesen und neu zu berechnen. Die folgende Tabelle zeigt, wie sich die Exposition der Bevölkerung durch den Strassenverkehr von durchschnittlich 4.22 µg/m³ zusammensetzt. Der Anteil der Immissionen, die auf primären PM₁₀-Emissionen aus der Schweiz beruhen, beträgt 42%.

Bei der detaillierten Analyse zeigt sich, dass eine Gleichsetzung von primärem PM₁₀ als lokaler Schadstoff und sekundärem PM₁₀ als regionaler Schadstoff die tatsächlichen physikalischen Gegebenheiten nicht korrekt wiedergibt. Zu beachten ist nämlich, dass auch die ausländischen Emissionen von primärem PM₁₀ über grössere Distanzen transportiert werden. Analog verursacht auch das primäre PM₁₀ aus der Schweiz nicht nur lokale Schäden, sondern auch regionale. Aus den vorhandenen Daten ist es jedoch nicht möglich, zu bestimmen, wie sich die Schäden durch primäres PM₁₀ auf lokale und regionale Schäden aufteilen. E-

⁷⁵ Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, S. 13, Ecoplan (2006), Environmental costs in sensitive areas, S. 39 und BUWAL (2003), Modelling of PM₁₀ and PM_{2.5} ambient Concentrations in Switzerland 2000 and 2010, S. 29.

benso ist zu bedenken, dass auch sekundäres PM₁₀ teilweise zu lokalen Schäden führt, was ebenfalls nicht quantifiziert werden kann.

Aufgrund dieser Überlegungen gehen wir davon aus, dass **58% der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten** (vgl. Grafik 3-4) über die **Methode B** (Kostensatz pro t Emissionen, vgl. Grafik 3-2) monetarisiert werden können. Für die restlichen Kosten von 42% sind die lokalen Gegebenheiten zu berücksichtigen (Methode C in Grafik 3-2).

Tabelle 3-3: Durchschnittliche PM₁₀-Bevölkerungsexposition in µg/m³ (bzw. in Prozent) durch den Strassenverkehr

Quelle	Primäres PM ₁₀		Sekundäres PM ₁₀		PM ₁₀ total	
Strassenverkehr, Schweiz	1.76	41.7%	0.92	21.7%	2.67	63.4%
Strassenverkehr, Ausland	0.76	18.1%	0.78	18.6%	1.54	36.6%
Total	2.52	59.7%	1.70	40.3%	4.22	100.0%

Quelle: Berechnung speziell für dieses Projekt durch Infrac und Meteotest basierend auf Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung (das wiederum auf BUWAL (2003), Modeling of PM₁₀ and PM_{2.5} ambient Concentrations in Switzerland 2000 and 2010, S. 66 basiert).

Grafik 3-4: Aufteilung der Gesundheitskosten auf lokale und regionale Kosten

Gesundheitsschäden	Schadstoffausbreitung der Leitschadstoffe	
	lokal	regional
	Primäres PM ₁₀ aus Schweizer Quellen	Sekundäres PM ₁₀ und primäres PM ₁₀ aus ausländischen Quellen
	42%	58%

c) Gebäudeschäden

Die Gebäudeschäden teilen sich in folgende Kostenkomponenten auf:⁷⁶

- Kosten durch **verkürzte Renovationszyklen** an verkehrsexponierten Standorten: Diese Kosten werden aus Unterschieden in den Renovationszyklen an Verkehrshauptachsen im Vergleich zu Nebenstrassen hergeleitet. Dabei werden nur die Emissionen von primärem PM₁₀ berücksichtigt.⁷⁷ Des Weiteren wird festgestellt, dass an Orten mit hohen Konzentrationen (über 20 µg/m³) die Renovationskosten um 0.5% höher liegen als an weniger belasteten Gebieten. Dabei wird primäres und sekundäres PM₁₀ miteinbezogen.⁷⁸ Das Men-

⁷⁶ Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 4 – 7, 38 – 44 und 73 – 75.

⁷⁷ Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 54.

⁷⁸ Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 44.

engerüst beruht auf den verkehrsexponierten Standorten (über primäres PM₁₀ berücksichtigt), nur das Wertgerüst wird auch über sekundäres PM₁₀ bestimmt. Deshalb gehen wir davon aus, dass die gesamten zusätzlichen Renovationskosten als **lokale Schäden** betrachtet werden können, so dass diese Schäden vom genauen Ort der Emission abhängen.

- Kosten durch **Verkürzung der Lebensdauer der Gebäudehülle** an nicht verkehrsexponierten Standorten: Auch abseits der Hauptverkehrsachsen treten Schäden durch die Luftverschmutzung auf. Diese Kosten werden bestimmt, indem der Zustand der Gebäudefassade mit der Schadstoffbelastung (und dem Alter des Gebäudes) verglichen wird.⁷⁹ Diese Kosten werden somit über die PM₁₀-Immissionen bestimmt, also über primäres und sekundäres PM₁₀. Berücksichtigt werden jedoch nur Schäden, die abseits der Hauptverkehrsachsen auftreten. Damit handelt es sich um **regionale Schäden**.
- Zusätzliche Kosten für **Fensterreinigungen** an Geschäfts- und Verwaltungsgebäuden: Die Luftverschmutzung führt schliesslich an verkehrsexponierten Standorten auch dazu, dass Gebäudefassaden (vor allem Fenster) häufiger gereinigt werden müssen. Die verkehrsexponierten Standorte werden wiederum über die Emissionen von primärem PM₁₀ bestimmt. Damit handelt es sich um **lokale Schäden**.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Studie zu den Gebäudeschäden zusammen. Es zeigt sich, dass etwa **29% der Schäden durch regionale Schadstoffe** verursacht werden (vgl. auch Grafik 3-5) und deshalb über die Methode B (Kostensatz pro t Emissionen, vgl. Grafik 3-2) bewertet werden können.

Tabelle 3-4: Gebäudeschäden in der Schweiz im Jahr 2000 in Mio. CHF

	Schäden	Mio. CHF
Verkürzte Renovationszyklen	lokal	131.2
Verkürzung Lebensdauer Gebäudehülle	regional	70.8
Fensterreinigung	lokal	43.8
Total		245.8
Anteil regionale Schäden		28.8%
Anteil lokale Schäden		71.2%

Quelle: Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 73-74.

⁷⁹ Infrac, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 39 und 65.

Grafik 3-5: Aufteilung der Gebäudeschäden auf lokale und regionale Schäden

Gebäudeschäden	Schadstoffausbreitung der Leitschadstoffe	
	lokal	regional
Gebäudeschäden	71%	29%
Verkürzung Renovationszyklen an verkehrsexponierten Standorten	Lokale Schäden	
Verkürzung Lebensdauer Gebäudehüllen an nicht verkehrsexponierten Standorten		Regionale Schäden
Fensterreinigung an verkehrsexponierten Standorten	Lokale Schäden	

d) Zusammenfassung

Aus den vorangehenden Erläuterungen geht hervor, dass selbst bei einer Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten (Methode C in Grafik 3-2) folgende Kostenbestandteile über einen **durchschnittlichen Kostensatz pro Tonne Schadstoff** (Methode B) quantifiziert werden können:

- 58% der Gesundheitskosten
- 29% der Gebäudeschäden
- Die gesamten Vegetationsschäden (Ernteauffälle, Waldschäden und Bodenqualität)

Für die übrigen 40% der Kosten⁸⁰ ist der Ort der Emission entscheidend.

Im Folgenden wird die detaillierteste Methode C gemäss Grafik 3-2 im Detail hergeleitet. Für die Bewertung sind folgende Schritte notwendig:

- Ermittlung der Veränderung der Fzkm durch das Projekt (vgl. Kapitel 3.2.1)
- Umrechnung der veränderten Fzkm in veränderte Schadstoffemissionen (mittels Emissionsfaktoren, vgl. Kapitel 3.2.2 und 3.2.3)
- Monetarisierung mit den Kostensätzen pro Tonne Schadstoff (vgl. Kapitel 3.3.2), differenziert nach dem Ort der Emissionen (vgl. Kapitel 3.3.3).

⁸⁰ 42% der Gesundheitskosten oder 0.0109 CHF / Fzkm im Gesamtverkehr und 71% der Gebäudeschäden oder 0.0030 CHF / Fzkm – d.h. insgesamt 40% der Kosten der Luftverschmutzung oder 0.0139 CHF / Fzkm.

3.2 Mengengerüst

3.2.1 Benötigte Inputdaten

Als projektabhängige Inputdaten werden die **Veränderungen der Fahrzeugkilometer** benötigt. Je nach vorhandener Differenzierung werden die Fzkm

- für die sechs in Tabelle 3-1 erwähnten Fahrzeugkategorien (PW, Bus, Car, motorisierte Zweiräder, Lieferwagen, schwere Nutzfahrzeuge),
- für den Personen- und Güterverkehr oder
- für den Gesamtverkehr erhoben.

Des Weiteren ist zu beachten, dass während der **Bauphase Umwegfahrten** (Umleitungen) nötig sein können, welche die Fahrtstrecke und damit die Schadstoffemissionen erhöhen. Auch für allfällige Umwegfahrten sind also die zusätzlichen Fzkm zu erheben. Dies kann auch grob geschehen.

In bisherigen KNAs wurden **Emissionen** von Schadstoffen **durch den Bau** (z.B. Baumaschinen, Beförderung von Baumaterial zur Baustelle) nicht bewertet. Unseres Wissens bestehen keine Berechnungen zu den Emissionen von Luftschadstoffen durch den Bau. Meist werden diese Emissionen gar nicht erwähnt. Grobe Berechnungen haben jedoch gezeigt, dass die Bauemissionen bedeutend sein können. In einer Beispielrechnung zeigt sich, dass es mehr als 70 Jahre dauern kann, bis die zusätzlichen Emissionen während der Betriebsphase gleich gross sind wie die Emissionen während der Bauphase. Deshalb sollen die Bauemissionen ebenfalls berücksichtigt werden. Dazu wählen wir eine einfache Methode. Wir schlagen vor, die Bauemissionen auf die Investitionskosten zu beziehen. Deshalb werden als Inputdaten auch die Investitionskosten benötigt.

3.2.2 Berechnung des Mengengerüstes

Aus der Veränderung der Fzkm kann mittels Emissionsfaktoren pro Fzkm die Veränderung der Schadstoffemissionen in Tonnen berechnet werden. Dazu können die im Anhang C dargestellten durchschnittlichen Emissionsfaktoren verwendet werden (vgl. Tabelle 10-2).

Für die Bewertung werden die veränderten Schadstoffemissionen anschliessend mit Kostensätzen pro Tonne Schadstoff monetarisiert (vgl. Kapitel 3.3.2 und 3.3.3).

Schliesslich noch einige kurze Bemerkungen zum Spezialfall **Trolleybus**. Der Trolleybus ist in Tabelle 3-1 nicht enthalten. Bezüglich der Emissionen durch Aufwirbelung unterscheidet sich ein Trolleybus nicht von einem normalen Bus, d.h. der entsprechende durchschnittliche Emissionsfaktor pro Fzkm kann aus dem Anhang C übernommen werden. Da der Trolleybus aber elektrisch betrieben ist, hat er keine Motoremissionen. Aber auch die Stromproduktion kann externe Effekte auslösen, die über die Stromproduktion quantifiziert werden können. Der Stromverbrauch von Trolleybussen sollte mit dem lokalen Betreiber der Trolleybuslinie

ermittelt werden. Im Rahmen einer groben Bewertung kann von 3 kWh / Fzkm ausgegangen werden,⁸¹ die dann mit dem Wertegerüst monetarisiert werden können (vgl. Kapitel 3.3.2).

Die **Bauemissionen** können über den in Tabelle 3-5 hergeleitete Emissionsfaktor von **0.207 t PM₁₀-Emissionen pro Mio. CHF Investitionskosten** ermittelt werden.

Tabelle 3-5: Berechnung des Emissionsfaktors für Baustellenemissionen

PM₁₀-Emissionen durch Baustellen und Baustellenverkehr im Jahr 2000	
Motorische Emissionen	1'215 t ¹
PM ₁₀ aus Staub	1'500 t ¹
Baustellentransporte	262 t ²
Total	2'977 t
Umsatz Bauhauptgewerbe im Jahr 2000	
Hoch- und Tiefbau	14'400 Mio. CHF³
Emissionsfaktor	
PM ₁₀ pro Investitionskosten (= 2'977 / 14'400)	0.207 t / Mio. CHF

¹ BUWAL (2003), Modelling of PM10 and PM2.5 ambient Concentrations in Switzerland 2000 and 2010, S. 54. Für Emissionen durch Motoren veröffentlicht das BAFU in Kürze neue, tiefere Zahlen, diese sind aber noch nicht verfügbar.

² Gesamte PM₁₀-Emissionen (663t Motoremissionen und 429t Abrieb – BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030, S. 61) multipliziert mit dem Anteil von 24% der Bautransporte (BUWAL (2001), Luftreinhaltung bei Bautransporten, S. 10).

³ SBV (2007), Schweizer Bauwirtschaft. Zahlen und Fakten 2006, S. 3.
Wir danken dem BAFU für die Hilfe bei der Herleitung dieser Zahlen.

3.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Bei den im Anhang C dargestellten Emissionsfaktoren handelt es sich um Durchschnittswerte. Diese basieren auf Erhebungen über das gesamte schweizerische Strassennetz. Bei spezifischen Streckenverhältnissen kann von diesen Durchschnittswerten abgewichen werden und stattdessen sind differenzierte Werte aus dem Handbuch Emissionsfaktoren⁸² zu verwenden. Das Handbuch Emissionsfaktoren unterscheidet zwischen 47 Verkehrssituationen (Autobahn, ausserorts, innerorts, Tempo und viele Sondersituationen) und verschiedenen Steigungen. Insbesondere sind die Emissionsfaktoren für Abrieb und Aufwirbelung für Autobahnen, ausserorts und innerorts unterschiedlich (bei schweren Motorfahrzeugen bis zu

⁸¹ In einer aktuellen Studie für die Verkehrsbetriebe Schaffhausen wird von 3.2 kWh / Fzkm ausgegangen. Dieser Wert gilt für die relativ alten unklimatechnisierten Busse. Neuere Busse dürften zwar energieeffizienter sein, aber dafür eine Klimaanlage enthalten, so dass auch in Zukunft von diesem Erfahrungswert ausgegangen wird (Infras 2007, Zukunft des Trolleybusbetriebs, S. 9). In einer älteren Studie in Deutschland wird für ältere Busse ebenfalls mit ca. 3 kWh / Fzkm gerechnet, für neuere Busse jedoch nur noch ca. 2 kWh / Fzkm (Lehmann 1999, Kurzberichte aus den Obusbetrieben in Deutschland). Deshalb runden wir den Schweizer Wert etwas ab.

⁸² UBA und BUWAL (2004), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA) oder BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

Faktor 7.3, bei PW bis zu Faktor 2.5⁸³). Weitere Differenzierungen sind z.B. nach der Steigung möglich.⁸⁴

Zudem zeigen Studien, dass die Emissionen in Gebieten höher über Meer höher sind. Für Lastwagen sind die Emissionen von Partikeln auf 2'000 m.ü.M. um 75% höher als auf Meeresniveau.⁸⁵ Dazu gibt es jedoch unseres Wissens nur diese eine Studie und nach der Höhe differenzierte Emissionsfaktoren sind nicht verfügbar. Deshalb wird auf eine Berücksichtigung der Emissionshöhe – bis zum Vorliegen neuer Forschungsergebnisse – verzichtet.

Aufgrund der grossen Unterschiede vor allem bei Abrieb und Aufwirbelung scheint eine Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten sinnvoll. Die bedingt jedoch, dass die Fzkm nach Autobahn, ausserorts und innerorts (oder nach der Steigung) differenziert werden, was gemäss unserer Erfahrung grosse Anforderungen an Verkehrsmodelle stellt (vgl. dazu unten Kapitel 3.5).

Bei den **Bauemissionen** ist keine örtliche Differenzierung möglich.

3.3 Wertgerüst

3.3.1 Bewertungsmethode

Die wesentliche Grundlage für die Bestimmung des Wertgerüsts sind die Studien, in welchen im Auftrag des ARE die externen Kosten der Luftverschmutzung in der Schweiz für das Jahr 2000 bestimmt werden. In der folgenden Tabelle wird zuerst erläutert, welche Bewertungsmethoden für die verschiedenen Kostenbestandteile in diesen Studien gewählt wurden.

Ausser den immateriellen Gesundheitskosten können also alle Auswirkungen der Luftverschmutzung mit Marktpreisen quantifiziert werden.

Für die Luftverschmutzung sind **Grenz- und Durchschnittskosten** praktisch **identisch**, da die in den ARE-Studien verwendeten Kostenfunktionen linear verlaufen (z.B. der Zusammenhang zwischen höherer Schadstoffkonzentration, mehr Krankheitsfällen und höheren Kosten). Deshalb kann das Ziel, die Grenzkosten zu bewerten (SN 641 820, Ziffer 49.5), auch mit den Durchschnittskosten erreicht werden.

⁸³ BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030, S. 56.

⁸⁴ Der Schadstoff Zink befindet sich nicht im Handbuch Emissionsfaktoren. Aus einer deutschen Quelle ist bekannt, dass Zink vor allem durch Abrieb von Bremsbelägen und Reifen emittiert wird (UBA 2005, Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden, S. 60). Deshalb gehen wir davon aus, dass sich die Zinkemissionen in erster Näherung etwa wie die PM₁₀-Emissionen aus Abrieb verhalten dürften. Sind diese in einer spezifischen Situation (z.B. innerorts) um einen bestimmten Faktor höher als im Durchschnitt (vgl. Anhang), so dürften auch die Zink-Emissionen um denselben Faktor höher sein.

⁸⁵ BUWAL (1995), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950-2010, p. 203. Weitere Beispiele finden sich in Ecoplan (2006), Environmental costs in sensitive areas, S. 25 – 26.

Tabelle 3-6: Übersicht über die Bewertungsmethoden

	Bewertungsmethode
Gesundheitskosten	
Medizinische Behandlungskosten	Marktpreise
Nettoproduktionsausfall	Marktpreise
Immaterielle Kosten (Schmerz und Leid)	Zahlungsbereitschaft
Gebäudeschäden	
Verkürzte Renovationszyklen	Marktpreise für Fassadenrenovationen
Verkürzte Lebensdauer Gebäudehülle	Marktpreise für die Erstellungskosten von Fassadenbauteilen
Fensterreinigung	Marktpreise
Vegetationsschäden	
Ernteauffälle	Marktpreise für Nutzpflanzen wie Weizen, Kartoffeln, Trauben etc.
Waldschäden	Marktpreise für Ertragsausfälle in der Forstwirtschaft (Holzpreis) und für Sturmschäden (Einkommensverlust, Pflege- und Aufrüstemassnahmen und Folgeschäden (wie Borkenkäferschäden))
Bodenqualität	Marktpreise für Sanierungskosten

Quellen: Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Infras, Wüest & Partner (2004), Verkehrsbedingte Gebäudeschäden und Infras (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 64, 72 und 96.

3.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Das im Folgenden dargestellte Wertgerüst bezieht sich wie in den ARE-Studien immer auf Faktorpreise des Jahres 2000. Wie in Kapitel 3.2.2 beschrieben werden die dort ermittelten Schadstoffemissionen mit einem Kostensatz pro Tonne Schadstoff monetarisiert.

Zuordnung zwischen Schadstoffen und Kostensätzen

Für die Herleitung der Kostensätze pro Tonne Schadstoff muss in einem ersten Schritt untersucht werden, welche Schadstoffe für welche Schäden verantwortlich sind. Wie sich nachstehend zeigen wird, ist dieser Arbeitsschritt relativ aufwendig. Er muss jedoch nicht bei jeder Anwendung einer KNA geleistet werden, sondern nur einmal im Rahmen des hier vorliegenden Forschungsprojektes. Die Ergebnisse stehen anschliessend der Praxis ohne komplizierte Zusatzberechnungen zur Verfügung und sind in Tabelle 3-7 zusammengefasst.

- **Gesundheitskosten:** Die Gesundheitskosten werden über primäres PM₁₀ bewertet. Eigentlich müsste zwischen primärem und sekundärem PM₁₀ differenziert werden (60% bzw. 40% der Immissionen gemäss Tabelle 3-3). Sekundäres PM₁₀ bildet sich durch die Reaktion zwischen den Vorläufersubstanzen. Ziel wäre es, einen Kostensatz pro (Vorläufer-) Schadstoff herzuleiten. Dazu müssten Umrechnungsfaktoren der verschiedenen Vorläufersubstanzen in sekundäres PM₁₀ bestimmt werden (z.B. 1 g SO₂ ergibt X g PM₁₀). Dies ist jedoch nicht möglich, da die chemischen Prozesse in der Luft nichtlinear verlaufen und von der Zusammensetzung der Luft abhängen, die von Ort zu Ort unterschiedlich ist. Deshalb waren sich die Experten am Workshop Luftverschmutzung (vgl. Anhang A) einig, dass vereinfachend die gesamten Gesundheitskosten dem primären PM₁₀ angelastet werden sollten.

Tabelle 3-7: Relevante Schadstoffe

	relevante Schadstoffe
Gesundheitskosten	primäres PM ₁₀
Gebäudeschäden	primäres PM ₁₀
Ernteauffälle	NO _x
Waldschäden	NO _x
Bodenqualität	Zink

- **Gebäudeschäden:** Die Gebäudeschäden werden ebenfalls über primäres PM₁₀ beurteilt. Auch bei den Gebäudeschäden müsste nach primärem und sekundärem PM₁₀ unterschieden werden (88%⁸⁶ bzw. 12 %). Wie bei den Gesundheitskosten können die Schäden durch sekundäres PM₁₀ jedoch nicht auf die Vorläufersubstanzen aufgeteilt werden. Deshalb werden wie bei den Gesundheitsschäden die gesamten Gebäudeschäden dem primären PM₁₀ angelastet.
- **Ernteauffälle:** Die Ernteauffälle werden durch Ozon verursacht, welches aus den Vorläufersubstanzen NO_x und VOC (flüchtige organische Kohlenwasserstoffverbindungen) entsteht. Untersuchungen haben ergeben, dass in ländlichen Gebieten die Ozonbildung NO_x-limitiert ist, d.h. in der Luft ist so viel VOC, dass NO_x der limitierende Faktor bei der Ozonbildung ist. Deshalb gehen wir wie Infrac⁸⁷ davon aus, dass NO_x die entscheidende Vorläufersubstanz ist. Folglich werden die Ernteauffälle durch NO_x verursacht.
- **Waldschäden:** Die Waldschäden entstehen teilweise durch Holzernteverluste aufgrund der Ozonkonzentration, teilweise durch Schäden aufgrund der Bodenversauerung (Holzernteverluste und höheres Windwurfisiko). Die Ozonschäden können wie die Ernteauffälle über die Veränderung der NO_x-Emissionen angepasst werden.⁸⁸ Die Bodenversauerung entsteht aufgrund der Vorläufersubstanzen Stickoxide NO_x, Ammoniak NH₃ und Schwefeldioxid SO₂, deren Gewichtung in der folgenden Tabelle zusammengefasst wird.

⁸⁶ Die Gebäudeschäden werden zu 71% durch primäres PM₁₀ verursacht (vgl. Tabelle 3-4), die verbleibenden 29% werden durch das totale PM₁₀ verursacht, das sich wie bei den Gesundheitskosten zu 60% aus primärem und zu 40% aus sekundärem PM₁₀ zusammensetzt. Damit beträgt der gesamte Anteil des primären PM₁₀ 88.4%.

⁸⁷ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 64-65.

⁸⁸ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 79.

Tabelle 3-8: Waldschäden : Gewichtung der Vorläufersubstanzen der Bodenversauerung

	Beitrag an Bodenversauerung	Verkehrsanteil	Beitrag des Verkehrs an gesamter Bodenversauerung	Beitrag des Verkehrs an Bodenversauerung durch Verkehr
NO _x	28%	55%	15.4%	80.8%
NH ₃	47%	3%	1.4%	7.4%
SO ₂	25%	9%	2.3%	11.8%
Total	100%		19.1%	100.0%

Quelle: Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 80.

Von den gesamten verkehrsbedingten Waldschäden von 70.4 Mio. CHF entfallen 50.4 Mio. CHF oder 71.7% auf Schäden durch Ozon.⁸⁹ Damit ergibt sich folgende Gewichtung der Schadstoffe:

- NO_x 94.6% (= 71.7% + 28.3% * 80.8%)
- NH₃ 2.1% (= 28.3% * 7.4%)
- SO₂ 3.3% (= 28.3% * 11.8%)

Vereinfachend können die gesamten Waldschäden als vom NO_x abhängig angesehen werden.

- **Bodenqualität:** Bei der Bodenqualität ist tatsächlich nur der Schadstoff Zink relevant, denn bei der Verschmutzung mit Zink erreicht der Boden am schnellsten den Grenz- resp. Prüfwert, oberhalb dessen Schäden auftreten.⁹⁰

Durchschnittliche Kostensätze pro Tonne Schadstoff

In der folgenden Tabelle werden die durchschnittlichen Kostensätze pro Tonne Schadstoff dargestellt. Diese ergeben sich aus der Division der Kosten in CHF pro Fzkm in Tabelle 3-1 mit den Emissionsfaktoren in g pro Fzkm im Anhang C.⁹¹ Die Ergebnisse zeigen, dass primäres PM₁₀ Gesundheitskosten von etwa 334'000 CHF pro Tonne sowie Gebäudeschäden von 54'000 CHF pro Tonne verursacht. Die Vegetationsschäden durch NO_x bzw. Zink führen zu Kosten von 2'400 CHF bzw. 862'000 CHF pro Tonne.

⁸⁹ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 82.

⁹⁰ Der Prüfwert gibt eine Konzentration des Schadstoffes im Boden an, oberhalb der die Bodenfruchtbarkeit eingeschränkt ist, so dass der Boden eine potentielle Gefährdung von Pflanzen, Tieren und allenfalls auch Menschen darstellt (Infrac 2006, Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 98 und 100).

⁹¹ Dabei wird jeweils der Durchschnitt über alle Fahrzeugkategorien (Ø PV und GV) verwendet.

Tabelle 3-9: Durchschnittliche Kostensätze pro Tonne Schadstoff

		CHF / t Schadstoff
Primäres PM ₁₀	Gesundheitsschäden	334'000
	Gebäudeschäden	54'000
NO _x	Ernteauffälle und Waldschäden	2'400
Zink	Bodenqualität	862'000

Die **Bauemissionen** werden mit denselben Kostensätzen bewertet. Da bei den Bauemissionen nur PM₁₀ berücksichtigt wird, werden die in Tabelle 3-9 hergeleiteten Kostensätze für die Gesundheits- und Gebäudeschäden zusammengezählt, was einen Gesamtkostensatz von 388'000 CHF / t primäres PM₁₀ ergibt.

Für den Spezialfall **Trolleybus** (vgl. Kapitel 3.2.1) kann der Stromverbrauch mit demselben Kostensatz monetarisiert werden, wie die externen Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur (vgl. Kapitel 5).

3.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Wie erwähnt sind die lokalen Gegebenheiten auch bei den Immissionen zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.1.1b): Ein Teil des Effektes der Schadstoffemissionen spielt sich in einem relativ engen Gebiet entlang der Strasse ab. Im Folgenden ist deshalb zu klären, wie auf die örtlichen Gegebenheiten eingegangen werden kann (z.B. Emission mitten in einem bewohnten Gebiet oder auf grüner Wiese).

Auch bei einer örtlichen Differenzierung verwenden wir weiterhin Schadstoffemissionen und Kostensätze pro Tonne Schadstoff. Der Kostensatz wird nun aber nach dem Ort der Emission (bzw. Immission) differenziert, so dass der Kostensatz in dicht besiedeltem Gebiet höher ausfällt als auf der grünen Wiese.

Die Bestimmung differenzierter Kostensätze ist eine hochkomplexe Aufgabe. Eine exakte Bestimmung würde einen sehr grossen Aufwand verursachen, der hier nicht geleistet werden kann.⁹² Deshalb wird im Folgenden ein pragmatisches Vorgehen gewählt, das am Workshop zur Luftverschmutzung (vgl. Anhang A) intensiv diskutiert wurde.

Bei der Differenzierung des Kostensatzes wird nur zwischen Strassen bzw. Emissionen in bebautem und unbebautem Gebiet unterschieden:

- Unter **Strassen in bebautem Gebiet** verstehen wir Strassenabschnitte mit Bebauung je **50m beidseits der Strasse**. Nach Aussage der Experten am Workshop ist für die lokalen

⁹² Nach Aussage der Experten am Workshop Luftverschmutzung (vgl. Anhang A) würde eine Berechnung auf Basis eines Schadstoffausbreitungsmodells einen sehr grossen Aufwand verursachen. Denn einerseits sind die Emissionskataster zu wenig genau und andererseits müsste die kleinräumige Meteorologie berücksichtigt werden, die jedoch nicht bekannt ist und deshalb erhoben werden müsste.

Wirkungen nur ein 100m breites Band um die Strasse herum relevant. Als bebaut gilt ein beidseits der Strasse bebautes Gebiet, in dem nur noch einzelne Lücken bestehen (in denen Neubauten entstehen könnten).

- Unter **Strassen in unbebautem Gebiet** verstehen wir Strassenabschnitte ohne Bebauung je 50m beidseits der Strasse. Dazu zählen auch Tunnelabschnitte mit Belüftung (je nach Bebauung ohne Ein- und Ausfahrt).

Strassen, die auf der einen Seite bebaut, aber auf der anderen unbebaut sind, sind je hälftig Strassen im bebauten bzw. unbebauten Gebiet zuzuordnen.

Um die differenzierten Kostensätze herzuleiten wird wie folgt vorgegangen:

- Zuerst ist zu beachten, dass nur ein Teil der Schäden lokal ist. Die regionalen Schäden werden nicht lokal differenziert, da sie ohnehin regional anfallen. Aus Kapitel 3.1.3d) (Seite 44) wissen wir, dass 58% der Gesundheitskosten und 29% der Gebäudeschäden regional verursacht werden. Als erstes teilen wir deshalb die in Tabelle 3-9 aufgeführten Kostensätze für das PM₁₀ in regionale und lokale Schäden auf. Dies wird in den unteren beiden Zeilen in Tabelle 3-10 vorgenommen. Die regionalen Kostensätze gelten für alle PM₁₀-Emissionen unabhängig vom Emissionsort. Der durchschnittliche lokale Kostensatz gilt es im Folgenden nach bebautem und unbebautem Emissionsort zu differenzieren.

Tabelle 3-10: Lokal differenzierte Kostensätze in CHF pro Tonne PM₁₀

Kostensatz pro Tonne PM ₁₀	Gesundheitsschäden	Gebäudeschäden	Total
lokale Schäden in bebautem Gebiet	262'000	72'000	334'000
lokale Schäden in unbebautem Gebiet	35'000	10'000	45'000
lokale Schäden Durchschnitt	139'000	38'000	177'000
regionale Schäden	195'000	15'000	210'000

- Für diese Differenzierung benutzen wir ein Ergebnis aus dem EU-Projekt HEATCO, in dem Vorschläge für eine KNA für grenzüberschreitende Projekte gemacht werden. Im Projekt HEATCO werden unterschiedliche Kostensätze für PM_{2.5} hergeleitet für urbane Räume und Gebiete ausserhalb des Siedlungsgebietes.⁹³ Dazu wurde das Schadstoff-Ausbreitungsmodell EcoSense eingesetzt. Darin sind Hintergrundemissionen und Meteorologie enthalten. Das Modell arbeitet europaweit mit einem 50 x 50 km Raster. In HEATCO ausgewiesen werden Kostensätze pro Land, die durch die hypothetische Erhöhung der Emissionen in einem Land um 10% ermittelt wurden (Vergleich der zusätzlichen Emissionen und der zusätzlichen Kosten). Die Ergebnisse zeigen, dass die Kosten von PM_{2.5}-Emissionen in urbanen Räumen je nach betrachtetem Land 2.2- bis 12.1-mal höher sind als die Kosten von Emissionen ausserhalb des Siedlungsgebietes, für die Schweiz

⁹³ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 134 – 143.

beträgt der Faktor 7.4.⁹⁴ Dieser Faktor wird hier für die Differenz bebaut – unbebaut verwendet. Wir sind uns im Klaren, dass dieser Faktor keineswegs exakt ist,⁹⁵ doch liegen keine anderen verwendbaren Werte vor. Folglich gehen wir davon aus, dass der Kostensatz in bebautem Gebiet 7.4-mal höher ist als in unbebautem Gebiet.

- Um die tatsächlichen Kostensätze herzuleiten, haben wir die Emissionen im bebauten und unbebauten Gebiet ermittelt. Dazu haben wir die differenzierten Emissionsfaktoren nach Autobahn, ausserorts und innerorts verwendet sowie die entsprechenden Fahrzeugkilometer.⁹⁶ Als Emissionen im bebauten Gebiet betrachten wir die Emissionen innerorts und von 10% der Emissionen auf Autobahnen (grobe Schätzung, da Autobahnen meist möglichst ausserhalb des Siedlungsgebietes geführt werden (mehr als 50m Abstand), aber in Siedlungsnähe (insbesondere in den Agglomerationen) meist höhere Verkehrsmengen verkehren). Die Emissionen ausserorts und von 90% der Autobahnen gelten entsprechend als in unbebautem Gebiet ausgestossen.
- Aus den getroffenen Annahmen kann nun der Kostensatz in bebautem und unbebautem Gebiet berechnet werden.⁹⁷ Wie Tabelle 3-10 zeigt, betragen die lokalen Kosten im bebauten Gebiet 334'000 CHF / t PM₁₀, im unbebauten Gebiet lediglich 45'000 CHF / t PM₁₀, d.h. 7.4-mal weniger. Dazu sind noch die regionalen Schäden von 210'000 CHF / t PM₁₀ zu zählen.

Dieses Vorgehen ist nur sehr grob, denn es werden nur Unterschiede zwischen dem bebauten und unbebauten Gebiet berücksichtigt. Tatsächlich spielt jedoch nicht nur das Vorhandensein einer Bebauung eine Rolle, sondern auch die Dichte der Bebauung bzw. die Bevölkerungsdichte. Daneben sind auch meteorologische Bedingungen von Bedeutung wie die Windrichtung und -stärke. Auch die Häufigkeit von Temperaturinversionen ist relevant, da die Schadstoffe bei einer Inversion nicht wegtransportiert werden und deshalb grösseren Schaden anrichten. So hat z.B. EcoPlan (2006)⁹⁸ gezeigt, dass die Immissionen im Alpenraum aufgrund von Inversionen und wenig Wind 4.2-mal höher sind als im Flachland (bei gleichen Emissionen). Auf die Berücksichtigung dieses Faktors wird hier jedoch aus verschiedenen Gründen verzichtet.⁹⁹

⁹⁴ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, Tabelle 6.2, S. 137.

⁹⁵ Erstens beruht der Faktor auf PM_{2.5}, während wir ihn für PM₁₀ benutzen. Zweitens beruht der Faktor auf einem anderen Wertgerüst als dem hier verwendeten. Und drittens schwankt der Faktor innerhalb Europas beträchtlich, so dass auch Differenzen innerhalb der Schweiz denkbar sind.

⁹⁶ BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs bis 1980 - 2030, S. 87 und 56 sowie bfu (2005), Unfallgeschehen in der Schweiz. Bfu-Statistik 2005, S. 29.

⁹⁷ Einmal werden die lokalen Schäden mittels des durchschnittlichen Kostensatzes berechnet, ein andermal mit einem um den Faktor 7.4 höheren Kostensatz im bebautem Gebiet. Die Kostensätze im bebauten und unbebauten Gebiet werden so gewählt, dass die gesamten Kosten gleich sind wie bei der Berechnung mit dem durchschnittlichen Kostensatz.

⁹⁸ EcoPlan (2006), Environmental costs in sensitive areas, Kapitel 3.

⁹⁹ Der Verzicht erfolgt, weil die Abgrenzung zwischen Alpenraum und Flachland in der Praxis für ein konkretes Projekt schwierig ist, weil der Faktor für den Variantenvergleich meist unbedeutend sein dürfte (alle Varianten im Alpenraum oder keine), und weil das vorgeschlagene Verfahren nicht komplizierter werden soll.

Mit dem vorgeschlagenen Vorgehen können aber grobe Fehleinschätzungen verhindert werden, beispielsweise wenn eine Umfahrungsstrasse zu einer Entlastung der Wohngebiete führt, aber insgesamt zu mehr Emissionen. In diesem Fall würde eine Durchschnittsmethode eine Zunahme der Luftverschmutzung zeigen, während die hier vorgeschlagene Differenzierung die tatsächliche Entlastung aufzeigt.

Vorgehen in der praktischen Anwendung

Abschliessend soll nochmals zusammengefasst werden, wie bei der praktischen Bewertung eines Projektes vorzugehen ist:

- Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben ist zuerst die Veränderung der Fzkm zu erheben (allenfalls differenziert nach Fahrzeugkategorien).
- Dann wird mit Hilfe von Emissionsfaktoren die Veränderung der PM₁₀-Emissionen bestimmt (vgl. Kapitel 3.2.2). Dabei wird möglicherweise auf örtliche Gegebenheiten wie z.B. Strassentyp (Autobahn, ausserorts, innerorts) oder Steigung Rücksicht genommen (vgl. Kapitel 3.2.3). Werden örtliche Gegebenheiten berücksichtigt, so müssen die Fzkm zuerst entsprechend differenziert werden.
- Die Vegetationsschäden sowie die regionalen Gesundheits- und Gebäudeschäden können dann mit den entsprechenden Kostensätzen monetarisiert werden (vgl. Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10).
- Für die Bewertung der lokalen Schäden müssen die Fzkm bzw. die Emissionen zuerst nach bebautem und unbebautem Gebiet aufgeteilt werden. Dann können die spezifischen Kostensätze in Tabelle 3-10 für die Bewertung angewendet werden.

Wie sich also zeigt, müssen für die Anwendung der detailliertesten Methode die Fzkm differenziert werden. Einerseits z.B. nach innerorts, ausserorts und Autobahn (und falls relevant nach Steigungen), andererseits nach bebautem und unbebautem Gebiet. Die Differenzierung nach innerorts, ausserorts und Autobahn kann gemäss unserer Erfahrung nicht einfach aus dem Verkehrsmodell gezogen werden. Deshalb muss der detailliert analysierte **Untersuchungsraum** eingeschränkt werden. Eine Möglichkeit bietet der bereits für die Bestimmung der Lärmemissionen definierte Untersuchungsraum, d.h. alle Strassen mit Veränderungen der Verkehrsmenge um mindestens den Faktor 1.25 (Zunahme um 25% oder Abnahme um 20%). Es kann hier aber auch ein grösserer Untersuchungsraum gewählt werden.

Hingegen ist im nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) der Prozentsatz im bebauten Gebiet erfasst. Damit kann nach bebautem und unbebautem Gebiet differenziert werden. Es ist allerdings zu prüfen, ob die NPVM enthaltene Differenzierung nach bebaut / unbebaut genügend genau ist, da die Differenzierung im NPVM nicht nach dem Kriterium Bebauung innerhalb von 50m beidseits der Strasse gemacht wurde. Die Prüfung kann sich auf den oben definierten Untersuchungsraum beschränken.

Es ist jedoch zu betonen, dass nicht nur die Veränderungen im Untersuchungsraum analysiert werden, sondern alle Veränderungen innerhalb des im Verkehrsmodell betrachteten Raumes. Für die Gebiete ausserhalb des Untersuchungsraums für Lärm und Luftverschmut-

zung kann jedoch eine Durchschnittsbetrachtung genügen, d.h. bei der Berechnung der Emissionen wird auf eine Differenzierung gemäss Kapitel 3.2.3 verzichtet und es werden entweder die in Tabelle 3-9 dargestellten Kostensätze verwendet oder – falls mit dem Verkehrsmodell einfach berechenbar (wie mit dem NPVM) – mit den differenzierten Kostensätzen nach bebaut / unbebaut.

Zusätzlich sind auch die **Bauemissionen** zu berücksichtigen. Dies erfolgt über den Emissionsfaktor von 0.207 t PM₁₀ pro Mio. CHF Investitionskosten (vgl. Tabelle 3-5). Die lokalen Schäden der Bauemissionen sind **immer mit den detaillierten Kostensätzen für bebautes und unbebautes Gebiet** in Tabelle 3-10 zu bewerten. Denn für die Baustelle kann einfach festgestellt werden, ob sie in bebautem oder unbebautem Gebiet liegt. Möglich ist auch, dass die Bauemissionen aufgeteilt werden, wenn ein Teil der Baustelle in bebautem Gebiet liegt und der andere Teil in unbebautem. Zusätzlich sind natürlich die regionalen Schäden zu berücksichtigen (vgl. ebenfalls Tabelle 3-10).

3.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, sind die Werte wie folgt auf den Preisstand der KNA anzupassen (vgl. auch Tabelle 3-11, wo auch nochmals die Bewertungsmethoden angegeben sind):

- Gesundheitskosten: Die Gesundheitskosten werden hauptsächlich mittels einer Zahlungsbereitschaft¹⁰⁰ bestimmt und werden deshalb – wie üblich – mit dem Nominallohnwachstum angepasst.¹⁰¹
- Gebäudeschäden: Die verkürzten Renovationszyklen sowie die verkürzte Lebensdauer der Gebäudehülle können beide mit dem Hochbaupreisindex¹⁰² fortgeschrieben werden.¹⁰³ Wir schlagen vor, die Fensterreinigung im Sinne einer Vereinfachung ebenfalls mit dem Baukostenindex an die Preisentwicklung anzupassen.¹⁰⁴

¹⁰⁰ 95% der gesamten Gesundheitskosten durch den Strassenverkehr werden über eine Zahlungsbereitschaft bestimmt. Weitere 1% durch medizinische Behandlungskosten und 4% durch Nettoproduktionsausfälle (Ecoplan et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, S. 100).

¹⁰¹ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 122.

¹⁰² Siehe z.B. BFS (2007), Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 145.

¹⁰³ Auch Infras, Wüest & Partner (2004, Verkehrsbedingte Gebäudeschäden, S. 62 – 63) verwendete für die Preisangabe von 1991 auf 2000 den Zürcher Wohnbaukostenindex, der durch den Hochbaupreisindex abgelöst wurde, welcher erst 1998 eingeführt wurde (BFS (2004), Schweizerischer Baupreisindex, S. 5.).

¹⁰⁴ Zur Anpassung der Fensterreinigungskosten würde sich grundsätzlich das Nominallohnwachstum als eng korrelierter Kostentreiber anbieten. Aufgrund der geringen Bedeutung der Fensterreinigungskosten (18% der Gebäudeschäden) kann jedoch auf diese Differenzierung verzichtet werden und vereinfachend der Baukostenindex verwendet werden. Zwischen den Jahren 2000 und 2005 ergibt sich dadurch für die Kosten der Fensterreinigung nur ein sehr kleine Ungenauigkeit (Zunahme um 4.4% statt 4.7%) – für die gesamten Kosten der Gebäudeschäden ist diese Differenz vernachlässigbar klein.

- Vegetationsschäden: Die Vegetationsschäden werden über die Preise von Nutzpflanzen und Holz sowie Sanierungskosten bestimmt. Diese können über die Inflation (Konumentenpreisindex) an die Preisentwicklung angepasst werden.

Tabelle 3-11: Übersicht über Bewertungsmethoden und Anpassungen an einen anderen Preisstand

	Bewertungsmethode	Anpassung Preisstand
Gesundheitskosten		
Medizinische Behandlungskosten	Marktpreise	} Nominallohnwachstum
Nettoproduktionsausfall	Marktpreise	
Immaterielle Kosten	Zahlungsbereitschaft	
Gebäudeschäden		
Verkürzte Renovationszyklen	Marktpreise	} Hochbaupreisindex
Verkürzte Lebensdauer Gebäudehülle	Marktpreise	
Fensterreinigung	Marktpreise	
Vegetationsschäden		
Ernteauffälle	Marktpreise	} Konsumentenpreisindex
Waldschäden	Marktpreise	
Bodenqualität	Marktpreise	

3.4 Veränderung über die Zeit

Das Mengen- und Wertgerüst sind nicht nur für ein Stichjahr (z.B. 2030 oder 2000) zu erheben, sondern es ist auch abzuschätzen, wie sie sich über die Zeit bzw. über die nächsten Jahrzehnte verändert (vgl. Kapitel 1.3).

Das Verkehrswachstum ist hier nicht relevant, weil die Veränderung der Verkehrsmenge (in Fzkm) als Input in die Berechnungen einfließt, d.h. zusätzlich zu den im Folgenden gemachten Vorgaben berücksichtigt werden muss.

a) Mengengerüst

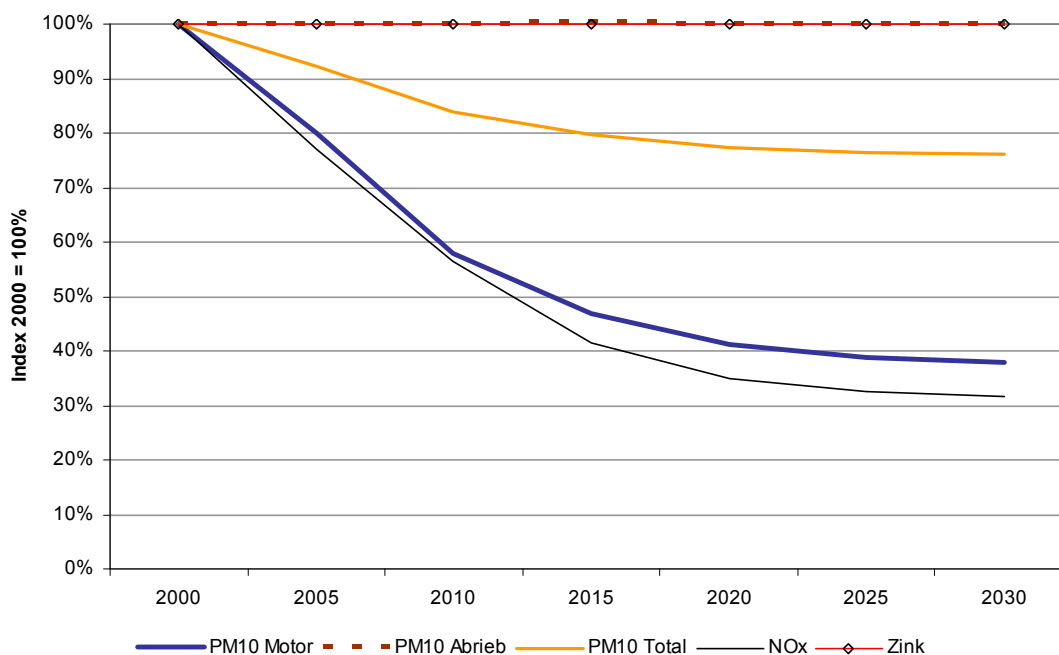
Emissionsfaktoren während der Betriebsphase

Die Emissionen der Fahrzeuge werden in den nächsten Jahren weiter abnehmen. Dies ist bei einer KNA zu berücksichtigen. Die Entwicklung der Emissionsfaktoren für Abgase sowie für Abrieb und Aufwirbelung kann aus zwei aktuellen BUWAL-Studien entnommen werden.¹⁰⁵ Diese Studien liefern Daten bis zum Jahr 2020 bzw. 2030. Die Ergebnisse dieser Studien für

¹⁰⁵ UBA und BUWAL (2004), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA). Version 2.1 und BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

verschiedene Schadstoffe und verschiedene Fahrzeugkategorien sind im Anhang C dargestellt. Die folgende Grafik gibt einen zusammenfassenden Überblick:

Grafik 3-6: Entwicklung der Schadstoffemissionen (Emissionsfaktoren pro Fzkm)



- Die PM₁₀-Motoremissionen pro Fzkm nehmen bis zum Jahr 2030 auf 38% des Wertes im Jahr 2000 ab. Die PM₁₀-Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb bleiben jedoch konstant, so dass die gesamten PM₁₀-Emissionen nur auf 76% des Wertes von 2000 abnehmen.
- Die NO_x-Emissionen pro Fzkm nehmen noch etwas stärker ab als die PM₁₀-Motoremissionen und erreichen 2030 einen Wert von 32% des Wertes von 2000.
- Die Zink-Emissionen bleiben über die Zeit konstant (gemäss Annahme im Anhang C).

Diese Werte verdecken einige Unterschiede zwischen den Fahrzeugkategorien (vgl. Anhang C). Insbesondere sind die Abnahmen der Emissionen im Güterverkehr ausgeprägter als im Personenverkehr.

Betrachtet man den Verlauf der Reduktionen in Grafik 3-6, so erkennt man, dass der Grossteil der Abnahme zwischen den Jahren 2000 und 2020 stattfindet. In der darauf folgenden Zeitraum (2020 bis 2030) ist die Abnahme nur noch sehr gering. Deshalb gehen wir davon aus, dass die Emissionsfaktoren nach 2030 konstant bleiben.

Das BAFU hat uns darauf hingewiesen, dass das Handbuch Emissionsfaktoren momentan überarbeitet wird. Insbesondere sind die Standards Euro-4 und Euro-5 im bestehenden Handbuch nicht enthalten, deren Berücksichtigung die Abnahme der Emissionsfaktoren

weiter verstärken wird. Sobald das neue Handbuch Emissionsfaktoren vorliegt, das im Jahr 2009 publiziert werden soll, sind also die dort hergeleiteten neuen Daten zu verwenden.

Emissionsfaktoren während der Bauphase

Um die Veränderung der Bauemissionen über die Zeit zu bestimmen, müssen die Emissionen in ihre drei Bestandteile aufgeteilt werden (vgl. Tabelle 3-5):

- Die **Motoremissionen der Baumaschinen** dürften etwa **wie die Motoremissionen von schweren Nutzfahrzeugen** abnehmen, d.h. sie dürften bis 2030 auf 14% des Wertes von 2000 sinken (vgl. Anhang C, Tabelle 10-3). Tatsächlich dürften die Motoremissionen der Baumaschinen noch stärker abnehmen als die Motoremissionen der schweren Nutzfahrzeuge, da bei den Baumaschinen noch ein Nachholbedarf besteht und da 2002 Partikelfilter für Baumaschinen vorgeschrieben wurden. Über die Abnahme liegen bisher noch keine Zahlen vor. Das BAFU plant, entsprechende Werte erstmals im Jahr 2008 zu publizieren.
- Die **PM₁₀-Emissionen aus Staub** (Abrieb / Aufwirbelung etc.) dürften wie die PM₁₀-Emissionen im Verkehr über die Zeit **konstant** bleiben (vgl. Anhang C, Tabelle 10-3).
- Die **Emissionen der Baustellentransporte** nehmen **wie die Gesamtemissionen von schweren Nutzfahrzeugen** ab, d.h. sie reduzieren sich bis 2030 auf 47% des Wertes von 2000.

Werden diese differenzierten Abnahmefaktoren mit den Emissionen im Jahr 2000 gewichtet (vgl. Tabelle 3-5), so ergibt sich eine Abnahme der gesamten Bauemissionen bis 2030 auf 60% des Wertes von 2000.

b) Wertgerüst

- Die **Gesundheitskosten** werden mittels einer Zahlungsbereitschaft (vgl. Fussnote 100) bestimmt und nehmen deshalb – wie üblich – mit dem **Reallohnwachstum** zu, das in etwa 0.75% pro Jahr betragen dürfte.¹⁰⁶
- Bei den Kostensätzen zu den **Gebäudeschäden** gehen wir von **realer Konstanz** aus:
 - Die Kosten einer Fassadenrenovation sowie der Erstellung von Fassadenbauteilen dürften real etwa konstant bleiben. Dies entspricht auch der Standardannahme, dass die Ersatzinvestitionen real gleich hoch sind wie die ursprünglichen Investitionen (vgl. SN 641 820, Ziffer 31).
 - In der professionellen Fensterreinigung sind die Kosten dank technischen Fortschritten und aufgrund des starken Wettbewerbs zwischen 1993 und 2000 um etwa 25% gesunken. Ob ähnliche Kostensenkungen auch in Zukunft möglich sind, ist ungewiss. Andererseits könnten aufgrund des Reallohnwachstums steigende Kosten vermutet werden. Insgesamt kann auch hier von real konstanten Kosten ausgegangen werden.

¹⁰⁶ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 122.

- Auch bei den **Vegetationsschäden** gehen wir von einem **real konstanten Wertgerüst** aus: Bei den Vegetationsschäden erwarten wir real konstante Preise für Landwirtschaftsprodukte (Ernteausfälle) und Holz (Waldschäden) sowie real konstante Reparaturkosten für Bodensanierungen.

Zusätzliche Einflüsse auf das Wertgerüst

Zwei weitere Entwicklungen haben ebenfalls einen Einfluss auf die Kostensätze. Sie bewirken, dass die Zahl der Personen, die unter Gesundheitsschäden leiden, bzw. die Zahl der betroffenen Gebäude zunehmen. Entsprechend steigt der Kostensatz pro Tonne Schadstoff:

- **Bevölkerungswachstum:** Die Bevölkerungsszenarien des BfS¹⁰⁷ gehen im Basisszenario von einer Bevölkerungszunahme bis zum Jahr 2035 aus und dann von einer leichten Abnahme bis 2050 (vgl. folgende Tabelle). Diese Entwicklung wird übernommen, wobei nach 2050 Konstanz unterstellt wird. Dabei ist zu beachten, dass das Bevölkerungswachstum nur einen Effekt auf die Gesundheitskosten hat.¹⁰⁸

Tabelle 3-12: Entwicklung der Bevölkerung gemäss mittlerem Szenario des BfS

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bevölkerung	7164.4	7415.1	7650.0	7850.0	7983.1	8073.4	8134.9	8160.9	8155.3	8124.3	8073.1

Quelle: BfS (2006), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005 – 2050, S. 67.

- **Zunahme des Siedlungsraumes:** Auch die Zahl der Gebäude und damit die Gebäudeschäden können sich über die Zeit verändern. Gemäss der Arealstatistik hat die Gebäudefläche zwischen 1979/85 und 1992/97¹⁰⁹ um 6.9% zugenommen, was etwa 0.6% pro Jahr entspricht. Unseres Wissens gibt es keine Prognosen für die Veränderung der Gebäudeflächen. Deshalb verwenden wir bestehende Prognosen für die Veränderung der Energiebezugsfläche, welche in der folgenden Tabelle zusammengefasst sind. Bis 2030 wird ein starkes Wachstum prognostiziert, weil der Platzbedarf pro Kopf deutlich steigen wird und da bis 2030 auch die Bevölkerung noch deutlich zunimmt. Für die Jahre nach 2030 wird nur noch ein massvoller Zuwachs prognostiziert.

Bei den Vegetationsschäden gehen wir davon aus, dass die mit Nutzpflanzen bebaute Fläche sowie die Waldfläche (in etwa) konstant bleiben.

¹⁰⁷ BfS (2006), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005 – 2050, S. 67.

¹⁰⁸ Zudem hat auch die Bevölkerungsstruktur einen Einfluss, da vor allem Senioren unter der Luftverschmutzung leiden und der Anteil der Seniorinnen steigen dürfte. Dies wird jedoch nicht berücksichtigt, weil der Aufwand für die Berücksichtigung dieses Effektes sehr gross wäre.

¹⁰⁹ Die Arealstatistik wird jeweils über ca. 5 Jahre neu erhoben (BfS 2007, Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007, S. 71).

Tabelle 3-13: Veränderung der Energiebezugsfläche in der Schweiz über die Zeit in Mio. m²

	2005	2030	2050	2070	2100
Haushalte	444	592	658	713	780
Dienstleistungen	147	190	206	223	244
Industrie	72	84	86	87	88
Total	663	865	950	1'023	1'112
Wachstum pro Jahr		2000 - 2030	2030 - 2050	2050 - 2070	2070 - 2100
		1.1%	0.5%	0.4%	0.3%

Quelle: Ecoplan (2007), Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse), Kapitel 6.5.

c) Überblick über die Veränderungen über die Zeit

Die gesamten Veränderungen des Mengen- und Wertgerüsts über die Zeit werden in Tabelle 3-14 zusammengefasst. In der Tabelle werden auch nochmals zum Vergleich die Bewertungsmethode und die Anpassung an den Preisstand angegeben (vgl. Tabelle 3-6 und Tabelle 3-11).

Tabelle 3-14: Übersicht über Bewertungsmethoden und Anpassungen an Preisstand und Zeit

	Bewertungsmethode	Anpassung Preisstand	Anpassung über Zeit
Gesundheitskosten			
Medizinische Behandlungskosten	Marktpreise	} Nominallohnwachstum	} Abnahme Emissionsfaktoren
Nettoproduktionsausfall	Marktpreise		
Immaterielle Kosten	Zahlungsbereitschaft		
			} Reallohnwachstum
Gebäudeschäden			
Verkürzte Renovationszyklen	Marktpreise	} Hochbaupreisindex	} Abnahme Emissionsfaktoren
Verkürzte Lebensdauer Gebäudehülle	Marktpreise		
Fensterreinigung	Marktpreise		
Vegetationsschäden			
Ernteauffälle	Marktpreise	} Konsumentenpreisindex	} Abnahme Emissionsfaktoren
Waldschäden	Marktpreise		
Bodenqualität	Marktpreise		

3.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Die in Kapitel 3.2 bis 3.4 beschriebene Methode mag komplex erscheinen, doch der grösste Teil der Komplexität ist projektunabhängig und kann mit einem einmaligen Berechnungs- bzw. Programmieraufwand gelöst werden.¹¹⁰ Für die Anwendung in der Praxis müssen daher im Normalfall „nur“ noch folgende Daten erhoben werden:

¹¹⁰ Es ist geplant, die Vorgaben der Norm in eNISTRA zu übernehmen, so dass viele detaillierte und komplizierte Berechnungen dem Benutzer abgenommen werden.

- Veränderung der Fzkm (allenfalls differenziert nach Fahrzeugkategorien)
- Allenfalls zusätzlich die Veränderung der Fzkm auf Umwegfahrten (bei Bedarf differenziert nach Fahrzeugkategorien)
- Umrechnung der Fzkm in Schadstoffemissionen – mittels Durchschnittswerten oder differenziert nach Ortslage (innerorts, ausserorts, Autobahn) und allenfalls Steigung. Dies bedingt eine Differenzierung der Fzkm nach Ortslage und Steigung.
- Für die Bewertung ist zudem eine Differenzierung nach Emission im bebauten bzw. unbebauten Gebiet nötig.
- Investitionskosten (für die Berechnung der Bauemissionen) sowie deren Aufteilung nach bebautem und unbebautem Gebiet

Für die Bewertung ist also die Veränderung der Fzkm zu erheben und zwar nach folgender in Tabelle 3-15 dargestellter Differenzierung: Nach Fahrzeugkategorie, nach bebaut / unbebaut und nach Ortslage. Zusätzlich könnte auch noch nach Steigung unterschieden werden, doch dies dürfte meist nicht relevant sein.

Die eben erwähnten Anforderungen an die Differenzierung der Fzkm sind relativ gross und stehen gemäss unseren Erfahrungen auch beim Einsatz eines Verkehrsmodells nicht direkt zur Verfügung. Wie in Kapitel 3.3.3 erwähnt kann deshalb die **differenzierte Erhebung der Fzkm nur in einem relativ engen Untersuchungsperimeter** um das Projekt herum vorgenommen werden (besonders betroffene Strassen wie Neubaustrecke und ihre Zulaufstrecken und entlastete alte Strasse – z.B. bietet sich der gleiche Untersuchungsperimeter wie beim Lärm an). Die **Veränderungen der Fzkm ausserhalb des engen Untersuchungsperimeters** werden **weniger differenziert** berücksichtigt: Wie vorne erwähnt unterscheidet das NPVM nach bebautem und unbebautem Gebiet, deshalb kann allenfalls auch ausserhalb des engen Untersuchungsperimeters nach bebaut / unbebaut differenziert werden (vgl. letzte zwei Zeilen in Tabelle 3-15). In der Praxis können diese Fzkm als Differenz zwischen der Veränderung der gesamten Fzkm gemäss Verkehrsmodell abzüglich der Veränderungen im Untersuchungsraum ermittelt werden.

Die Tabelle 3-15 ist prinzipiell zweimal auszufüllen, nämlich für die Betriebs- und für die Bauphase (Umwegfahrten). Für die Bauphase kann die Abschätzung aber grob erfolgen.

Tabelle 3-15: Benötigte Inputdaten für die detaillierte Methode

Fzkm		PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
Bebaut	Autobahn									
	ausserorts innerorts									
Unbebaut	Autobahn									
	ausserorts innerorts									
Ausserhalb Untersuchungsperimeter										
Bebaut										
Unbebaut										

Soll nur ein kleines Projekt bewertet werden oder soll eine Grobbewertung vorgenommen werden, so stehen möglicherweise die Fzkm nicht in dieser Differenzierung zur Verfügung. In diesem Fall ist projektspezifisch zu entscheiden, wie differenziert die Daten erhoben werden können (eine Differenzierung lohnt sich eher, wenn aus den Ergebnissen der gesamten KNA hervorgeht, dass die Kosten der Luftverschmutzung einen relevanten Kostenbestandteil darstellen):

- Die Differenzierung nach den einzelnen **Fahrzeugkategorien** dürfte meist nicht relevant sein. Allenfalls ist eine Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr sinnvoll – vor allem wenn der Güterverkehrsanteil vom Schweizer Durchschnitt deutlich abweicht. Liegen differenzierte Daten aber ohnehin vor, sind diese zu verwenden.
- Die Differenzierung nach **Ortslage** ist relevant, wenn grössere Verschiebungen zwischen Autobahn, ausserorts und innerorts zu erwarten sind, z.B. beim Bau einer Umfahrungsstrasse oder eines neuen Autobahnstückes oder einer neuen Autobahnzufahrt. In vielen Fällen dürfte diese Differenzierung jedoch nicht nötig sein (ausser die Luftverschmutzung sollte sich als relevanter Indikator in der Gesamtbewertung erweisen).
- Die Differenzierung nach **bebautem bzw. unbebautem Gebiet** ist aufgrund des deutlich unterschiedlichen Kostensatzes sinnvoll – falls grössere Verschiebungen zu erwarten sind wie z.B. beim Bau einer Umfahrungsstrasse, ist die Differenzierung zwingend zu verwenden. In anderen Fällen kann die Bewertung auch ohne diese Differenzierung erfolgen (indem die Kostensätze aus Tabelle 3-9 verwendet werden). Wird das NPVM verwendet, so ist die Differenzierung ohne grossen Aufwand möglich und sollte berücksichtigt werden.

Im Extremfall ist die Bewertung also auch nur mit einer einzigen Zahl zu den Fzkm möglich. So kann im Rahmen einer Grobbewertung auf sämtliche Differenzierungen verzichtet werden. Doch ist zu bedenken, dass bei einer Grobbewertung einer Umfahrungsstrasse der Verzicht auf die Differenzierung bebaut / unbebaut zu einem falschen Vorzeichen führen kann. Deshalb ist in diesem Fall trotzdem eine Differenzierung zu empfehlen, auch wenn sie nur mit sehr groben Annahmen erfolgt.

Die Grundnorm SN 641 820 „Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr“ gibt im Kapitel B eine Typisierung der Projekte vor:

- Kleine und mittlere Projekte mit Kosten unter 50 Mio. CHF
- Regionale Grossprojekte mit Kosten zwischen 50 und 500 Mio. CHF
- Überregionale und nationale Grossprojekte mit Kosten über 500 Mio. CHF

Für überregionale und nationale Grossprojekte wird eine Differenzierung nach Ortslage und nach bebautem und unbebautem Gebiet gefordert, für regionale Grossprojekte dürfte sie meist auch zu empfehlen sein.

Die **Bauemissionen** sind bei allen Projekten und bei Grobevaluationen immer nach bebaut / unbebaut zu differenzieren, wobei die Zuordnung auch grob erfolgen kann.

3.6 Vergleich mit NISTRA

In NISTRA ist momentan eine Übergangslösung implementiert, die nach dem Erscheinen der vorliegenden Arbeit ersetzt werden soll. Die NISTRA-Methode entspricht weitgehend der hier entwickelten Methode. Mit den vorliegenden Grundlagenarbeiten werden jedoch einige weitere Differenzierungsmöglichkeiten geschaffen bzw. Anpassungen vorgenommen:

- Die Differenzierung nach bebautem und unbebautem Gebiet wurde in diesem Bericht neu hergeleitet. Dazu waren umfassende Neuberechnungen nötig.
- Die Differenzierung nach der Ortslage ist in NISTRA nicht vorgesehen.
- Zudem werden die Bauemissionen unseres Wissens international erstmals in eine Bewertung miteinbezogen.
- Bei den Veränderungen über die Zeit werden neu zusätzlich das Bevölkerungswachstum und die Veränderung der Energiebezugsfläche mitberücksichtigt, währenddem sich NISTRA bisher „nur“ auf die Veränderung der Emissionsfaktoren und des Reallohnwachstums beschränkte.¹¹¹

NISTRA geht eigentlich von den in Tabelle 3-1 dargestellten durchschnittlichen Kostensätzen pro Fzkm aus, d.h. von der Methode A (Kostensatz pro Fzkm) in Grafik 3-2. Der Unterschied der beiden Methoden besteht darin, dass bei der Berechnung der Emissionen hier neu die Ortslage mitberücksichtigt wird und dass die lokalen Schäden (in bebautem bzw. unbebautem Gebiet) neu detailliert betrachtet werden.

¹¹¹ Allerdings wurde für die gesamten Schäden die Veränderungen der PM₁₀-Emissionfaktoren verwendet, während hier neu auch NO_x und Zink detailliert berücksichtigt werden.

4 Klima

4.1 Einleitung

Die Emission von Treibhausgasen führt zu einer Klimaerwärmung. Da es sich beim Klimawandel um ein weltweites Phänomen handelt, spielt es keine Rolle, wo die Emissionen stattfinden. Die Bewertung ist deshalb relativ einfach und kann auf den Treibhausgas-Emissionen (Mengengerüst) und einem Kostensatz pro Emissionseinheit (Wertgerüst) beruhen.

Bei diesem externen Effekt handelt es sich um den wichtigsten Umwelteffekt. Trotzdem ist seine Bedeutung meist relativ gering: In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte er durchschnittlich 1.5% der monetarisierten Indikatoren aus und schwankte je nach Projekt zwischen 0.0% und 4.7%.¹¹² Allerdings wurde im Rahmen der Pilotanwendungen noch ein alter Kostensatz von 170 CHF / t CO₂ verwendet, der sich nun im Lichte neuer Studienergebnisse (vgl. unten) als deutlich zu hoch erweist. Wird der im Folgenden vorgeschlagene Kostensatz von 50 CHF / t CO₂ verwendet, so nimmt die durchschnittliche Bedeutung des Indikators Klima auf 0.4% ab (maximal 1.4%).

4.2 Mengengerüst

4.2.1 Benötigte Inputdaten

Um die Auswirkungen auf den Klimawandel abschätzen zu können, muss der Ausstoss von Treibhausgasen ermittelt werden. Dabei sind Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) zu berücksichtigen.

Wie bei der Luftverschmutzung kann das Mengengerüst aufgrund der Fahrleistungen (Fzkm) aus dem Verkehrsmodell und aufgrund von Emissionsfaktoren pro Fzkm bestimmt werden. Die projektabhängigen Inputdaten sind deshalb die Veränderungen der **Fahrzeugkilometer** (Fzkm). Nach Möglichkeit sind die Fzkm nach Personen- und Güterverkehr zu differenzieren, falls möglich sogar nach 6 verschiedenen Fahrzeugkategorien (vgl. Tabelle 4-1).

Bei der Bestimmung des Mengengerüsts ist zu berücksichtigen, dass während der **Bauphase** Umwegfahrten (Umleitungen) nötig sein können, welche die Fahrtstrecke und damit die Fzkm und Treibhausgasemissionen erhöhen. Was die Treibhausgasemissionen durch den Bau (Baumaschinen und Baustellentransporte) betrifft, so wird auf deren Monetarisierung verzichtet, da Berechnungen analog zu den Berechnungen in Kapitel 3.2.1 zeigen, dass die Emissionen von Treibhausgasen zu Kosten führen, die weniger als 5% der Kosten der Luftschadstoffe ausmachen. Diese geringen Kosten können vernachlässigt werden.

¹¹² Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

4.2.2 Berechnung des Mengengerüstes

Die Fahrzeugkilometer sind mittels Emissionsfaktoren pro Fzkm in Treibhausgasemissionen umzurechnen. Für die Emissionsfaktoren liegen Prognosen des BUWAL (heute BAFU) bis zum Jahr 2030 vor (vgl. folgende Tabelle).¹¹³ Die Emissionen der drei klimarelevanten Gase CO₂, CH₄ und N₂O können mittels dem GWP (global warming potential) von 1, 23 und 296 in CO₂-Äquivalente umgerechnet werden.¹¹⁴ Von den Werten in Tabelle 4-1 stammen 96.6% bis 99.8% vom CO₂.

Liegen differenzierte Fzkm nach den in Tabelle 4-1 aufgeführten 6 Fahrzeugkategorien vor, so können die differenzierten Werte verwendet werden. Liegen nur Fzkm nach Personen- und Güterverkehr vor, können die entsprechenden Durchschnittswerte verwendet werden. Ist aber nur die Veränderung der gesamten Fzkm bekannt, so muss mit dem Durchschnitt für den Gesamtverkehr gerechnet werden. In der Regel genügt eine Differenzierung nach Personen- und Güterverkehr.

Tabelle 4-1: Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugkategorien und Jahre in g CO₂-Äquivalente / Fzkm

	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	222.3	1140.4	832.9	98.2	222.2	289.5	739.7	476.3	250.4
2005	209.1	1106.4	799.4	95.5	209.3	274.0	756.9	474.4	238.7
2010	195.3	1102.6	804.8	91.1	195.9	260.6	757.5	466.8	226.0
2015	180.0	1120.1	825.5	88.7	181.3	249.5	765.4	463.5	212.6
2020	167.9	1136.9	837.4	87.5	169.8	242.4	770.4	461.5	202.2
2025	158.9	1145.8	843.4	86.3	161.2	237.4	772.3	459.3	194.3
2030	153.9	1148.8	845.3	87.2	156.5	233.4	772.3	457.0	189.9

PW = Personenwagen, Bus = Bus des öffentlichen Verkehrs, Car = privater Reisebus, MR = Motorrad, ØPV = Durchschnitt Personenverkehr, Li = Lieferwagen, SNF = schwere Nutzfahrzeuge, ØGV = Durchschnitt Güterverkehr, ØPV und GV = Durchschnitt Gesamtverkehr

Quelle: BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs bis 1980 – 2030, S. 78-79. Für die Bildung der Durchschnitte wurden mit den Fzkm des Jahres 2000 verwendet (Ecoplan et al. 2004, Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 127 bzw. Tabelle 10-1 in Anhang C hinten).

4.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Die in Kapitel 4.2.2 angegebenen Durchschnittswerte basieren auf Erhebungen über das gesamte schweizerische Strassennetz. Bei spezifischen Streckenverhältnissen kann von diesen Durchschnittswerten abgewichen werden und stattdessen sind wie bei der Luftverschmutzung differenzierte Werte aus dem Handbuch Emissionsfaktoren¹¹⁵ zu verwenden.

¹¹³ UBA und BUWAL (2004), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA), und BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030.

¹¹⁴ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 155.

¹¹⁵ UBA und BUWAL (2004), Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA).

Dort finden sich z.B. Werte für Autobahnen, ausserorts und innerorts. Im Verhältnis zu den oben angegebenen Durchschnittswerten betragen diese je nach Fahrzeugkategorie und Jahr etwa 95%, 75% und 115%. Weitere Differenzierungen sind z.B. nach der Steigung möglich.

Da die Emissionsfaktoren nach Ortslage also weniger schwanken als bei den Luftschadstoffen ist hier die Differenzierung weniger von Bedeutung. In den meisten Fällen dürfte eine Unterscheidung deshalb wenig relevant sein, es sei denn, es wird durch ein Projekt z.B. Innerortsverkehr auf ausserorts verlegt. Liegen die Fzkm jedoch schon differenziert vor (aus der Berechnung der Luftschadstoffe), sind die differenzierten Werte natürlich zu verwenden. Die Unterscheidung der Fzkm stellt gemäss unserer Erfahrung grosse Anforderungen an Verkehrsmodelle.

4.3 Wertgerüst

4.3.1 Bewertungsmethode

Zur Bewertung von Klimaschäden liegen unseres Wissens keine Zahlungsbereitschaftsstudien vor. Zudem gibt es nur wenige Studien zu den Schäden als Folge der Klimaerwärmung. Ausserdem ist das Ausmass der Schäden unsicher (Schätzungen schwanken zwischen 8 und 1'000 CHF pro Tonne CO₂¹¹⁶) und kann teilweise (noch) nicht monetarisiert werden.¹¹⁷ Deshalb wird im Rahmen von KNAs zur Bewertung der Klimaschäden meist ein Vermeidungskostenansatz verwendet (so z.B. in Deutschland, der EU und in NISTRA¹¹⁸). Auch wir werden im Folgenden einen Vermeidungskostenansatz vorschlagen, bei der Herleitung des Kostensatzes aber auch methodisch anders hergeleitete Kostensätze betrachten.

Es werden die Grenzkosten der Vermeidung ausgewiesen. Der Vermeidungskostensatz entspricht den Kosten, die entstehen für die Vermeidung der letzten Tonne CO₂.

4.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Die Bestimmung des Wertgerüsts ist insofern schwierig als es in der internationalen Literatur Hunderte von Werten gibt, die sich zum Teil deutlich unterscheiden. Wir haben uns deshalb vor allem auf Studien für die Schweiz bzw. auf bestehende Vorgaben zur KNA konzentriert.

¹¹⁶ Bzw. zwischen 5€ und 600€ (UBA 2005, Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externen Umweltkosten, S. 58).

¹¹⁷ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 156.

¹¹⁸ EWS (1997), Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen EWS, S. 14, Nellthorp et al. (1998), Measurement and Valuation of the Impacts of Transport Initiatives, S. 21, Suter et al. (2001), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 29-30, Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 156, ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, S. 106 und EcoPlan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 159

Die Höhe der Vermeidungskosten hängt davon ab, wie stark der Ausstoss von Treibhausgasen reduziert werden soll. Dazu wird meist ein politisch akzeptiertes Ziel unterstellt, wie z. B. das Kyoto-Ziel. Die zu erstellende Norm gilt für Strassenprojekte mit einem Betrachtungszeitraum von 40 Jahren nach Eröffnung. Die Eröffnung der Projekte dürfte in der Regel zwischen 2010 und 2030 liegen, so dass die Norm Vorgaben bis mindestens 2070 machen muss. Deshalb kann nicht nur das kurzfristige Kyoto-Ziel betrachtet werden, sondern es müssen auch langfristige Ziele miteinbezogen werden. Hier wird meist das Ziel verwendet,¹¹⁹ die CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre bis 2100 auf dem doppelten vorindustriellen Niveau – also auf 550 ppm (parts per million) – zu stabilisieren. Damit sollte die Temperaturzunahme unter 2 Grad Celsius gehalten werden können.

Bei der Bestimmung der Vermeidungskosten ist es zudem wichtig, ob man davon ausgeht, dass die Vermeidung in der Schweiz geschehen muss oder ob man eine weltweite Vermeidung zulässt (z.B. weltweiter Zertifikatehandel oder globale CO₂-Abgaben unterstützt durch flexible Mechanismen wie Joint Implementation (JI) oder Clean Development Mechanism (CDM), die im Kyoto Protokoll definiert wurden). Da die Klimaerwärmung ein globales Problem ist und es keine Rolle spielt, wo auf der Welt die Emission stattfindet, sollte das Problem auch global gelöst werden, d.h. es sollte dort vermieden werden, wo dies am günstigsten möglich ist.

In einer Studie, in der die Klimakosten in der Schweiz für das Jahr 2000 bestimmt wurden, schlug Infrac¹²⁰ einen kurzfristigen Kostensatz von 35 CHF / t CO₂ (bzw. CO₂-Äquivalent) vor, der auf den Kyoto-Zielen beruht, bzw. einen langfristigen Kostensatz von 80 CHF / t CO₂, der auf dem Ziel 550ppm beruht. Für langfristige Investitionen wie Verkehrsinfrastrukturen sollte eher der langfristige Kostensatz verwendet werden.¹²¹

Die Studie von Infrac, die den CO₂-Ausstoss für das Jahr 2000 bewertete, musste sich jedoch nicht mit der Frage auseinandersetzen, wie sich der Kostensatz über die Zeit verhalten wird. Aus mehreren Gründen ist zu erwarten, dass der Kostensatz über die Zeit steigen wird:

- Die Ziele für die CO₂-Reduktion werden über die Zeit immer strenger (auch wenn das Ziel 550ppm sich nicht verändert, muss die Reduktion des CO₂-Ausstosses über die Zeit zunehmen, um das Ziel 550ppm zu erreichen).
- Aufgrund der Diskontierung ist es optimal, nicht sofort massive Vermeidungsmassnahmen vorzusehen, sondern erst in der Zukunft. Um aber trotzdem nie eine höhere CO₂-Konzentration als 550ppm zu erdulden, steigen die Vermeidungskosten für die CO₂-Emissionen später umso mehr an.

¹¹⁹ Siehe z.B. Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen und Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000.

¹²⁰ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 51.

¹²¹ Dies wird auch in Deutschland empfohlen (Umweltbundesamt 2005, Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, S. 59).

- Da die maximale CO₂-Konzentration erst gegen 2100 erwartet wird, haben frühe (z.B. vor 2020) Emissionen den Vorteil, dass ein Teil der Emissionen bis 2100 wieder abgebaut ist.

Das Ausmass der Zunahme ist jedoch schwer abzuschätzen. Zudem beruhen viele Prognosen auf einem Diskontsatz von z.B. 5%, während gemäss Detailnorm eine KNA in der Schweiz mit einem Diskontsatz von 2% durchzuführen ist.¹²² Deshalb können die teilweise in allgemeinen berechenbaren Gleichgewichtsmodellen ermittelten Zunahmen der Kostensätze nicht einfach übertragen werden. In der Folge haben wir mehrere Varianten für die Bestimmung des Kostensatzes (CHF / t CO₂) geprüft (vgl. auch Grafik 4-1):

- In den Energieperspektiven 2035 für die Schweiz¹²³ wurde – ausgehend vom Ziel 550ppm und unter Annahme einer globalen Vermeidungsstrategie¹²⁴ – ein steigender Pfad für den Kostensatz berechnet. Im Bericht werden die Zahlen bis 2035 ausgewiesen, die Berechnungen gingen aber bis 2050. Diese Werte haben wir linear bzw. exponentiell auf die Jahre nach 2050 fortgeschrieben (vgl. Grafik 4-1). Berechnet man daraus einen durchschnittlichen Kostensatz (berechnet als Annuität¹²⁵), so ergeben sich Werte von knapp 40 CHF / t CO₂ (36 bzw. 39 für die lineare bzw. exponentielle Fortschreibung).
- Im Rahmen des EU-Projektes HEATCO wurden Vorgaben für eine KNA auf europäischer Ebene erarbeitet. Die Vorgaben basieren auf einer englischen Studie¹²⁶, in der sowohl Schadenskosten als auch Vermeidungskosten betrachtet werden, wobei die Vermeidungskosten auf dem Ziel einer 60%-Reduktion der Emissionen in England bis 2050 beruhen, was etwa dem Ziel 550 ppm entspricht.¹²⁷ In HEATCO wird ebenfalls ein steigender Kostensatz empfohlen (vgl. Grafik 4-1).¹²⁸ Wiederum werden nur Werte bis 2050 angegeben, so dass wir diese Werte ebenfalls linear bzw. exponentiell fortschreiben mussten. Der HEATCO-Pfad ist insofern unrealistisch als er für jeweils 10 Jahre konstant ist und dann wieder ansteigt. Als Durchschnitt bzw. Annuität ergibt sich ein Kostensatz von gut 70 CHF / t CO₂ (70 bzw. 72).
- In der Schweiz steht die Einführung einer CO₂-Abgabe auf Brennstoffen kurz bevor.¹²⁹ Ab 2010 soll die Abgabe 36 CHF / t CO₂ betragen. Dieser Wert kann als ein Art Zahlungsbe-

¹²² Sensitivität mit 3% (SN 641 821 (2006), Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz).

¹²³ Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, S. 15.

¹²⁴ Müsste die Vermeidung jedoch in der Schweiz erfolgen würden die Werte mehr als 10-mal höher liegen (Ecoplan 2007, Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, S. 54).

¹²⁵ Es wurde ermittelt, wie hoch ein konstanter Wert über die Jahre 2010 bis 2070 sein müsste, damit er denselben Nettobarwert hat wie die steigenden Werte für den Kostensatz (dabei wurde ein Diskontsatz von 2% verwendet, vgl. SN 641 821).

¹²⁶ Watkiss et al. (2005), The Social Cost of Carbon (SCC) Review.

¹²⁷ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 157.

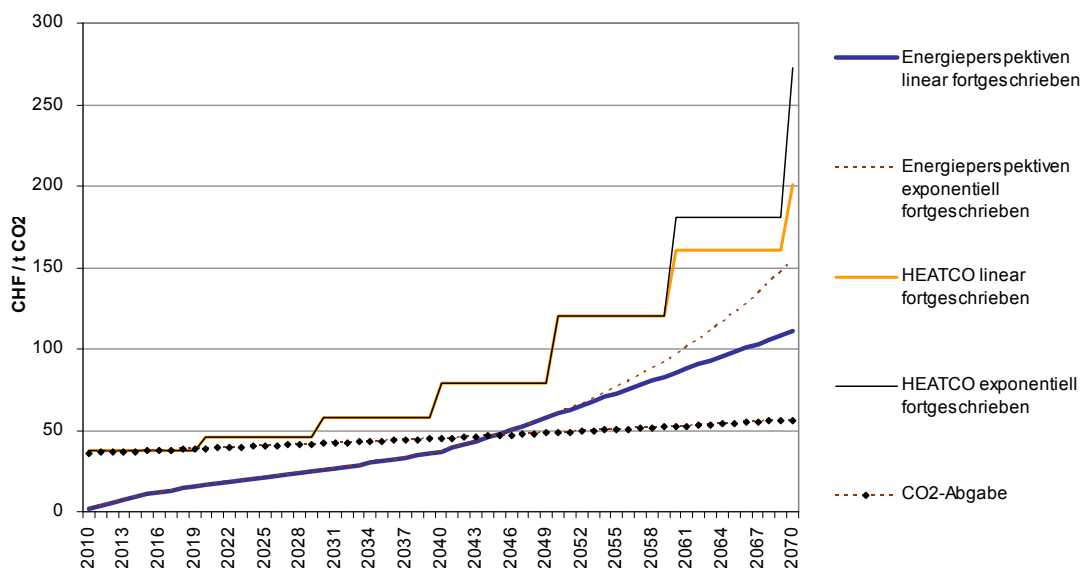
¹²⁸ Bei der Umrechnung von € in CHF wird der nominale Wechselkurs (gemäss HEATCO D5, Annex B) verwendet, d.h. es erfolgt keine Anpassung an die Kaufkraft, da der internationale Emissionshandel in \$ abgewickelt werden dürfte, so dass der „normale“ Wechselkurs verwendet werden muss.

¹²⁹ Bundesversammlung (2007), CO₂-Abgabe.

reitschaft aufgefasst werden. Sie wurde zwar nicht wie üblich mittels einer Umfrage ermittelt, sondern ist das Ergebnis eines politischen Prozesses. Wie bei den übrigen Zahlungsbereitschaften müsste dieser Wert mit dem Reallohnwachstum von z.B. 0.75% (Vorgabewert von eNISTRA) pro Jahr fortgeschrieben werden. Daraus ergibt sich ein Durchschnitt (Annuität) von 43 CHF / t CO₂.

- Als weiteren möglichen Pfad haben wir eine Kombination der CO₂-Abgabe und der Vermeidungskosten gemäss Energieperspektiven untersucht, denn auf die lange Frist scheint ein Kostensatz, der unter den erwarteten Vermeidungskosten liegt, wenig plausibel (in Grafik 4-1 der Übersichtlichkeit halber nicht eingezeichnet, die Werte folgen bis 2044 der Kurve CO₂-Abgabe, ab dann den Kurven Energieperspektiven). Als Durchschnitt ergibt sich etwa 50 CHF / t CO₂ (50 bzw. 53 CHF).

Grafik 4-1: Verlauf verschiedener Kostensätze für CO₂ über die Zeit



Wie die Grafik zeigt, ist das Ausmass der Steigung je nach Quelle unterschiedlich: Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate zwischen 2010 und 2070 beträgt zwischen 2.8%¹³⁰ (HEATCO linear fortgeschrieben) und 7.5% (Energieperspektiven exponentiell fortgeschrieben). Der Durchschnitt bzw. die Annuität schwankt jedoch weniger als die Wachstumsrate.

Deshalb schlagen wir für die Bewertung von Strassenprojekten einen Kostensatz von **50 CHF / t CO₂** vor. Dieser Kostensatz entspricht dem gerundeten Durchschnitt der Annuitäten der vorgestellten Studien. Er verändert sich nicht über die Zeit und wird als Durchschnitt

¹³⁰ Natürlich ist bei der CO₂-Abgabe die vorgegebene Wachstumsrate von 0.75% noch kleiner.

eines steigenden Kostensatzes verstanden. Der Wert versteht sich wie immer als Wert für das Jahr 2000 zu Faktorpreisen.

Ein weiterer Anhaltspunkt, dass der Kostensatz von 50 CHF / t CO₂ in der richtigen Grössenordnung liegt, sind die Kosten der CO₂-Abscheidung und -Lagerung. Diese liegen gemäss Prognos in einer Grössenordnung von 25 – 30 € / t CO₂, was etwa 41 bis 50 CHF / t CO₂ entspricht.¹³¹

Schliesslich soll auch noch kurz auf die Methodenkonvention des UBA¹³² eingegangen werden: Dort beruhen die (nur am Rande erwähnten) Vermeidungskosten auf strengeren Zielvorgaben von 450 ppm oder gar 400ppm¹³³ (unsere Empfehlung basiert auf einem Zielwert von 550ppm).¹³⁴ Die Methodenkonvention empfiehlt einen Wert von 70€ / t CO₂ (ca. 110 CHF). Dieser Wert beruht auf den Kosten der *Schäden* in den nächsten 100 Jahren und schwankt zwischen 14€ und 280€ / t CO₂ (ca. 22 bis 450 CHF / t CO₂). Den Berechnungen lag dabei ein Diskontsatz von 1% zugrunde. Würde gemäss SN 641 821 ein Diskontsatz von 2% verwendet, würde der Kostensatz kleiner sein, da die meisten Schäden erst in der Zukunft eintreten. Um wie viel sich der Kostensatz reduzieren würde, geht jedoch nicht aus der Studie hervor. Überschlagsrechnungen zeigen jedoch, dass sich dadurch der Kostensatz mehr als halbieren kann, insbesondere dann wenn der Grossteil der Schäden erst gegen das Ende des 100-jährigen Betrachtungszeitraums anfällt (was häufig unterstellt wird). Damit könnte der Kostensatz in einer ähnlichen Grössenordnung liegen wie der hier empfohlene Satz von 50 CHF / t CO₂.¹³⁵

Bei den relativ grossen Unsicherheiten in der Bestimmung des Kostensatzes bietet sich prinzipiell eine Sensitivitätsanalyse als Lösung an. Die Grundnorm SN 641 820 (Ziffer 64) schreibt jedoch keine Sensitivitätsanalyse für CO₂ vor, schliesst eine solche aber auch nicht aus. Falls für ein spezifisches Projekt die Klimakosten einen wesentlichen Einfluss auf das Endresultat haben, empfehlen wir, eine Sensitivitätsanalyse durchzuführen z.B. mit dem halbem und dem etwa doppeltem Kostensatz (25 und 110 CHF / t CO₂¹³⁶).

¹³¹ Prognos (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 4. Exkurs CO₂-Emissionshandel, Joint Implementation (JI) und Clean Development Mechanism (CDM). Die Umrechnung erfolgt mit dem aktuellen Wechselkurs von 1.65 CHF = 1 €.

¹³² UBA (2007), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externen Umweltkosten, S. 67-70.

¹³³ Krewitt und Schломann (2006), Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, S. 19-21.

¹³⁴ Entsprechend sind die Werte pro t CO₂ in der Methodenkonvention höher. Sie steigen von 20€ im Jahr 2012 über 50€ im Jahr 2030 auf 100 – 200€ im Jahr 2050.

¹³⁵ In Krewitt und Schломann (2006, Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern, S. 18) wird gar gezeigt, dass bei einem Diskontsatz von 3% die Klimaschäden negativ sind, was unplausibel erscheint und nicht erläutert wird.

¹³⁶ Internationale Studien führen teilweise zu geringeren Werten als oben dargestellt. Wird bei der Bildung der Annuität ein anderer Zeitraum (2010 – 2100 oder 2030 bis 2070 gewählt, ergeben sich auch Werte, die bis über 110 CHF / t CO₂ reichen. In HEATCO wird der Kostensatz im Rahmen der Sensitivitätsanalyse ebenfalls in etwa halbiert und verdoppelt (Bickel et al. 2006, HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 157). Der obere

Der Vollständigkeit halber werden in der folgenden Tabelle noch die resultierenden Kostensätze pro Fzkm ausgewiesen, die sich aus der Multiplikation von Mengen- und Wertgerüst ergeben (d.h. Multiplikation der Tabelle 4-1 mit dem Kostensatz von 50 CHF / t CO₂).

Tabelle 4-2: Kosten in CHF / Fzkm

	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.0111	0.0570	0.0416	0.0049	0.0111	0.0145	0.0370	0.0238	0.0125
2005	0.0105	0.0553	0.0400	0.0048	0.0105	0.0137	0.0378	0.0237	0.0119
2010	0.0098	0.0551	0.0402	0.0046	0.0098	0.0130	0.0379	0.0233	0.0113
2015	0.0090	0.0560	0.0413	0.0044	0.0091	0.0125	0.0383	0.0232	0.0106
2020	0.0084	0.0568	0.0419	0.0044	0.0085	0.0121	0.0385	0.0231	0.0101
2025	0.0079	0.0573	0.0422	0.0043	0.0081	0.0119	0.0386	0.0230	0.0097
ab 2030	0.0077	0.0574	0.0423	0.0044	0.0078	0.0117	0.0386	0.0228	0.0095

4.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Im Gegensatz zur Luftverschmutzung spielt der Ort der Emission bei Treibhausgasen keine Rolle, da es sich bei der Klimaerwärmung um ein globales Phänomen handelt. Deshalb darf keine örtliche Anpassung des Kostensatzes erfolgen.

4.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, sind die Werte mit der **Inflation** (Konsumentenpreisindex) auf den Preisstand der KNA anzupassen. Denn es ist davon auszugehen, dass sich die Vermeidungskosten in etwa wie das allgemeine Preisniveau verhalten.

4.4 Veränderung über die Zeit

Für das Mengengerüst sind in Tabelle 4-1 die Emissionsfaktoren zwischen 2000 und 2030 aufgeführt. Diese werden in der folgenden Grafik nochmals veranschaulicht. Es zeigt sich, dass die Emissionen pro Fzkm bei Autos, Lieferwagen und Motorrädern über die Zeit abnehmen, während die Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen leicht zunehmen und die Emissionen von Bussen und Cars bis 2010 etwas abnehmen, aber dann wieder zunehmen.

Für die Zeit nach 2030 müssen Annahmen getroffen werden, da hierzu keine Prognosen bestehen. Wie Grafik 4-2 und Tabelle 4-1 zeigen, nehmen die Veränderungen über die Zeit ab. Zudem sind die prognostizierten Veränderungen zwischen 2025 und 2030 nur noch gering (je nach Fahrzeugkategorie maximal –3% oder +1% in 5 Jahren). Deshalb treffen wir vereinfachend die Annahme, dass die Werte für 2030 auch nach 2030 noch gelten, bzw. dass es nach 2030 keine Veränderungen in den Emissionsfaktoren mehr gibt. Diese Annah-

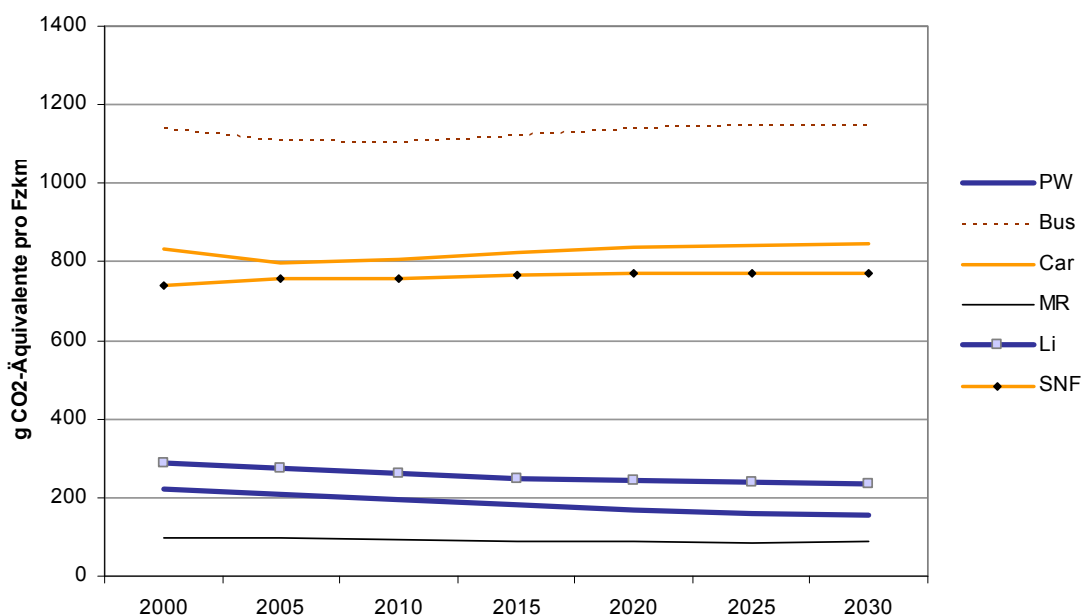
Wert entspricht der Empfehlung der UBA (2007, Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externen Umweltkosten, S. 69).

me wurde mit den Autoren der SN 641 827 „Betriebskosten von Strassenfahrzeugen“ abgestimmt, da der Treibstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen sich immer parallel verändern.

Im Jahr 2009 soll das Handbuch Emissionsfaktoren in überarbeiteter Form publiziert werden. Ab diesem Zeitpunkt sind die dort hergeleiteten neuen Daten zu verwenden (und nicht mehr die Tabelle 4-1).

Beim Wertgerüst wurde bereits in Kapitel 4.3.2 erläutert, dass wir den Kostensatz von 50 CHF / t CO₂ als konstanten Wert verstehen, der einen Durchschnitt eines steigenden Wertes abbildet. Wir gehen also davon aus, dass der Wert real konstant bleibt.¹³⁷

Grafik 4-2: Entwicklung der Emissionsfaktoren nach Fahrzeugkategorien über die Zeit



4.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Die dargestellte Methode ist bereits sehr einfach, da im Wesentlichen nur die Fahrzeugkilometer im Personen- und Güterverkehr benötigt werden (notfalls auch nur die gesamten Fzkm). Eine weitere Vereinfachung ist nicht nötig.

¹³⁷ Auch in HEATCO wird keine zusätzliche Veränderung über die Zeit angenommen, da davon ausgegangen wird, dass das politische Ziel, den Temperaturanstieg auf 2 Grad Celsius zu beschränken, sich über die Zeit nicht verändert. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen aber die Anforderungen an die Reduktion des CO₂-Ausstosses über die Zeit strenger werden, womit auch der Kostensatz wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben steigt.

4.6 Vergleich mit NISTRA

Das heutige NISTRA¹³⁸ geht von demselben Mengengerüst aus wie es hier vorgeschlagen wird. In NISTRA wird ein Kostensatz von 80 CHF / t CO₂ verwendet, der aus der oben erwähnten Infrac-Studie übernommen wurde.¹³⁹ Die in Kapitel 4.3.2 erwähnten neueren Studien haben jedoch zur Anpassung des Kostensatzes auf 50 CHF / t CO₂ geführt.

¹³⁸ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 158-160.

¹³⁹ Infrac (2006), Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 51.

5 Externe Kosten des Energieverbrauchs durch den Betrieb der Infrastruktur

5.1 Einleitung

Der Energieverbrauch durch den Betrieb der Infrastruktur kann ebenfalls zu einer Belastung der Umwelt führen. Dabei geht es um den Energieverbrauch durch Strassen- und Tunnelbeleuchtung, Belüftung von Tunnels, Pumpen zur Wasserhaltung etc., also um den **gesamten nicht fahrzeugbedingten Energieverbrauch**. Der Energieverbrauch durch den Betrieb der Fahrzeuge wird bei den Indikatoren Luftverschmutzung und Klimakosten (vgl. vorangehende Kapitel) berücksichtigt und beim hier vorliegenden Indikator vernachlässigt, da es sonst zu einer Doppelzählung kommen würde. Beim nicht-fahrzeugbedingten Energieverbrauch handelt es sich um **Stromverbrauch**. Deshalb entsteht die Umweltbelastung nicht beim eigentlichen Energieverbrauch, sondern bei der Stromproduktion. Dort kommt es zur Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen.

Bei diesem externen Effekt handelt es sich meist um eine relativ unbedeutende Auswirkung: In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte er durchschnittlich lediglich 0.2% der monetarisierten Indikatoren aus und lag in keinem der 17 Projekte über 1.4%, obwohl sich darunter einige Tunnelprojekte befanden.¹⁴⁰

Die Bewertung dieser Belastung kann deshalb relativ einfach geschehen, indem zuerst das Mengengerüst, nämlich der durch das Projekt ausgelöste Energieverbrauch (in MWh), ermittelt wird. Das Mengengerüst kann dann mit einem Kostensatz pro MWh monetarisiert werden, der alle externen Kosten der Stromproduktion abdeckt.

5.2 Mengengerüst

5.2.1 Benötigte Inputdaten

Als Mengengerüst wird der **durchschnittliche jährliche Energieverbrauch** (in Megawattstunden MWh) **im Referenz- und Projektfall** benötigt. Die Differenz entspricht dem projektbedingten Mehr- oder Minderverbrauch an Energie.

Die Ermittlung des Energieverbrauchs für den Betrieb der Infrastruktur stösst allerdings auf einige Schwierigkeiten. So sind insbesondere Zahlen zum Energieverbrauch von Tunnels und Strassen kaum verfügbar, da sie meist nicht publiziert werden. Bei einer Suche auf dem Internet konnte nur gerade eine Studie mit konkreten Zahlenangaben gefunden werden. In dieser allerdings relativ alten Untersuchung von 1994 wurde der Energieverbrauch der damals bestehenden Tunnels wie folgt ausgewiesen:¹⁴¹

¹⁴⁰ Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

¹⁴¹ BfK (1994), Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel, S. 15 und 19. Die Durchschnittswerte werden in der Studie nicht angegeben und müssen deshalb aus einer Grafik grob geschätzt werden.

- Tunnel mit Richtungsverkehr (Summe beider Tunnelröhren): 400 – 1'200 (Durchschnitt etwa 800) MWh pro km und Jahr
- Tunnels mit Gegenverkehr: 50 – 1'800 (Durchschnitt etwa 400) MWh pro km und Jahr

Im Bericht wird aber auch von einem gewissen Sparpotential gesprochen. Die Zahlen zeigen vor allem, dass teilweise grosse Unterschiede bestehen.

Um an weitere Daten zu kommen, haben wir die Berichte zu den 17 NISTRA-Pilotanwendungen analysiert.¹⁴² Die Durchsicht ergab, dass bei diesem NISTRA-Indikator zum Teil sehr detaillierte Berechnungen durchgeführt wurden, zum Teil aber auch mit sehr groben Annahmen gerechnet wurde:

- Für die Beleuchtung des Tunnel wird z. B. angenommen, dass alle 10m eine 150W-Lampe eingesetzt wird, was pro Lampe einen Energieverbrauch von 1.314 MWh pro Jahr oder pro Kilometer Tunnel 131 MWh ergibt.¹⁴³
- Für die Belüftung wird die Berechnung teilweise auf die Richtlinie „Lüftung der Strassentunnel“¹⁴⁴ abgestützt. Dort werden allerdings nicht direkt Angaben zum Energieverbrauch ausgewiesen, sondern nur Angaben zur Dimensionierung der Belüftung, die dann von Fachleuten in den entsprechenden Energieverbrauch umgerechnet werden kann.
- Teilweise wurden auch nur Erfahrungswerte des Tiefbauamtes verwendet oder der Energieverbrauch eines anderen Tunnels, der mit der Tunnellänge angepasst wurde.
- Für offene Strecken wird teilweise ein Energieverbrauch von 10 MWh / km und Jahr verwendet.¹⁴⁵

Die obigen Ausführungen – insbesondere diejenigen zur Studie aus dem Jahr 1994 – zeigen, dass der Energieverbrauch je nach Tunnel deutlich variieren kann. Deshalb **muss das Mengengerüst projektspezifisch erhoben** werden. Möglicherweise verfügt der Bauherr bzw. der Strassenbetreiber über entsprechende Daten. Der Energieverbrauch kann detailliert berechnet werden (Beleuchtung und Belüftung etc. einzeln). Vor allem bei kleineren Projekten oder bei Grobevaluationen kann der Energieverbrauch auch von einem anderen Tunnel übernommen werden, wobei mit der Tunnellänge angepasst werden sollte. Dabei ist darauf zu achten, dass der verwendete Vergleichstunnel mit dem neu projektierten Tunnel vergleichbar ist, da wie gesehen grosse Unterschiede bestehen können.

Wie schon der Name dieses Indikators sagt, beschränkt sich dieser Indikator auf die Betriebsphase, so dass die **Bauphase** nicht einzubeziehen ist.¹⁴⁶

¹⁴² Berichte der einzelnen Projekte, die in Ecoplan (2005, Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen) zusammengefasst sind.

¹⁴³ $1.314 \text{ MWh} = 150 \text{ W} * 24 \text{ Stunden} * 365 \text{ Tage} / 1'000'000$

¹⁴⁴ ASTRA (2004), Richtlinie Lüftung der Strassentunnel.

¹⁴⁵ Dieser Wert stammt aus Emch + Berger AG (2000), Kreativphase Axen.

¹⁴⁶ Die Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen während dem Bau wird zudem bereits bei den entsprechenden Indikatoren berücksichtigt.

5.2.2 Berechnung des Mengengerüsts

Die erhobenen Inputdaten entsprechen direkt dem Mengengerüst. Es ist keine Umrechnung nötig.

5.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Da die Daten schon projektspezifisch erhoben werden, ist keine weitere Anpassung an lokale Gegebenheiten notwendig.

5.3 Wertgerüst

5.3.1 Bewertungsmethode

Bei der Energieproduktion kommt es zur Emission von Luftschadstoffen und Treibhausgasen, deren externe Kosten es hier zu ermitteln gilt. Als Grundlage für deren Berechnung werden dieselben Studien verwendet wie in den Kapiteln 3 und 4 zur Luftverschmutzung und zum Klima. Deshalb gelten die dortigen Ausführungen auch hier:

- Luftverschmutzung: Bei den gesamten Kosten der Luftverschmutzung (Gesundheitskosten, Gebäude- und Vegetationsschäden) können Marktpreise für die Bewertung eingesetzt werden, ausser für die immateriellen Kosten der Gesundheitsschäden, für die eine Zahlungsbereitschaft verwendet wird. Bei den Kosten der Luftverschmutzung sind Grenz- und Durchschnittskosten identisch (vgl. Kapitel 3.3.1).
- Klima: Es handelt sich um einen Vermeidungskostenansatz. Dabei kommen Grenzkosten zur Anwendung (vgl. Kapitel 4.3.1).

5.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Das im Folgenden hergeleitete Wertgerüst bezieht sich wie in den ARE-Studien immer auf Faktorpreise des Jahres 2000.

In den bisherigen Bewertungssystemen in der Schweiz wurde ein Kostensatz verwendet, der auf alten Daten aus einer Studie aus dem Jahr 1996 zurückgeht (vgl. Kapitel 5.6). Die dort verwendeten Kostensätze und Methoden sind in der Zwischenzeit teilweise überholt, so dass ein neuer Kostensatz zu verwenden ist, der auf den aktuellen Studien beruht.

In Ecoplan (2007)¹⁴⁷ wurde deshalb ein neuer Kostensatz für die externen Kosten der Energie hergeleitet. Dabei wurden die Gesundheitsschäden und Gebäudeschäden der Luftverschmutzung miteinbezogen. Die hergeleiteten Werte beruhen auf denselben Studien wie die Werte in Kapitel 3. Nicht einbezogen wurden jedoch Klimaschäden und luftverschmutzungs-

¹⁴⁷ Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Anhang B, Kapitel 9.4.

bedingte Schäden an der Vegetation. Das Klima war ein Hauptfokus der Ecoplan (2007)-Studie und wurde deshalb im Rahmen eines Gleichgewichtsmodells separat berücksichtigt. Die Ergebnisse zu den Vegetationsschäden waren bei der Erarbeitung der Studie noch nicht publiziert. Deshalb werden im Folgenden ausgehend von den Ergebnissen aus der Ecoplan (2007)-Studie die externen Kosten der Energie berechnet werden, wobei es die Kosten für Klima und Vegetation miteinzubeziehen gilt.

Eine erste zentrale Frage ist, von welcher Stromerzeugung ausgegangen wird, denn die externen Kosten eines Gaskraftwerks, eines Kernkraftwerk oder erneuerbarer Energieerzeugung sind unterschiedlich. Unsere Überlegungen basieren darauf, dass in der Schweiz bis etwa 2030 / 2040 weiter mit einem steigenden Stromverbrauch zu rechnen ist.¹⁴⁸ Wird also ein neuer Tunnel gebaut, der zusätzlichen Strom benötigt, so muss als Stromversorgung von den in den nächsten Jahren neu gebauten Stromproduktionsanlagen ausgegangen werden. Wie diese Stromversorgung allerdings aussehen wird, ist unklar und wird derzeit politisch diskutiert. In Frage kommen folgende Produktionsarten:

- Erdgas (Gas- und Dampfturbinenkraftwerke, GuD)
- Kernkraftwerke
- Erneuerbare Energien wie
 - Wind und
 - Geothermie
- Kohlekraftwerke (wohl kaum in der Schweiz selbst, aber bei Stromimport aus dem Ausland durchaus möglich)

Im Folgenden berechnen wir deshalb die externen Kosten dieser fünf Arten der Stromproduktion. Die Berechnungen basieren auf Ecoplan (2007)¹⁴⁹, werden aber wie erwähnt um die Vegetationsschäden und die Klimaschäden ergänzt. Dazu werden die Emissionen verschiedener Luftschadstoffe und Klimagase mit den entsprechenden Kostensätzen monetarisiert. Die Ergebnisse werden in Tabelle 5-1 präsentiert. Da keine Emissionsfaktoren zu VOC und NH₃ vorliegen, werden VOC und NH₃ nicht berücksichtigt.

Oben in Tabelle 5-1 sind zuerst die **Kostensätze pro Tonne Schadstoff** angegeben:

- Die Kostensätze für die Luftschadstoffe (PM₁₀, SO₂ und NO_x) wurden aus Ecoplan (2007)¹⁵⁰ übernommen.¹⁵¹ Wie erwähnt sind die Vegetationsschäden nicht in den Zahlen

¹⁴⁸ BFE (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 1. Synthese

¹⁴⁹ Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Anhang B, Kapitel 9.4.

¹⁵⁰ Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Anhang B, Kapitel 9.4.

¹⁵¹ Die Kostensätze stimmen nicht mit den Kostensätzen in Kapitel 3 überein, denn in Kapitel 3 wurde ein Kostensatz für den Strassenverkehr hergeleitet, während hier ein Kostensatz für die gesamten Schadstoffemissionen in der Schweiz verwendet wird. Je nach genauem Ort der Emission ist der Kostensatz unterschiedlich.

von Ecoplan (2007) enthalten. Um die Vegetationsschäden zu berücksichtigen, haben wir den Kostensatz für NO_x um 3'000 auf 36'000 CHF / t erhöht.¹⁵²

- Für die Klimakosten wurden folgende Grundlagen verwendet: Der Kostensatz von 50 CHF pro Tonne CO₂ basiert auf Kapitel 4.3. Die Kostensätze für die beiden Treibhausgase CH₄ und N₂O werden aus dem Kostensatz für CO₂ und dem Global Warming Potential (GWP) von 23 und 296¹⁵³ berechnet.

Tabelle 5-1: Externe Kosten der Stromerzeugung (Kernkraft ohne Risikokosten)

Externe Kosten der Stromerzeugung							
	Luftverschmutzung			Klima			
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
CHF / Tonne	127'000	34'000	36'000	50	1'150	14'800	
Erdgas, GuD	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissionen in mg / kWh	10	80	279	370'000	379	2	
Externe Kosten in CHF / MWh	1.27	2.72	10.04	18.50	0.44	0.030	33.00
Kernkraft (ohne Risikokosten)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissionen in mg / kWh	14	73	48	17'000	n.v.	n.v.	
Externe Kosten in CHF / MWh	1.78	2.48	1.73	0.85	n.v.	n.v.	6.84
Windkraft (270 kW, 5.5 m/s)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissionen in mg / kWh	36	118	84	44'000	204	4	
Externe Kosten in CHF / MWh	4.57	4.01	3.02	2.20	0.23	0.06	14.10
Geothermie (Hot Dry Rock)	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissionen in mg / kWh	18*	62	189	37'800	103	4	
Externe Kosten in CHF / MWh	2.25	2.09	6.80	1.89	0.12	0.05	13.20
*) nur Angaben zu den gesamten Partikelemissionen, Annahme PM10-Anteil beträgt 50%.							
Steinkohle	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Emissionen in mg / kWh	107	1'387	1'291	879'000	4'677	46	
Externe Kosten in CHF / MWh	13.59	47.16	46.48	43.95	5.38	0.68	157.23

n.v. = nicht verfügbar. Quellen: Kosten pro Tonne:

- Luftverschmutzung: Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Anhang B, Kapitel 9.4 und eigene Berechnung (vgl. Text).
 - Klima: Kapitel 4, vorliegender Bericht.
- Emission:
- Geothermie: Nitsch et al. (2004), Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, S. 113.
 - Rest: Marheineke (2002), Lebenszyklusanalyse fossiler, nuklearer und regenerativer Stromerzeugungstechniken, S. 169 – 175.

¹⁵² Bei der Berücksichtigung der Vegetationsschäden werden nur Ernteauffälle und Waldschäden miteinbezogen. Die Beeinträchtigung der Bodenqualität durch Schwermetalle und PAK ist hier nicht relevant, da diese im Verkehr durch den Abrieb von Bremsbelägen und Reifen entsteht (vgl. Kapitel 3.2.3, Fussnote 84), was bei der Energieproduktion nicht von Bedeutung ist. Gemäss Tabelle 3-7 werden Ernteauffälle und Waldschäden zu 100% durch NO_x verursacht. Deshalb wurden die gesamten Ernteauffälle und Waldschäden von 134 bzw. 196 Mio. CHF (Infras 2006, Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse, S. 67 und 81-82) durch die gesamten NO_x-Emissionen der Schweiz geteilt (106'323 t, siehe Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, S. 133). Daraus ergibt sich gerundet ein Kostensatz von 3000 CHF / t NO_x.

¹⁵³ Bickel et al. (2006), HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines, S. 155.

Im restlichen Teil der Tabelle 5-1 werden die **externen Kosten für die fünf Stromproduktionsarten** berechnet. Die Emissionen werden dabei aus zwei Quellen übernommen (siehe Legende der Tabelle) und dann mittels der Kostensätze pro Tonne Schadstoff in Kostensätze pro MWh umgerechnet. Wie sich zeigt schwanken die Kosten zwischen 7 und 157 CHF / MWh. Innerhalb dieser Bandbreite ist ein Kostensatz für die weiteren Berechnungen festzulegen, dabei sind folgende Überlegungen von Bedeutung:

- Der Kostensatz für die Kernkraftwerke ist für eine Verwendung nicht geeignet, weil darin die Risikokosten für einen nuklearen Unfall nicht enthalten sind. Eine der wichtigsten Annahmen bei der Schätzung dieser Risikokosten ist, ob von Risikoneutralität oder Risikoaversion ausgegangen wird bzw. wie gross die Risikoaversion ist. Je nach Schätzung betragen die Risikokosten eines Kernkraftwerks zwischen 0 und 3000 CHF / MWh.¹⁵⁴ Aufgrund dieser grossen Unsicherheit wird bisher meist auf Zahlenangaben zu den gesamten externen Kosten eines Kernkraftwerks verzichtet.
- Wir halten es für unrealistisch, dass der zusätzliche Strombedarf nur mit erneuerbare Energien mit externen Kosten um 14 CHF / MWh gedeckt wird oder nur mit Steinkohle mit externen Kosten von 157 CHF / MWh.
- Das Erdgaskraftwerk (GuD) mit externen Kosten von 33 CHF / MWh liegt etwa in der Mitte. Deshalb schlagen wir vor, einen Kostensatz von **30 CHF / MWh** zu verwenden. Dieser Kostensatz kann auch als Mix verschiedener Kraftwerktypen verstanden werden.

5.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Da die Klimaproblematik ein globales Phänomen ist, darf wie in Kapitel 4.3.3 keine örtliche Anpassung des Kostensatzes erfolgen. Bei der Luftverschmutzung muss ebenfalls auf eine örtliche Differenzierung verzichtet werden, weil unklar ist, wo das Strom liefernde Kraftwerk steht.

5.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, gelten im Prinzip die Methoden aus den Kapiteln 3.3.4 und 4.3.4: Beim Klima erfolgt die Anpassung über die Inflation (Konsumentenpreisindex). Bei der Luftverschmutzung erfolgt die Anpassung bei den Gesundheitsschäden über das Nominallohnwachstum, bei den Gebäudeschäden über den Hochbaupreisindex und bei den Vegetationsschäden über die Inflation (Konsumentenpreisindex). Da etwa die Hälfte des Kostensatzes von 33 CHF / kWh über Klimaschäden bestimmt wird und da bei Gesundheitsschäden der Grossteil der Kosten Gesundheitskosten sind, schlagen wir eine Anpassung mit **je hälftig dem Nominallohnwachstum und der Inflation** (Konsumentenpreisindex) vor.

¹⁵⁴ Luftverschmutzung: Ecoplan (2007), Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen, Anhang B, Kapitel 9.4, Tabelle 9-18.

5.4 Veränderung über die Zeit

Wir nehmen an, dass die Bewertung über die Zeit (real) **konstant** bleibt. Diese Schlussfolgerung ziehen wir aus der Vermutung, dass sich verschiedene gegenläufige Bewegungen in etwas aufheben dürften:

- Der Energiebedarf von Tunnels und Strassen könnte über die Zeit zunehmen, da immer mehr Aufgaben durch die Elektronik übernommen werden. Auf der anderen Seite ist es möglich, dass neuere Technologien weniger Strom benötigen.
- Des Weiteren ist davon auszugehen, dass die Emissionen pro MWh über die Zeit abnehmen werden. Dies gilt zwar nicht unbedingt für eine bestehende Produktionsanlage, aber wenn neue Produktionsanlagen gebaut werden, dürften die Emissionen tiefer sein als bei älteren Produktionsanlagen.¹⁵⁵ Genauere Prognosen dazu liegen jedoch nicht vor.
- Auf der anderen Seite nehmen die Gesundheitsschäden mit dem Bevölkerungswachstum und dem Reallohnwachstum zu, während die Gebäudeschäden mit der Zunahme der Energiebezugsflächen zunehmen und die Vegetationsschäden konstant bleiben (vgl. Kapitel 3.4). Beim Klima gehen wir davon aus, dass der über die Zeit konstante Kostensatz einen Durchschnitt eines steigenden Pfades abbildet (vgl. Kapitel 4.4).

Während also die Veränderung des Energiekonsums von Tunnels / Strassen unklar ist und die Emissionen pro MWh über die Zeit abnehmen dürften, nehmen die Kostensätze pro Tonne aufgrund des Reallohnwachstums und des Wachstums der Bevölkerung und der Gebäude zu. Wir gehen davon aus, dass sich diese Effekte gegenseitig in etwa aufheben.

5.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Die verwendete Methode ist schon sehr einfach, so dass eine weitere Vereinfachung nicht sinnvoll ist. Bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen kann jedoch die Bestimmung des Mengengerüsts basierend auf groben Abschätzungen erfolgen.

5.6 Vergleich mit NISTRA

Das heutige NISTRA¹⁵⁶ verwendet dieselbe Methodik. In der vorliegenden Studie haben wir ergänzend gezeigt, wie das Mengengerüst erhoben werden kann.

Beim Wertgerüst wurde in NISTRA ein Kostensatz von 50 CHF / MWh verwendet. Dieser Kostensatz stammt aber aus einer Studie aus dem Jahr 1996 und gilt für das Jahr 1993.¹⁵⁷

¹⁵⁵ Deshalb werden in Tabelle 5-1 soweit als möglich die Emissionen von neuen Produktionsanlagen verwendet.

¹⁵⁶ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 113.

¹⁵⁷ Der Kostensatz wurde aus dem alten NISTRA übernommen (ASTRA 2003, NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, S. 106). Dort wird auf eine Empfehlung des BEW aus dem Jahr 1997 verwiesen (BEW 1997, Empfehlung für energetische Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit Einbezug der externen Kosten, S.

Dieser Kostensatz wurde auch für die Bewertung von Bahnprojekten¹⁵⁸ und für Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Investitionen im Hochbau¹⁵⁹ übernommen. Wie oben beschrieben haben wir diesen alten Kostensatz an die neueren Studienergebnisse angepasst, wodurch der Kostensatz von 50 auf 30 CHF / MWh sinkt.

Bisher wurde davon ausgegangen, dass sich der Kostensatz, der mehrheitlich auf Gesundheitskosten beruht, mit dem Reallohnwachstum zunimmt. Die neuen Ergebnisse zeigen nun aber, dass bis zu 57% (für GuD) der Kosten auf Klimakosten zurückzuführen sind, die konstant sind. Zudem ist von sinkenden Emissionen auszugehen. Wir verzichten daher auf eine Veränderung über die Zeit.

4). Diese Empfehlung wurde aus Infras et al. (1996, Die Vergessenen Milliarden. Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich, Kapitel 10.2) übernommen.

¹⁵⁸ Ecoplan (2005), Bewertungsmethode für die Priorisierung von Projekten im Schienenverkehr. Einbezug Güterverkehr und Vereinfachung, S. 113 und BAV (2006), NIBA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte, S. A2-9.

¹⁵⁹ SN 506 480 (2004), Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Investitionen im Hochbau, S. 28.

6 Bodenversiegelung

6.1 Einleitung

Der Verkehr nimmt rund einen Drittel der Schweizer Siedlungsfläche in Anspruch; 85% davon entfallen auf den Strassenverkehr.¹⁶⁰ Die Böden spielen als Nährstoff- und Wasserspeicher, als Puffer und Lebensraum eine zentrale Rolle im Naturhaushalt. Verkehrsflächen verhindern zudem andere Nutzungen. Eine der Nachhaltigkeit verpflichtete Planung der Strasseninfrastruktur sollte daher einen möglichst geringen Flächenbedarf anstreben. Dadurch wird sichergestellt, dass die Bodenversiegelung (oder der Flächenverbrauch) so gering wie möglich ausfällt.

Bei der Bodenversiegelung handelt es sich meist um eine finanziell unbedeutende Auswirkung: In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte sie durchschnittlich lediglich 0.01% der monetarisierten Indikatoren aus und lag in allen 17 Projekte unter 0.05%.¹⁶¹ Diese Prozentzahlen dürften aufgrund neuer Forschungsergebnisse zwar leicht steigen, höchstens auf 0.14% (Durchschnitt) bzw. 0.54% (Maximum).¹⁶² Sie verbleiben aber nach wie vor sehr gering.

Aufgrund der geringen Bedeutung überrascht es nicht, dass im Ausland die Bodenversiegelung unseres Wissens in den nationalen Methoden nie in die KNA miteinbezogen wird.¹⁶³ Im Unterschied dazu wird sie in aktuellen internationalen Studien teilweise berücksichtigt, so z.B. in UNITE.¹⁶⁴ Dabei wurden die Kosten der Bodenversiegelung meist mittels eines Reparaturkostenansatzes ermittelt (Kosten für Entsiegelung, Sanierung und Bodensäuberung).¹⁶⁵ Im Prinzip haben jedoch die Reparaturkosten keinen Zusammenhang mit dem Schaden, der durch die Versiegelung verursacht wird, denn sie können viel grösser oder kleiner als der Schaden sein. Zudem basieren sie auf der Überlegung, dass die Strasse hier (oder andernorts) aufgehoben wird. Dies ist jedoch meist nicht der Fall.

Eine aktuelle Schweizer Studie im Auftrag des ARE¹⁶⁶ erlaubt den Einbezug des Flächenverbrauchs auf der Basis eines Ersatzkostenansatzes: Es werden die Kosten für den Ersatz

¹⁶⁰ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 107.

¹⁶¹ Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

¹⁶² Im alten NISTRA wurde ein Kostensatz von 1'200 CHF / ha verwendet (ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, S. 106), während heute aufgrund neuer Forschungsergebnisse ein Kostensatz von 2'800 CHF / ha zur Anwendung kommt (vgl. Kapitel 6.3.2). Zudem wird heute die versiegelte Fläche etwas grosszügiger definiert (vgl. Tabelle 6-1, der maximaler Faktor ist 5).

¹⁶³ In 16 von 24 Ländern der EU wird aber die Bodenversiegelung immerhin ausserhalb der KNA bei der Bewertung der Projekte berücksichtigt (COWI und ITS (2005), HEATCO D1: Current practice in project appraisal in Europe, S.64).

¹⁶⁴ Suter et al. (2001), The Pilote Accounts of Switzerland, S. 69-76.

¹⁶⁵ Bickel et al. (2000), Accounts Approach for Environmental Costs, S. 32-33, INFRAS/IWW (2000), External Costs of Transport, S. 220-221 und Link et al. (2001), Pilote Accounts – Results for Germany, S. 89-92.

¹⁶⁶ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

der überbauten Flächen an anderer Stelle ermittelt. Dies stellt im Gegensatz zur Grundannahme der Reparaturkosten-Methode – Aufhebung der Strasse – eine plausiblere Annahme dar. In der Studie werden die Kosten des Flächenverbrauchs in der Schweiz durch den Bau von Verkehrswegen zwischen den 1950er/1960er-Jahren und 1998/1999 bestimmt. Dazu wird zuerst mit Hilfe von digitalen dreidimensionalen Luftbildern das Ausmass der Bodenversiegelung durch Verkehrsinfrastrukturen bestimmt. Dabei wird zwischen 27 Habitatstypen unterschieden.¹⁶⁷ Dieser Ersatzkostenansatz scheint im heutigen Zeitpunkt am besten geeignet, bildet die Grundlage der offiziellen Zahlen des ARE und wird auch in NISTRA verwendet.¹⁶⁸

Im Bereich der Bodenversiegelung werden wir uns deshalb auf die Studie im Auftrag des ARE stützen. Für deren Anwendung muss zuerst das Mengengerüst ermittelt werden: Dabei handelt es sich um die durch das Projekt neu versiegelten Flächen – sowie allenfalls durch das Projekt entsiegelte Flächen (Umwandlung einer Verkehrsfläche in Grünfläche). Dann ist das Wertgerüst zu bestimmen, d.h. ein Kostensatz pro versiegelte Fläche.

6.2 Mengengerüst

6.2.1 Benötigte Inputdaten

Das Mengengerüst umfasst die durch ein Projekt neu versiegelten Flächen sowie allenfalls entsiegelte Flächen. Es ist zu beachten, dass Tunnelbauten nur bei den Ein- und Ausfahrten zu Versiegelungen führen. Die versiegelte Fläche geht aus den Projektunterlagen hervor und kann aus der Länge und Breite der neu gebauten (oder aufgehobenen) Strasse ermittelt werden. Möglicherweise ist die Neubaustrecke in mehrere Abschnitte zu unterteilen, falls sie nicht überall gleich breit ist.

Der Flächenverbrauch umfasst gemäss Econcept und Nateco¹⁶⁹ aber mehr als nur die rein durch die Strasse versiegelte Fläche, da auch beidseits der Strasse Boden für die Natur verloren geht: Denn einerseits werden für den Bau zusätzliche Flächen links und rechts der Strasse benötigt. Und andererseits hat die Strasse einen direkten Einfluss auf deren Umfeld (Bodenverdichtungen¹⁷⁰ und Entwässerung etc.). Der Raumbedarf ist abhängig vom Infrastrukturtyp und wird in der folgenden Tabelle dargestellt: Für Autobahnen und Autostrassen wurde aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und der grossen Kurvenradien sowie der häufig hohen Böschungen ein erheblich grösserer Flächenverbrauch gewählt.

Für die Bestimmung der entsiegelten Flächen wird der Einfachheit halber die gleiche Bemessungsgrundlage verwendet (siehe Tabelle 6-1). Wird der Flächenverbrauch andernorts durch

¹⁶⁷ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 36 und 51.

¹⁶⁸ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 157.

¹⁶⁹ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. S. 20 – 21.

¹⁷⁰ Von Bodenverdichtung wird gesprochen, wenn es durch Aufbringen von Last zu einer Verformung und somit zu einer Veränderung des Bodens kommt (Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bodenverdichtung> 18.7.2007).

Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen tatsächlich ausgeglichen, sind die entsprechenden Flächen (ohne Korrekturen) von der versiegelten Fläche in Abzug zu bringen. Dies ist aber nur dann zulässig, wenn bei den Baukosten die Kosten für den Rückbau der Strasse bzw. für die die Ausgleichs- und Ersatzmassnahmen enthalten sind.¹⁷¹

Tabelle 6-1: Bestimmung des Flächenverbrauchs

Strasstyp	Beschreibung	Flächenverbrauch
Autobahn	Eine Autobahn ist kreuzungsfrei, zwei- oder mehrspurig und hat einen Mittelstreifen.	Platzbedarf der Strasse plus je doppelte Strassenbreite links und rechts der Strasse
Autostrasse	Eine Autostrasse ist kreuzungsfrei und ein- oder mehrspurig.	Platzbedarf der Strasse plus je einfache Strassenbreite links und rechts der Strasse
übrige Strassen	Diese Kategorie reicht von gut ausgebauten Strassen 1. Klasse (mehr als 6m breit und mit Lastwagen im Gegenverkehr befahrbar) bis zu weniger gut ausgebauten Strassen 3. Klasse (mind. 2.5m breit, jedoch mit Lastwagen und Bus nur einspurig befahrbar).	Platzbedarf der Strasse plus je 10 m links und rechts der Strasse

Quelle: Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. S. 14 und 21.

Der Beginn der Bodenversiegelung wird mit dem Start der Bauphase gleichgesetzt.¹⁷² Deshalb wird die **Bodenversiegelung** nicht nur während der Betriebsphase berücksichtigt, sondern auch **während der Bauphase**.

6.2.2 Berechnung des Mengengerüsts

Für die Ermittlung des Mengengerüsts sind nebst der oben erwähnten Flächenbestimmung keine weiteren Berechnungen erforderlich.

6.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Es erfolgt keine Anpassung an örtliche Gegebenheiten (vgl. Anhang D).

¹⁷¹ Die Kosten der Ersatzmassnahmen sollten in etwa den hier berechneten Kosten entsprechen. Tatsächlich können die Kosten der Ersatzmassnahmen mit der hier beschriebenen Methode abgeschätzt werden. Werden die Ersatzmassnahmen wirklich ergriffen, so sind sie Teil der Baukosten und nicht Teil der Kosten für die Umwelt.

¹⁷² Bei einem grösseren Projekt ist dies unter Umständen nicht ganz exakt, da sich die Bodenversiegelung beim Baubeginn meist nicht auf die gesamte Neubaustrecke erstreckt, sondern mit dem Baufortschritt voran schreitet. Oft werden aber schon relativ früh erste (Aushub-) Arbeiten durchgeführt, welche zu einer Versiegelung führen und im Normalfall ist die gesamte Neubaustrecke weit vor dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme (Eröffnung) bereits versiegelt. Deshalb wird vereinfachend die gesamte Bodenversiegelung schon mit dem Baubeginn gleichgesetzt.

6.3 Wertgerüst

6.3.1 Bewertungsmethode

Die Monetarisierung des Flächenverbrauchs beruht auf einem Ersatzkostenansatz, d.h. es werden die Kosten bewertet, die entstehen, wenn andernorts der verlorene Boden wieder ersetzt wird. Um das durch den Strassenbau verlorene wertvolle Biotop andernorts zu ersetzen, muss ein Ausgangsbiotop angenommen werden. Dabei wurde intensiv genutztes Grünland / Ackerland unterstellt¹⁷³. Die Ersatzkosten setzen sich aus folgenden Kostenbestandteilen zusammen:

- Landkauf
- Erstinstanzsetzung
- Entwicklungspflege und Pflegemassnahmen über mehrere Jahre
- Planungskosten
- Erfolgskontrolle über mehrere Jahre
- Zuschlag von 0% – 50% für Wiederherstellungsrisiken (d.h. Risiko, dass das beabsichtigte Zielbiotop nicht erreicht wird)

Für die Berechnung der Kostensätze wurden Marktpreise verwendet.

Bei den Ersatzkosten handelt es sich um die Kosten, die entstehen, wenn die durch die Strasse betroffenen wertvollen Biotope andernorts ersetzt werden. Damit handelt es sich um die durch das Projekt ausgelösten zusätzlichen Kosten oder um Grenzkosten.

6.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Das im Folgenden hergeleitete Wertgerüst bezieht sich wie immer auf Faktorpreise des Jahres 2000. Entsprechend wurde die in den ursprünglichen Zahlen enthaltene MWST von 7.5%¹⁷⁴ herausgerechnet.

Die Ermittlung des Kostensatzes wird in Anhang D erläutert. Es ergibt sich ein durchschnittlicher Kostensatz von **2'800 CHF pro Hektare pro Jahr**. Dieser Durchschnittswert wird auch in NISTRA verwendet.¹⁷⁵

6.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Es erfolgt keine Anpassung an örtliche Gegebenheiten (vgl. Anhang D).

¹⁷³ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 42 – 43.

¹⁷⁴ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 51.

¹⁷⁵ EcoPlan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 107 und 157.

6.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, sind die Werte mit der **Inflation** (Konsumentenpreisindex) auf den Preisstand der KNA anzupassen. Bei den Kosten handelt es sich um folgende Bestandteile:¹⁷⁶

- Landerwerb
- Lohnkosten für Arbeit
- Kosten für Maschinen
- Kosten für Sand, Kies, Schotter, Steine
- Kosten für Saatgut für verschiedene Pflanzen (Gräser, Reben, Bäume etc.)

Die Lohnkosten müssten eigentlich mit dem Nominallohnwachstum angepasst werden. Doch geht der Anteil der Lohnkosten nicht klar aus der Studie hervor und ist je nach Biotoptyp unterschiedlich. Deshalb scheint eine Vereinfachung über die Inflation zulässig.

6.4 Veränderung über die Zeit

Bei der Veränderung über die Zeit liegt es in der Natur der Sache, dass sich das Mengengerüst, d.h. die durch die Strasse versiegelte Fläche, nicht verändert.

Beim Wertgerüst gehen wir ebenfalls von (realer) **Konstanz** über die Zeit aus. Zwar dürften die Lohnkosten mit dem Reallohnwachstum zunehmen, doch könnten die Kosten durch den Einsatz neuerer und besserer Maschinen auch sinken (technischer Fortschritt).

6.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Für die hergeleitete Methode sind relativ wenig projektabhängige Inputdaten nötig, um die Bodenversiegelung bewerten zu können: Es wird lediglich die

- Länge und
- Breite der Neubaustrecken (und allfälliger aufgehobener Strassen) benötigt sowie der
- Strassentyp (Autobahn, Autostrasse oder übrige Strasse).

Diese Daten sind relativ einfach zu beschaffen. Eine noch einfachere Methode ist deshalb nicht notwendig.

¹⁷⁶ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. A-33 – A-34.

6.6 Vergleich mit NISTRA

In der aktualisierten Version von NISTRA¹⁷⁷ wird die hier vorgeschlagene Methode benutzt. Ergänzend zu NISTRA schlagen wir hier vor, nicht nur die Betriebsphase, sondern auch die Bauphase in die Bewertung zu integrieren.

¹⁷⁷ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 107 und 157.

7 Landschafts- und Ortsbild

7.1 Einleitung

Verkehrswege haben unbestreitbar einen erheblichen Einfluss auf das Landschafts- und Ortsbild. Diesem Umstand trägt der vorliegende Indikator Rechnung, indem er Veränderungen des Landschafts- und Ortsbildes infolge baulicher Verkehrsmassnahmen bewertet.

Das Landschafts- und Ortsbild ist bereits seit 2003 in NISTRA als KNA-Indikator enthalten. Bei diesem externen Effekt handelt es sich meist um eine relativ unbedeutende Auswirkung: In 17 Pilotanwendungen von NISTRA machte er durchschnittlich lediglich 0.04% der monetarisierten Indikatoren aus und lag in einem keinem der 17 Projekte über 0.36%.¹⁷⁸

Aufgrund der geringen Bedeutung dieses Indikators überrascht es nicht, dass das Landschafts- und Ortsbild im Ausland unseres Wissens nie in KNA enthalten ist, ausser in den Niederlanden.¹⁷⁹ In den übrigen 23 EU-Staaten wird das Landschafts- und Ortsbild in 16 Staaten ausserhalb der KNA in die Bewertung miteinbezogen.¹⁸⁰

Die Bewertung des Landschafts- und Ortsbild kann aus verschiedenen Perspektiven erfolgen.¹⁸¹

- Erstens aus der Perspektive des **Erholungssuchenden**, der sich über ein schönes Landschafts- und Ortsbild in der Nähe ihres Wohnortes (bis ca. 10 km) freut.
- Zweitens aus der Perspektive des **Anwohners**, der eine Präferenz für eine schöne Aussicht von seiner Wohnung / seinem Haus aus hat.
- Drittens aus der Sicht des **Touristen**, der einen Ort auch aufgrund seines schönen Landschafts- und / oder Ortsbildes besucht.

Diese verschiedenen Perspektiven werden im Folgenden kurz betrachtet.

a) Auswirkungen auf Erholungssuchende

Die bisherige Bewertung in NISTRA beruht auf einer Zahlungsbereitschaft von Erholungssuchenden, die sich von zu Hause weg bewegen, aber in der Nähe ihre Wohnortes (bis ca. 10 km) bleiben und sich dabei über ein schönes Landschafts- und Ortsbild freuen. Dabei ist an Spaziergänger, Jogger, Einkaufsbummler etc. zu denken.

¹⁷⁸ Ecoplan (2005), Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen, S. 16.

¹⁷⁹ COWI and ITS (2005), HEATCO D1: Current practice in project appraisal in Europe, S. 138. Doch sind selbst in den Unterlagen zur niederländischen KNA keine Angaben zur Methode der Bewertung des Landschafts- und Ortsbildes zu finden (CPB und NEI (2000), Evaluation of infrastructural projects; Guide for cost-benefit analysis).

¹⁸⁰ COWI and ITS (2005), HEATCO D1: Current practice in project appraisal in Europe, S. 64.

¹⁸¹ Ecoplan (2006), Environmental costs in sensitive areas, S. 56 – 63.

Die qualitativen Veränderungen des Landschafts- und Ortsbildes ist schwierig einzuschätzen, da ästhetische Aspekte vielfach Gegenstand subjektiver Bewertung sind. Im Rahmen des NFP 41 „Verkehr und Umwelt“ wurde von Infraconsult¹⁸² ein praxisorientiertes Arbeitsinstrument erarbeitet, welches es erlaubt, mit einem weitgehend objektiven Verfahren den Wert von Lebensräumen und Landschaften qualitativ zu bewerten. Dieses Verfahren wurde in NISTRA übernommen.¹⁸³

Unseres Wissens entspricht das Verfahren nach wie vor dem aktuellen Stand der Forschung. Deshalb **kann das Vorgehen aus NISTRA hier übernommen werden.**

Nach diesem Vorgehen wird zuerst qualitativ die Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes anhand einer Liste von Zielen beurteilt. Dann wird die qualitative Bewertung unter Berücksichtigung der betroffenen Fläche mit einem Kostensatz monetarisiert. Wie die folgenden Erläuterungen zeigen werden, ist dieses Vorgehen zwar relativ komplex, es hat sich aber in der Praxis bereits bewährt.¹⁸⁴

b) Auswirkungen auf Anwohner

Bis vor kurzem gab es unseres Wissens keine Grundlagen, um die Auswirkungen eines veränderten Landschaftsbildes auf die Anwohner zu untersuchen, deren Aussicht von zu Hause aus verändert wird. Eine Studie im Rahmen des NFP 48 „Landschaften und Lebensräume in den Alpen“ versuchte erstmals diese Kosten zu quantifizieren.¹⁸⁵ Darin wird der Einfluss einer schönen Aussicht auf die Landschaft auf die Mieten von Ferienwohnungen und von normalen Häusern untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass in Verbier 5-Zimmer-Ferienwohnungen um 1'051 CHF pro Monat teurer vermietet werden können als in Anzère und 5-Zimmer-Wohnungen für Ortsansässige einen um 190 CHF / Monat höheren Mietzins erzielen (je etwa + 12%)¹⁸⁶. Die Studie kann jedoch aus folgenden Gründen für unsere Zwecke jedoch nicht verwendet werden:

- Die Untersuchung beschränkt sich auf die Analyse von sechs Tourismusdestinationen in den Alpen. Die Ergebnisse können nicht ohne Weiteres auf die Gesamtschweiz übertragen werden.
- Die empirische Erhebung konzentriert sich vor allem auf die Touristen, während uns vor allem die Ortsansässigen interessieren, da die meisten Verkehrsinfrastrukturen nicht in

¹⁸² Infraconsult (1999), Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz.

¹⁸³ ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, S. 84-85 und 106 sowie Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 110.

¹⁸⁴ Vgl. Walter (2001), Nachhaltige Mobilität – Impulse des NFP 41 „Verkehr und Umwelt“, S. 10 – 11 und die diversen Anwendungen von NISTRA.

¹⁸⁵ Tangerini und Soguel (2004), Evaluation monétaire de la qualité du paysage.

¹⁸⁶ Simmen et al. (2006), Den Wert der Alpenlandschaften nutzen, S. 111.

Tourismusregionen gebaut werden. Die Befragung der Ortsansässigen beruht aber nur auf einer relativ kleinen Stichprobe von 107 Personen.¹⁸⁷

- Die Bestimmung der Attraktivität einer Landschaft ist in dieser Studie ziemlich komplex¹⁸⁸ und dürfte bei der Bewertung eines Projektes einen grossen Aufwand verursachen.

Aus diesen Gründen muss auf eine Monetarisierung der **Auswirkungen auf die Anwohner verzichtet** werden.

c) Auswirkungen auf Touristen

Im Rahmen des NFP 48 „Landschaften und Lebensräume in den Alpen“ wurde auch untersucht, wie hoch die Zahlungsbereitschaft von Touristen für ein schönes Landschaftsbild ist.¹⁸⁹ Analysiert wurde im Rahmen des NFP48-Projektes ALPSCAPE insbesondere die Zahlungsbereitschaft für die Verhinderung einer Ausdehnung des Siedlungsgebietes in Davos. Der ermittelte Kostensatz von 26 CHF / Woche und Person ist jedoch nicht direkt auf unsere Fragestellung übertragbar: Denn der Kostensatz bezieht sich auf eine Siedlungsentwicklung, nicht auf einen Strassenbau. Wie dieser Kostensatz auf den Strassenbau angepasst werden müsste, ist unklar. In der Literatur sind sehr unterschiedliche Ansätze zu finden.¹⁹⁰ Zudem stellt sich auch hier die Frage der Übertragbarkeit auf andere Regionen. Aufgrund dieser Unsicherheiten kann kein einigermaßen zutreffender Wert angegeben werden, der normierungswürdig wäre.

Folglich können weder die Ergebnisse der Studie aus ALPSCAPE noch die Ergebnisse aus der Studie von Tangerini und Soguel (vgl. oben Auswirkungen auf Anwohner) für die Quantifizierung der Auswirkungen einer Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes auf die Touristen verwendet werden. Der Hauptgrund dafür ist, dass diese beiden Studien aus dem NFP 48 einen anderen Fokus hatten als wir in diesem Bericht. Folglich ist auch hier ein **Verzicht auf die Auswirkungen auf die Touristen** unausweichlich.

d) Schlussfolgerungen

Wie sich zeigt, können **nur die Auswirkungen auf Erholungssuchende monetarisiert** werden. Die **Auswirkungen auf Anwohner und Touristen** können mit dem heutigen Wissensstand noch nicht monetarisiert werden und müssen deshalb **ausserhalb der KNA** in die Bewertung eingehen (z.B. deskriptiv). Dabei ist zu beachten, dass Auswirkungen auf Touris-

¹⁸⁷ Simmen et al. (2006), Den Wert der Alpenlandschaften nutzen, S. 110.

¹⁸⁸ Es wurde die sogenannte Macbeth-Methode verwendet (measuring attractiveness by a categorical-based evaluation technique, vgl. Tangerini et al. (2006), Using A Multiple Criteria Decision Analysis Approach for Landscape Quality Assessment).

¹⁸⁹ Grêt-Regamey et al. (2007), Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region through the use of GIS.

¹⁹⁰ Infrac (2006, Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000, S. 111 – 119) geht davon aus, dass der Kostensatz deutlich reduziert werden müsste, Ecoplan (2006, Environmental costs in sensitive areas, S. 60 – 63) jedoch nicht.

ten nur in seltenen Fällen relevant sind – nämlich nur dann wenn die betroffene Region von touristischem Interesse ist. Dies dürfte vor allem bei Projekten im Alpenraum von Bedeutung sein, jedoch weniger bei Projekten in den Agglomerationen oder zwischen den Agglomerationen.

Um auch die Auswirkungen des Landschafts- und Ortsbildes auf die Anwohner und Touristen zu monetarisieren, sind **weitere Forschungsanstrengungen nötig**, die im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht möglich sind. Auch die im Folgenden präsentierte Monetarisierung der Auswirkungen auf Erholungssuchende ist nicht über alle Zweifel erhaben (vgl. Kapitel 7.3.2), ist aber momentan die einzige Grundlage, die eine Monetarisierung erlaubt. Im Vergleich zu allen übrigen in diesem Bericht erläuterten externen Effekten (vgl. Kapitel 2 bis 6) beruht die Monetarisierung des Landschafts- und Ortsbildes auf den am wenigsten sicheren Grundlagen.

7.2 Mengengerüst

7.2.1 Benötigte Inputdaten

Um die benötigten Inputdaten zu erheben, kann in drei Schritten vorgegangen werden:

- Schritt 1: Zuerst ist festzulegen, von wo aus, die Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes sichtbar ist. Dieser Raum ist in Teilräume aufzugliedern, für die der Eingriff in das Landschafts- und Ortsbild gleich ist (vgl. Schritt 3). In hügeligem oder gebirgigem Gelände ist diese Fläche grösser als im Flachland, da die Strasse von weiter her sichtbar ist.
- Schritt 2: Dann ist die Fläche der Teilräume zu ermitteln (in m²).
- Schritt 3: Für jeden einzelnen Teilraum ist schliesslich eine quantitative Bewertung der Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes vorzunehmen. Dabei müssen die in Tabelle 7-1 enthaltenen Ziele für Referenz- und Projektfall quantifiziert werden.¹⁹¹ Für die Quantifizierung wird von einer Skala ausgegangen, die von 0 bis 10 Punkten reicht, wobei:
 - **0** = durch menschliche Nutzung vollständig im negativen Sinne überprägt; Betonwüste; minimales menschliches Wohlbefinden
 - **10** = naturbelassene, freie Landschaft; menschliche Eingriffe charakteristisch für Landschaft, allerdings nicht überprägend; typische, ansprechende Siedlung mit schönem Ortsbild

Die Abnahme der Punktzahl hängt einerseits vom Strassenprojekt ab (6-spurige Autobahn oder 2-spurige Strasse), andererseits vom bestehenden Umland. Eine neue Strasse mitten durch ein unberührtes Gebiet hat gravierendere Konsequenzen für das Landschaftsbild, als z.B. eine Strasse direkt neben einer bestehenden Eisenbahnlinie.

¹⁹¹ Diese Ziele entsprechen dem Oberziel 3 des Beurteilungsmodells "Natur- und Landschaftsschutz" nach Infraconsult (1999, Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz, Bericht C1 des NFP 41, S. 47-52).

Tabelle 7-1: Ziele zur Bewertung des Landschafts- und Ortsbildes

Ziel 1	Freie Landschaften erhalten: Ursprünglichkeit, Einmaligkeit, Ästhetik, Vielfaltigkeit, Erholungswert / Erreichbarkeit
Ziel 2	Bebaute Gebiete gestalten: Ästhetik, Vielfaltigkeit, Einmaligkeit, kulturhistorischer Wert, wissenschaftliche Bedeutung
Ziel 3	Natur- und Kulturdenkmäler schonen: kulturhistorische / museale Bedeutung, wissenschaftliche Bedeutung

Grundsätzlich ist der Indikator so gedacht, dass die Bewertung des Indikators vor Ort durch Experten vorgenommen wird. Der Aufwand der Erhebung kann jedoch reduziert werden (vgl. Kapitel 7.5). Eine Vereinfachung erlaubt auch die Zusammenfassung kleinerer Teilräume zu grösseren.

Es ist davon auszugehen, dass das Landschafts- und Ortsbild bereits während der Bauphase beeinträchtigt ist. Deshalb sind die **berechneten Auswirkungen** nicht nur während der Betriebsphase zu berücksichtigen, sondern **auch während der Bauphase**. Während der Bauphase ist der Eingriff in das Landschaftsbild zum Teil gravierender als während der Betriebsphase, weil beidseits der entstehenden Strasse der Boden oft unansehnlich ist („Baugrube“, braun statt grün). Zudem sind Baumaschinen wie Kranen teilweise von weitem sichtbar. Andererseits ist nicht unbedingt ab Baubeginn die gesamte Wegstrecke des Neubaus betroffen. Vereinfachend kann angenommen werden, dass der identische Effekt während der Betriebsphase auch für die Bauphase gilt.

7.2.2 Berechnung des Mengengerüsts

Um das definitive Mengengerüst zu berechnen, wird für alle drei Ziele in Tabelle 7-1 die Differenz der Bewertungen (Skala von 0 bis 10) zwischen Projekt- und Referenzfall gebildet. Dann wird der Durchschnitt über die drei Unterziele ermittelt, wobei jedes Unterziel gleich gewichtet wird. Der so ermittelte Durchschnitt wird schliesslich mit der Fläche multipliziert, wodurch sich das Resultat ergibt, das in der Einheit „Punkte * Quadratmeter“ gemessen wird.

Diese Berechnung wird für jeden Teilraum einzeln durchgeführt. Die Ergebnisse für die einzelnen Teilräume werden zum Schluss zusammengezählt.

7.2.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Da die Daten schon projektspezifisch erhoben werden, ist keine weitere Anpassung an lokale Gegebenheiten notwendig bzw. möglich.

7.3 Wertgerüst

7.3.1 Bewertungsmethode

Wie wir im Folgenden zeigen werden, beruht der verwendete Kostensatz auf einer Zahlungsbereitschaft.

Da die tatsächliche Veränderung des Landschafts- und Ortsbildes erfasst wird, handelt sich bei der Monetarisierung um eine Bewertung der durch das Projekt zusätzlich entstehenden Kosten (Grenzkosten).

7.3.2 Bestimmung des Wertgerüsts

Das im Folgenden hergeleitete Wertgerüst bezieht sich wie immer auf Faktorpreise des Jahres 2000.

Der Kostensatz für die Bewertung des Mengengerüsts beträgt **jährlich 0.01 CHF / (Punkt * Quadratmeter)** (oder 10'000 CHF / (Punkt * Quadratkilometer)). Dieser Kostensatz wird auch in NISTRA verwendet¹⁹² und wurde aus einer Studie von Infraconsult¹⁹³ hergeleitet. Die Studie von Infraconsult ist jedoch breiter und betrachtet das Gesamtziel „Natur und Landschaft ungeschmälert erhalten“.¹⁹⁴ Dieses wird in drei Oberziele aufgeteilt, nämlich „Pflanzen und ihre Lebensräume erhalten“, „Tiere und ihre Lebensräume erhalten“ sowie „Landschafts- und Ortsbild schonen“.¹⁹⁵ Deshalb wird hier nicht die gesamte Zahlungsbereitschaft, sondern nur einen Drittel davon verwendet.¹⁹⁶

Es gilt festzuhalten, dass im vorliegenden Kostenbereich ein erheblicher **Forschungsbedarf** besteht, um die Zahlungsbereitschaft für das Landschafts- und Ortsbild zu erhärten.

¹⁹² ASTRA (2003), NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte, S. 106 sowie EcoPlan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 110.

¹⁹³ Infraconsult (1999), Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz, Bericht C1 des NFP 41, S. 77.

¹⁹⁴ Infraconsult (1999), Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz, Bericht C1 des NFP 41, S. 49 – 51.

¹⁹⁵ Die von Infraconsult verwendete Zahlungsbereitschaft beruht vor allem auf einer Studie von Blöchliger and Jäggin (1996, Der Wert der Artenvielfalt im Jura, zitiert in Infraconsult (1999), Kosten und Nutzen im Natur und Landschaftsschutz). Dabei wurde die Zahlungsbereitschaft von Erholungssuchenden in Baselland erhoben. Kritisch ist jedoch anzumerken, dass die Zahlungsbereitschaft nicht auf das Landschafts- und Ortsbild fokussiert war, sondern wie die Studie von Infraconsult eine breitere Perspektive hatte. Konkret wurde in der Befragung nach der Zahlungsbereitschaft für Schutzprogramme gefragt, durch die fast alle oder alle Pflanzen- und Tierarten gerettet werden können (Infraconsult 1999, Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz, Bericht C1 des NFP 41, S. 68 – 69).

¹⁹⁶ Die gesamte Zahlungsbereitschaft beträgt 0.025 CHF / Punkt * Quadratmeter und gilt für das Jahr 1995. Davon wird ein Drittel genommen und mit dem Nominallohnwachstum auf 2000 angepasst (vgl. Kapitel 7.3.4). Das Ergebnis wird gerundet.

7.3.3 Anpassung an örtliche Gegebenheiten

Die Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten erfolgt über das Mengengerüst, das nur unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten erhoben werden kann. Für das Wertgerüst erfolgt keine Anpassung, obwohl eigentlich auch hier eine Anpassung sinnvoll sein könnte.¹⁹⁷ Einerseits könnte der Kostensatz in einem schönen Landschaftsgebiet höher sein.¹⁹⁸ Zudem dürfte die Bewertung einer Landschaft auch von der Anzahl Besucher in dieser Landschaft abhängen. Doch liegen keine Zahlen vor, die eine solche Differenzierung des Kostensatzes zulassen würden.

7.3.4 Anpassung an einen anderen Preisstand

Die hier angegebenen Werte beziehen sich alle auf den Preisstand des Jahres 2000. Wird die KNA mit einem anderen Preisstand durchgeführt, sind die Werte mit dem **Nominallohnwachstum** auf den Preisstand der KNA anzupassen.¹⁹⁹

7.4 Veränderung über die Zeit

Das Mengengerüst verändert sich natürlich nicht über die Zeit. Das Wertgerüst wird mit dem **Reallohnwachstum** in die Zukunft fortgeschrieben, da es auf einer Zahlungsbereitschaft beruht.

7.5 Vereinfachte Methode bei kleineren Projekten oder Grobevaluationen

Wie in Kapitel 7.2.1 erwähnt, ist der Indikator grundsätzlich so gedacht, dass die Erhebung des Mengengerüsts vor Ort durch Experten vorgenommen wird. Dies verursacht einen relativ grossen Aufwand bei der Erhebung des Indikators, obwohl die Beeinträchtigung des Landschafts- und Ortsbildes in den meisten Fällen wenig relevant ist (meist unter 0.4% der monetarisierten Indikatoren, durchschnittlich 0.04%, vgl. Kapitel 7.1). Deshalb ist eine Reduktion des Aufwandes in gewissen Fällen sinnvoll. Der Aufwand kann reduziert werden,

- indem kleinere Teilräume zu grösseren zusammengefasst werden,
- indem nur ein Experte beauftragt wird,
- indem qualifizierte Laien die Bewertung vornehmen oder
- indem auf eine ausführliche Begehung des Geländes verzichtet wird.

¹⁹⁷ Ecoplan (2006), Environmental costs in sensitive areas, S. 58.

¹⁹⁸ Dies wird zwar auch durch die höhere Anzahl Punkte im Mengengerüst berücksichtigt, aber möglicherweise ist die Bewertung nicht so linear wie hier unterstellt, d.h. dass für Veränderungen von 10 auf 9 Punkte die Zahlungsbereitschaft höher wäre als für eine Veränderung von 1 auf 0.

¹⁹⁹ Beruht ein Kostensatz auf einer Zahlungsbereitschaft, so ist es üblich, ihn mit dem Nominallohnwachstum an einen anderen Preisstand anzupassen, da davon ausgegangen wird, dass sich die Zahlungsbereitschaft mit dem Lohnwachstum entwickeln dürfte.

Durch diese Vereinfachungen müssen zwar Abstriche bei der Qualität der Bewertung in Kauf genommen werden, doch für die Abschätzung einer Grössenordnung der Auswirkungen genügen auch die vereinfachten Verfahren.

Selbst mit den aufgezeigten Möglichkeiten zur Vereinfachung ist der Aufwand für die Erhebung der Inputdaten nicht unbedeutend. Deshalb **kann für folgende Projekte auch eine deskriptive Bewertung genügen** (vgl. SN 641 820, Kapitel B):

- Kleinere und mittlere Projekten mit Kosten bis zu 50 Mio. CHF,
- Regionale und nationale Grossprojekte, die das Landschafts- und Ortsbild nur wenig beeinträchtigen, z.B. Tunnelprojekte (Beeinträchtigung nur im Bereich der Ein- und Ausfahrt)
- Grobevaluationen.

7.6 Vergleich mit NISTRA

In NISTRA²⁰⁰ wird die hier vorgeschlagene Methode benutzt. Zudem wurde hier ein Mehrwert geschaffen, indem auf die Differenzierung zwischen der Wertschätzung der Erholungssuchenden, der Anwohner und der Touristen aufmerksam gemacht wurde. Ergänzend zu NISTRA schlagen wir hier vor, nicht nur die Betriebsphase, sondern auch die Bauphase in die Bewertung zu integrieren.

²⁰⁰ Ecoplan (2007), Handbuch eNISTRA, S. 110.

8 Anhang A: Workshop-Teilnehmer

Für die Diskussion und Bereinigung der Vorgaben in den Bereichen Lärm und Luftverschmutzung wurden zwei Workshops mit Experten durchgeführt. Beide fanden am 15. August 2007 bei Ecoplan in Bern statt (vor- bzw. nachmittags).

Am Workshop zum **Lärm** nahmen folgende Personen teil:

- R. Höin, Planteam, Lärmschutz und Bauakustik
- N. Hilty, BAFU, Sektion UVP und Raumordnung
- K. Ingold, BAFU, Abteilung Lärmbekämpfung
- F. Fischer, BAFU, Abteilung Lärmbekämpfung
- A. Hauser, BAFU, Sektion Ökonomie
- B. Marty, Mitglied Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung (EKLB) und Abteilungsleiter Luft, Lärm und Energie, Kanton Luzern
- P. Graf, Leiter Fachstelle Lärmschutz, Kanton Zürich
- H. Sommer, Ecoplan
- C. Lieb, Ecoplan

Am Workshop zur **Luftverschmutzung** nahmen folgende Personen teil:

- J. Heldstab, Infras, Experte für Schadstoffausbreitung
- N. Hilty, BAFU, Sektion UVP und Raumordnung
- H. Jenk, BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS
- R. Weber, BAFU, Abteilung Luftreinhaltung und NIS
- S. Pellegrini, BAFU, Sektion Ökonomie (nur schriftliche Stellungnahme)
- B. Marty, Abteilungsleiter Luft, Lärm und Energie, Kanton Luzern
- H.-J. Sommer, Leiter AWEL – Lufthygiene, Kanton Zürich
- H. Sommer, Ecoplan
- C. Lieb, Ecoplan

An den beiden Workshops wurden Entwürfe zu den beiden Kapiteln Lärm und Luftverschmutzung diskutiert und bereinigt. Verschiedene bis zum Workshop noch ungeklärte Fragen und Detailprobleme konnten mit Hilfe des Expertenwissens geklärt werden.

Wir möchten uns an dieser Stelle nochmals bei den Teilnehmern der Workshops bedanken für ihre sehr wertvollen Kommentare und Hinweise sowie für die sehr angenehmen und zielführenden Diskussionen.

9 Anhang B: Verworfenere vereinfachte Methode der Lärmbewertung

In Kapitel 2.5 wurde erläutert, wie der Lärm bewertet werden kann, wenn nicht alle Daten für die detaillierte Methode vorliegen und deshalb eine vereinfachte Methode zur Anwendung kommen muss. Am Workshop zum Lärm (vgl. Anhang A) wurde auch eine zweite vereinfachte Methode diskutiert. Diese wird im Folgenden kurz vorgestellt. Dann wird erläutert, warum diese Methode abgelehnt wurde.

Bewertung der Strassen mit grossen Veränderungen der Verkehrsmenge

Die alternative einfache Bewertung würde von der Tatsache ausgehen, dass geringe Veränderungen in der Verkehrsmenge zu einer Veränderung in der Lärmbelastung führen, die für den Menschen nicht wahrnehmbar sind. Konkret gelten Veränderungen des Lärms unter 1 dB(A) als nicht wahrnehmbare Veränderung der Lärmimmission (vgl. unten). Erst wenn das Verkehrsvolumen um den Faktor 1.25 zu- oder abnimmt, verändert sich das Lärmniveau um 1 dB(A).²⁰¹ Deshalb würden für die Bestimmung der Lärmkosten **nur die Strassen mit einer Erhöhung der Verkehrsmenge um mindestens 25% bzw. einer Reduktion um mindestens 20%** betrachtet.²⁰² Dieses Vorgehen wurde bei der Bewertung der AVANTI-Initiative verwendet.

Als Input in die Berechnung würde die Veränderung der Fzkm auf allen Strassen mit einer Veränderung der Verkehrsmenge um mehr als den Faktor 1.25 benötigt. Dabei würden Tunnelstrecken und Strecken durch unbewohntes Gebiet nicht berücksichtigt, da der dort emittierte Lärm nicht zu Beeinträchtigungen am Wohnort führt.

Die relevanten Fzkm würden dann mit einem Durchschnittskostensatz pro Fzkm monetarisiert. Die in Tabelle 2-6 dargestellten Durchschnittskostensätze wurden ermittelt, indem die gesamten Lärmkosten am Wohnort in der Schweiz durch die gesamten Fahrzeugkilometer in der Schweiz dividiert wurden. Tatsächlich führen jedoch praktisch nur die innerorts zurückgelegten Fzkm zu Lärmkosten am Wohnort. Gemäss bfu werden 48% der Fzkm innerorts zurückgelegt (52% ausserorts).²⁰³ Deshalb würden die in Tabelle 2-6 dargestellten Kostensätze für die Verwendung in diesem Abschätzverfahren um den Faktor 2.08 (1 / 0.48) erhöht.

²⁰¹ Eine Zunahme um 1 dB(A) ergibt sich bei einer Zunahme des Verkehrsvolumens um 25.9% (berechnet aus $10^{X/10} / 10^{(X-1)/10}$, was für jedes X dasselbe Ergebnis ergibt). Entsprechend nimmt das Lärmniveau bei einer Abnahme des Verkehrsvolumens um 20.6% (= $1 / (1 + 25.9\%)$) um 1 dB(A) ab. Diese Zahlen werden auf +25% und -20% bzw. auf den Faktor 1.25 gerundet. (Der Prozentsatz verändert sich natürlich, wenn sich der Anteil des Schwerverkehrs ändert oder wenn sich die Geschwindigkeit verändert. Aus pragmatischen Gründen kann dies aber nicht berücksichtigt werden.)

²⁰² Manchmal werden vereinfachend auch nur Veränderungen um $\pm 30\%$ betrachtet.

²⁰³ bfu (2005), Unfallgeschehen in der Schweiz. bfu-Statistik 2005, S. 29. Die Fahrzeugkilometer auf Autobahnen werden dabei vernachlässigt, da sie teilweise innerorts und teilweise ausserorts zurückgelegt werden.

Gründe für die Nichtberücksichtigung dieser Methode

Das Hauptproblem dieser Methode ist deren Grundannahme, nämlich dass Lärmveränderungen unter 1 dB(A) für Menschen als nicht wahrnehmbar stärkere Lärmimmission gelten. Diese Annahme ist jedoch kritisch zu hinterfragen.²⁰⁴

- In der Akustik wird zwischen dem „Momentanpegel“ L und dem „Mittelungspegel“ Leq, unterschieden. Die Vorbeifahrt eines Fahrzeuges nehmen wir als eine Folge von Momentanpegeln L wahr. Die gemäss Umweltschutzgesetz zu beurteilende Grösse ist jedoch der „jahresdurchschnittliche Mittelungspegel Leq“ im Zeitraum Tag und Nacht. Deshalb kann ein zusätzliches Fahrzeug im Moment zwar hörbar sein, doch verschwindet dieser Effekt praktisch vollständig, wenn man einen Durchschnitt über den ganzen Tag bildet.

Die Aussage, dass Lärmveränderungen unter 1 dB(A) nicht hörbar sind, bezieht sich auf den Mittelungspegel. Die Verwendung des Schwellenwertes von 1 dB(A) geht auf Art. 8 Abs. 3 LSV zurück.²⁰⁵ Dort wird von „wahrnehmbar stärkeren Lärmimmissionen“ gesprochen. Die Definition, was nun „wahrnehmbar stärker“ bedeutet, hat das Bundesamt für Verkehr (BAV) mit dem (damaligen) Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in der Weisung Nr. 4 vom 25. Februar 1992 für die Eisenbahnanlagen wie folgt definiert:

- Eine Zunahme des Beurteilungs-Emissionspegels²⁰⁶ um mehr als 2 dB(A) gilt in jedem Fall als wahrnehmbar.
- Eine Zunahme des Beurteilungs-Emissionspegels zwischen 1 und 2 dB(A) gilt nur dann als wahrnehmbar, wenn die gesamte Verkehrsmenge für die Tages- oder Nachtperiode um mindestens 25% erhöht wird.
- Eine Zunahme des Beurteilungs-Emissionspegels um weniger als 1 dB(A) gilt in keinem Fall als wahrnehmbar.

Der oben festgelegte Faktor von 1.25 kann also direkt in dieser Weisung des BAV und des BUWAL wiedergefunden werden.

Fazit: Veränderungen des Beurteilungspegels unter 1 dB(A) gelten zwar gemäss Weisung des BAV und BUWAL aus rechtlicher Sicht als nicht wahrnehmbare stärkere Lärmimmission, doch heisst dies nicht, dass Veränderungen unter 1 dB(A) tatsächlich nicht wahrnehmbar sind. Es ist anzunehmen, dass auch für Veränderungen unter 1 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft besteht, um z.B. einzelne stark störende Fahrten oder insbesondere in der Nacht eine Lärmreduktion unter 1dB(A) zu erreichen. Folglich sind auch diese Effekte in eine KNA einzubeziehen. Von den Fachleuten am Workshop Lärm (vgl. Anhang A) wurde mehrfach betont, dass auch die kleinen Massnahmen, die „nur“ Veränderungen um z.B. 0.3 dB(A) bewirken, relevant seien.

²⁰⁴ Die folgenden Ausführungen basieren auf einem Mail von Herrn Höin vom 16.8.2007.

²⁰⁵ Lärmschutz-Verordnung (Nr. 814.41) von 1986 Stand 2006 (online: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/8/814.41.de.pdf>).

²⁰⁶ Der Beurteilungs-Emissionspegel L_r ergibt sich aus dem Mittelungspegel Leq und einer Pegelkorrektur K (vgl. EcoPlan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs, S. 16-17)

Neben diesem Hauptgrund wurde die Methode aber auch aus folgenden Gründen abgelehnt:

- Die Methode erfordert zusätzliche Inputdaten, nämlich die Veränderung der Fzkm auf Strassen mit einer Veränderung der Verkehrsmenge um mindestens den Faktor 1.25. Diese können zwar aus den Ergebnissen des Verkehrsmodells abgelesen werden, doch ist dazu eine gesonderte Auswertung der Ergebnisse nötig. Die in Kapitel 2.5 dargestellte Durchschnittskosten-Methode beruht jedoch auf der gesamten Veränderung der Fzkm, die im Rahmen einer KNA ohnehin benötigt werden. Damit sind dort keine zusätzlichen Auswertungen des Verkehrsmodells nötig.
- Die Methode kann zu Inkonsistenzen führen, wenn Projekte in Teilprojekte unterteilt werden und z.B. zwei Teilprojekte je eine Erhöhung der Verkehrsmenge auf derselben Strasse um 15% bewirken. Für beide Projekte würden also keine Lärmkosten berechnet. Für das Gesamtprojekt mit einer Zunahme der Verkehrsmenge um 30% würden hingegen Kosten entstehen.

10 Anhang C: Veränderung der Schadstoffemissionen über die Zeit

In Tabelle 10-2 und Tabelle 10-3 werden die Emissionsfaktoren für verschiedene Fahrzeugkategorien dargestellt. Für die Berechnung der Durchschnittswerte für den Personen- und Güterverkehr sowie den Gesamtverkehr wurden die Werte mit den Fzkm im Jahr 2000 gewichtet (vgl. Tabelle 10-1).

Tabelle 10-1: Fahrzeugkilometer im Jahr 2000

	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
Mio. Fzkm	49'585	197	102	1'999	51'883	3'792	2'689	6'481	58'364

PW = Personenwagen, Bus = Linienbus ÖV, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

Quelle: Ecoplan et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 127.

Tabelle 10-2: Veränderung der Emissionsfaktoren verschiedener Luftschadstoffe über die Zeit in g / Fzkm

PM₁₀ Motor	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.009	0.659	0.328	0.034	0.013	0.088	0.278	0.167	0.030
2005	0.009	0.409	0.225	0.032	0.012	0.072	0.193	0.122	0.024
2010	0.008	0.229	0.140	0.031	0.010	0.052	0.113	0.077	0.017
2015	0.008	0.135	0.086	0.030	0.009	0.036	0.072	0.051	0.014
2020	0.008	0.086	0.058	0.029	0.009	0.029	0.051	0.038	0.012
2025	0.008	0.065	0.048	0.028	0.009	0.026	0.042	0.033	0.012
2030	0.008	0.061	0.045	0.028	0.009	0.025	0.039	0.031	0.011

PM₁₀ Abrieb	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.041	0.399	0.189	0.016	0.042	0.041	0.180	0.099	0.048
2005	0.041	0.399	0.188	0.016	0.042	0.041	0.180	0.099	0.048
2010	0.041	0.399	0.187	0.016	0.042	0.041	0.181	0.099	0.048
2015	0.041	0.399	0.188	0.017	0.042	0.041	0.181	0.099	0.048
2020	0.041	0.399	0.187	0.017	0.042	0.041	0.180	0.099	0.048
2025	0.041	0.399	0.187	0.017	0.042	0.041	0.179	0.098	0.048
2030	0.041	0.399	0.187	0.017	0.042	0.041	0.178	0.098	0.048

PM₁₀ Total	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.050	1.058	0.517	0.050	0.055	0.129	0.458	0.266	0.078
2005	0.050	0.808	0.413	0.048	0.054	0.113	0.373	0.221	0.072
2010	0.049	0.628	0.327	0.047	0.052	0.093	0.294	0.176	0.066
2015	0.049	0.534	0.274	0.047	0.051	0.077	0.253	0.150	0.062
2020	0.049	0.485	0.245	0.046	0.051	0.070	0.231	0.137	0.060
2025	0.049	0.464	0.235	0.045	0.051	0.067	0.221	0.131	0.060
2030	0.049	0.460	0.232	0.045	0.051	0.066	0.217	0.129	0.059

NO_x	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.48	15.25	10.20	0.28	0.55	1.38	9.11	4.59	1.00
2005	0.32	12.84	8.73	0.29	0.38	1.11	7.68	3.84	0.77
2010	0.23	9.87	6.78	0.27	0.28	0.84	5.61	2.82	0.56
2015	0.18	7.19	4.74	0.25	0.22	0.63	3.90	1.99	0.41
2020	0.17	5.25	3.51	0.23	0.20	0.54	2.99	1.56	0.35
2025	0.17	4.24	3.02	0.22	0.19	0.51	2.59	1.37	0.32
2030	0.17	3.95	2.85	0.22	0.19	0.50	2.42	1.30	0.31

Zink	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2005	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2010	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2015	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2020	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2025	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021
2030	0.0014	0.0135	0.0135	0.0007	0.0015	0.0014	0.0152	0.0071	0.0021

PW = Personenwagen, Bus = Linienbus ÖV, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

Quellen: Alle Daten ausser Zink: BUWAL (2004), Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs bis 1980 – 2030, S. 80 – 81. Zink im Jahr 2000: UBA (2005), Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden, S. 65 und 69 (da es dort keine Daten zu Lieferwagen gibt, wurde angenommen, dass die Emissionen gleich sind wie beim PW (analog zum PM₁₀-Abrieb), die Ergebnisse zu Moped und Kraftrad bzw. Lastkraftwagen und Sattelzug wurden mit den entsprechenden Fzkm gewichtet in MR bzw. SNF umgerechnet). Da Zink vor allem durch Abrieb von Bremsbelägen und Reifen emittiert wird, gehen wir davon aus, dass die Zink-Emissionen sich in etwa wie die PM₁₀-Emissionen aus Abrieb verhalten, d.h. über die Zeit konstant sind.²⁰⁷

²⁰⁷ Auch in Deutschland wird scheinbar von konstanten Emissionsfaktoren ausgegangen: Aufgrund der erwarteten Zunahme der Fzkm wird von einem deutlichen Anstieg der Zinkemissionen gerechnet (UBA 2005, Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden, S. 77).

Tabelle 10-3: Veränderung der Emissionsfaktoren verschiedener Luftschadstoffe über die Zeit in Prozent (2000 = 100%)

PM₁₀ Motor	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	62%	69%	94%	91%	82%	69%	73%	80%
2010	89%	35%	43%	91%	76%	59%	41%	46%	58%
2015	89%	20%	26%	88%	73%	41%	26%	31%	47%
2020	89%	13%	18%	85%	70%	33%	18%	23%	41%
2025	89%	10%	15%	82%	69%	30%	15%	20%	39%
2030	89%	9%	14%	82%	69%	28%	14%	18%	38%

PM₁₀ Abrieb	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2010	100%	100%	99%	100%	100%	100%	101%	100%	100%
2015	100%	100%	99%	106%	100%	100%	101%	100%	100%
2020	100%	100%	99%	106%	100%	100%	100%	100%	100%
2025	100%	100%	99%	106%	100%	100%	99%	100%	100%
2030	100%	100%	99%	106%	100%	100%	99%	99%	100%

PM₁₀ Total	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	76%	80%	96%	98%	88%	81%	83%	92%
2010	98%	59%	63%	94%	94%	72%	64%	66%	84%
2015	98%	50%	53%	94%	94%	60%	55%	57%	80%
2020	98%	46%	47%	92%	93%	54%	50%	52%	77%
2025	98%	44%	45%	90%	93%	52%	48%	49%	76%
2030	98%	43%	45%	90%	93%	51%	47%	48%	76%

NO_x	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	67%	84%	86%	104%	70%	80%	84%	84%	77%
2010	48%	65%	66%	96%	51%	61%	62%	61%	57%
2015	38%	47%	46%	89%	40%	46%	43%	43%	42%
2020	35%	34%	34%	82%	36%	39%	33%	34%	35%
2025	35%	28%	30%	79%	35%	37%	28%	30%	33%
2030	35%	26%	28%	79%	35%	36%	27%	28%	32%

Zink	PW	Bus	Car	MR	Ø PV	Li	SNF	Ø GV	Ø PV und GV
2000	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2005	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2010	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2015	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2020	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2025	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2030	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

PW = Personenwagen, Bus = Linienbus ÖV, Car = Privatcar, MR = Motorrad, Li = Lieferwagen, SNF = Schwere Nutzfahrzeuge.

11 Anhang D: Berechnung des Kostensatzes für die Bodenversiegelung

Für die Berechnung des Kostensatzes zur Bewertung der Bodenversiegelung soll zuerst kurz erläutert werden, wie in der ARE-Studie²⁰⁸ die Kosten der Bodenversiegelung in der ganzen Schweiz bestimmt wurden.

Zuerst wurde in der ARE-Studie der Flächenverluste seit den 1950er bzw. 1960er Jahren ermittelt. Dabei wird nach 27 Biototypen unterschieden (vgl. Tabelle 11-3).²⁰⁹ Zudem werden die Flächen mit sogenannten Funktionalitätsfaktoren gewichtet.²¹⁰ Unter der Funktionalität werden die Funktionen verstanden, die eine Fläche (noch) erfüllen kann. Als Kriterien werden die Einbindung in das Umland und der Reifezustand verwendet (vgl. Tabelle 11-1). Die Funktionalitätsfaktoren selbst sind in Tabelle 11-2 dargestellt.

Tabelle 11-1: Definition der Kriterien zur Bestimmung der Funktionalitätsfaktoren

Kriterium	Definition
Einbindung in Umland gut	Freier Zugang zu anderen naturnahen Flächen (keine Verkehrswege oder Siedlungen dazwischen) auf mindestens der halben Länge des Umfangs
Einbindung in Umland schlecht	Freier Zugang zu anderen naturnahen Flächen (keine Verkehrswege oder Siedlungen dazwischen) auf weniger als der halben Länge des Umfangs
Reifezustand hoch	Flächen älter als die Hälfte des notwendigen Alters für den Reifezustand bzw. älter als die Hälfte der Entwicklungsdauer bis ein Biotop den Reifezustand erreicht (vgl. Tabelle 11-3). Wird ein Bereich angegeben, kann vom Mittelwert ausgegangen werden, z.B. für 6 – 30 Jahre von 18 Jahren.
Reifezustand klein	Flächen jünger als die Hälfte des notwendigen Alters für den Reifezustand

Tabelle 11-2: Funktionalitätsfaktoren

Funktionalitätsfaktoren	Einbindung in Umland schlecht	Einbindung in Umland gut
Reifezustand hoch	2/3	3/3
Reifezustand klein	1/3	2/3

²⁰⁸ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft.

²⁰⁹ Die Studie von Econcept und Nateco basiert auf den 25 in Tabelle 11-3 fett hervorgehobenen Habitatstypen sowie auf den Biotop-Nummern 4100 und 4400 (vgl. die folgenden Ausführungen im Haupttext). Sie erlaubt zudem, gewisse Habitatstypen weiter zu unterteilen und mit maximal 34 Habitatstypen zu rechnen.

²¹⁰ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 38.

Tabelle 11-3: Kostensätze und Entwicklungsdauern bis ein Biotop reif ist nach Biototyp

Codebereich	Code GIS	Biototyp	Einheit	Kosten pro Jahr in CHF/Einheit ¹	Entwicklungsdauer in Jahren
2000		Binnengewässer			
	2500	Stillgewässer	ha	23'302	6-30
		Temporäre Stillgewässer	ha	33'563	6-30
		Durchschnitt 2500: (Annahme: 80% Stillgewässer, 20% temp. Stillgewässer)	ha	25'354	6-30
	2400	Auenstillgewässer, Altwasser	ha (10 m breit, 1000 m lang)	48'372	50-100
	2200	Fließgewässer <2 m	100m (2m breit)	17'033	31-80
	2250	Fließgewässer > 2 m, Uferbereich (beide Seiten)	100m(2*50m)	8'516	31-80
3000		Moore, Sümpfe			
	3100	Hoch- u. Zwischenmoorstandorte		28'967	>150
	3220	Grosseggenried	ha	19'042	6-30
		Röhricht	ha	7'033	6-30
		Durchschnitt 3220: (Annahme: 40% Röhricht, 60% Grosseggenried)	ha	14'238	6-30
	3200	Niedermoore u. Sümpfe (gehölzfrei)		41'609	6-30
4000		Flächen der Landwirtschaft; Staudenfluren			
	4200	Grünland, strukturreiche Wiesen und Weiden (beweidetes extensives Grünland)	ha	3'935	0-10
		Trockenrasen/Halbtrockenrasen	ha	34'726	81-150
		Extensiv genutztes, frisches Grünland	ha	3'079	6-30
		Extensiv genutztes, nass-feuchtes Grünland	ha	8'512	6-30
		Durchschnitt 4200: (Annahme: 30% Wiesen und Weiden, 30% Trocken-/Halbtrocken-rasen, 30% frisches Grünland, 10% nass-feuchtes Grünland)	ha	13'373	
	4170	Ackerbrachen	ha	2'530	1-5
		Grünlandbrachen	ha	3'377	1-5
		Acker- u. Grünlandbrachen (Annahme: je 50%)	ha	2'953	1-5
	4470	Weinbrache (Alte Rebkulturen u. Rebbrachen)	ha	25'219	100
	4900	Böschungen <= 2 m Breite, Ackerrandstreifen	100m (2m breit)	79	
5000		Rohbodenstandorte			
	5400	Ruderalflächen	ha	9'070	
		Ruderalflur auf Kies, Sand, bindigem Substrat			3-20
		Boden- und Gesteinsaufschlüsse			?
		Sand-, Kies- u. Schotterflächen			20
		Strassen mit grünem Mittelstreifen			1
	5500	Steinriegel, Trockensteinmauern	100m (2m breit)	3'144	50
	5800	Fels		8'428	
6000		Bäume, Feldgehölze, Gebüsche			
	6100	Hecken, Feldgehölze, bachbegleitende Gehölzsäume	ha	20'586	80
	6220	Lebhag	2m breit * 100m lang	4'195	6-30
	6300	Baumreihe (Allee)	5m breit * 100m lang	1'805	60
	6400	Einzelbäume	St. (25m2)	130	50-150
	6500	(Alter) Streuobstbestand	ha	14'074	81-150
7000		Wälder			
	7001	Potenzielle Auenwälder	ha	14'967	>150
		Bruchwälder	ha	21'767	>150
		Durchschnitt 7001: (Annahme: 60% Auenwälder, 40% Bruchwälder)	ha	17'687	>150
	7100	Laubwälder	ha	12'567	>150
	7200	Nadelwälder	ha	12'567	50-100
	7300	Mischwälder	ha	12'567	>150
	7800	Waldmäntel (Annahme 5 m breiter Waldmantel)	100m (5m breit)	4'949	80
	7002	Waldweide (nur in eindeutigen Fällen)	ha	9'740	100

Quelle: Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 44 und 51 sowie eigene Umrechnung der Kosten auf Faktorkosten, d.h. Herausrechnen der MWST von 7.5%, die gemäss Econcept und Nateco (2004, S. 51) in den Zahlen enthalten ist.

¹ Die Daten beruhen auf einem realen Diskontsatz von 3% (Econcept und Nateco 2004, S. 33). In einer KNA wird jedoch nur im Rahmen der Sensitivität mit einem Diskontsatz von 3% gerechnet, während der normale Wert 2% beträgt (SN 641 821 (2006), Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz). Zudem wird ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren unterstellt, während in einer KNA standardmässig von einem Betrachtungszeitraum von 40 Jahren ausgegangen wird (SN 641 820, Ziffer 13). Dadurch entsteht zwar eine methodische Ungenauigkeit, deren Behebung würde aber im Vergleich zur Kostenrelevanz einen unverhältnismässigen Aufwand verursachen: Die gesamten umfassenden Berechnungen in Anhang A-6 (Econcept und Nateco 2004, S. A-33 – A-67) müssten neu erstellt werden, da nicht alle Kostenarten gleich auf diese Veränderungen reagieren (teilweise Kosten am Anfang, teilweise regelmässig wiederkehrende Kosten).

Schliesslich werden die so bestimmten (mit den Funktionalitätsfaktoren korrigierten) Flächen mit den in Tabelle 11-3 angegebenen Kostensätzen monetarisiert (die Bestandteile dieser Kostensätze werden in Kapitel 6.3.1 erläutert). Für die Bestimmung der Kostensätze wurde davon ausgegangen, dass Ackerland, intensives Kulturland, fette Dauerweiden, intensive Weiden und Weinbauflächen (Biotop-Nummern 4100 und 4400) die Ausgangsbiopte für den Ersatz bilden.²¹¹ Entsprechend können für diese Biotope keine Ersatzkosten berechnet werden. Folglich fliesst ihr Wert nur über den Landpreis in die KNA ein. Wie Tabelle 11-3 zeigt, schwanken die jährlichen Kosten je nach Biotoptyp zwischen 2'500 und 48'400 CHF / ha (wobei wie erwähnt intensiv genutzte Flächen einen Wert von Null erzielen).²¹²

Das dargestellte Vorgehen von Econcept und Nateco erlaubt im Prinzip eine sehr differenzierte Berechnung nach verschiedenen Biotoptypen. Experten des BAFU (Sektion Boden) raten jedoch von einer solch differenzierten Betrachtung ab: Denn jeder Boden nimmt wichtige Funktionen wahr (Nährstoff- und Wasserspeicher, Abbau von Schadstoffen, CO₂-Senke, Wasserreinigung). Deshalb wäre insbesondere die Bewertung der intensiven Kulturfleichen mit einem Kostensatz von Null störend, da auch diese wichtige Funktionen wahrnehmen und ihre Versiegelung somit einen Schaden verursacht. Eine Differenzierung nach einzelnen Biotoptypen gemäss den Ersatzkosten würde also nicht der Bedeutung der Böden für den Naturhaushalt entsprechen. Folglich wird auf eine differenzierte Betrachtung nach Biotoptypen verzichtet und eine Durchschnittsmethode vorgeschlagen, in der jeder Biotoptyp gleich bewertet wird.

Für diese Durchschnittsmethode benötigen wir einen durchschnittlichen Kostensatz pro Hektare. Dazu wird ein gewichteter Durchschnittswert aus den Kostensätzen nach Biotopstypen (vgl. Tabelle 11-3) verwendet. Als Gewicht für die verschiedenen Biotoptypen dienen die Flächenverluste seit den 1950er bzw. 1960er Jahren, die von Econcept und Nateco berechnet wurden.²¹³ Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher Kostensatz²¹⁴ von **2'800 CHF pro Hektare pro Jahr**.²¹⁵

²¹¹ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 42 – 43.

²¹² In Tabelle 11-3 werden nur die mittleren Kostensätze aus Econcept und Nateco (2004, S. 51) übernommen. Econcept und Nateco geben aber auch Schwankungsbreiten an, d.h. minimale und maximale Kosten (ca. ±30%). Mit diesen Kostensätzen könnte eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. In der SN 641 820 (Ziffer 64) ist jedoch vorgesehen, dass für viele unsichere Parameter keine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wird, weil der Einfluss dieser Annahmen auf das Gesamtergebnis zu gering ist. Da die Bodenversiegelung meist nur ein sehr unbedeutender Indikator ist (vgl. Kapitel 6.1), wird auf eine Sensitivitätsbetrachtung verzichtet.

²¹³ Econcept und Nateco (2004), Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft, S. 41. Dabei werden nur die Biotopstypen berücksichtigt, die in ha gemessen werden (vgl. Tabelle 11-3).

²¹⁴ Es ist zu betonen, dass dieser Durchschnittswert unter Einbezug der Biotope Ackerland, intensives Kulturland, fette Dauerweiden, intensive Weiden und Weinbauflächen (Biotop-Nummern 4100 und 4400) ermittelt wurde, die einen Kostensatz von Null haben und 77% der überbauten Fläche ausmachen. Damit müssen diese Biotoptypen bei der Ermittlung des Mengengerüsts nicht ausgeschieden werden, was die Aufgabe vereinfacht.

²¹⁵ Eigentlich ergibt sich ein jährlicher Kostensatz von 4'200 CHF / ha. Dieser gilt aber für eine Fläche mit Funktionalitätsfaktor 1 (vgl. Tabelle 11-2). Um die Bewertung weiter zu vereinfachen, soll auch die Erhebung des Funktionalitätsfaktors nicht nötig sein. Deshalb unterstellen wir einen durchschnittlichen Funktionalitätsfaktor von 2/3.

Literaturverzeichnis

ASTRA Bundesamt für Strassen (2003)

NISTRA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte. Ein Instrument zur Beurteilung von Strasseninfrastrukturprojekten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeitsziele. Methodenbericht. Bern.

ASTRA (2004)

Richtlinie Lüftung der Strassentunnel. Systemwahl, Dimensionierung und Ausstattung. Ausgabe 2004 – V1.2. Bern. Online im Internet:
http://www.astra2.admin.ch/media/pdfpub/2004-12-22_2371_d.pdf (18.7.2007).

BAV Bundesamt für Verkehr (2006)

NIBA: Nachhaltigkeitsindikatoren für Bahninfrastrukturprojekte. Leifaden zur Bewertung von Projekten im Schienenverkehr. Erarbeitet von Ernst Basler und Partner. Zürich und Bern.

Banfi S., Filippini M., Horehájová A., Pióro D. (2007)

Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität am Wohnort. Schätzungen für die Städte Zürich und Lugano für die Bereiche Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Elektromog von Mobilfunkantennen. Umwelt-Wissen Nr. 0717. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Bdz Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Cemsuisse Verband der Schweizerischen Zementindustrie, VÖZ Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie (2006)

Strassenverkehrslärm: Erkenntnisse und Minderungsmöglichkeiten. Online im Internet:
http://www.cemsuisse.ch/file/update_1_06_CH_de.pdf (13.6.2007).

BEW Bundesamt für Energiewirtschaft (1997)

Empfehlung für energetische Wirtschaftlichkeitsrechnungen mit Einbezug der externen Kosten. Bern.

BFE Bundesamt für Energie (2007)

Die Energieperspektiven 2035 – Band 1. Synthese. Modellrechnungen, Vergleiche, Bewertungen und Herausforderungen. Bern.

BfK Bundesamt für Konjunkturfragen (1994)

Erhebung des Elektrizitätsverbrauchs bestehender Strassentunnel. Materialien zu RAVEL. Online im Internet:
www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_987589009.PDF (18.7.2007).

BfS Bundesamt für Statistik (2004)

Schweizerischer Baupreisindex. Oktober 1998 = 100. Neuenburg. Online:
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/news/publikationen.Document.26280.pdf> (4.7.2006).

- BfS Bundesamt für Statistik (2006)
Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz 2005–2050. Neuenburg. Online:
http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/lexikon/bienvenue___login/blank/zugang_lexikon.Document.83713.pdf (12.6.2007).
- BfS Bundesamt für Statistik (2007)
Statistisches Jahrbuch der Schweiz 2007. Neuenburg.
- bfu (Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung) (2005)
Unfallgeschehen in der Schweiz. Bfu-Statistik 2005. Bern.
- Bickel P., Schmid S., Friedrich R., Maibach M., Doll C., Tzervonen J., Enei R. (2000)
Accounts Approach for Environmental Costs. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Interim Report 9.2. Funded by 5th Framework RTD Programme. IER, University of Stuttgart, Stuttgart.
- Bickel P., Burgess A., Hunt A., Laird J., Lieb Ch., Lindberg G., Odgaard Th. (2005)
HEATCO D2: State-of-the-art in project assessment. Deliverable 2 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment).
- Bickel P., Hunt A., De Jon G., Laird J., Lieb Ch., Lindberg G., Mackie P., Navrud S., Odgaard Th., Shies J., Tavasszy L. (2006)
HEATCO D5: Proposal for Harmonized Guidelines. Deliverable 5 of HEATCO (Developing Harmonized European Approaches for Transport Costing and Project Assessment). Online im Internet: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/> (25.1.2007).
- Blöchliger H. and Jäggin B. (1996)
Der Wert der Artenvielfalt im Jura. Study on behalf of the Stiftung Mensch – Gesellschaft – Umwelt of the University of Basle.
- Bundesversammlung – Das Schweizer Parlament (2007)
CO₂-Abgabe. Online im Internet: <http://www.parlament.ch/do-co2-umsetzung-in-kuerze> (7.6.2007).
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1995)
Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950-2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt , Wald und Landschaft (1998)
Wirtschaftliche Tragbarkeit und Verhältnismässigkeit von Lärmschutzmassnahmen, Schriftenreihe Umwelt Nr. 301, Bern.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (2001)
Luftreinhaltung bei Bautransporten. Online im Internet:
<http://www.bafu.admin.ch/php/modules/shop/files/pdf/phpd5JYud.pdf> (17.8.2007).
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (2003)
Modelling of PM₁₀ and PM_{2.5} ambient Concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No. 169. Bern. Online:
<http://www.bafu.admin.ch/luft/00649/01960/index.html?lang=de> (4.7.2007).

- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (2004)
Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030. Schriftenreihe Umwelt Nr. 355. Bern.
- COWI, ITS (Odgaard Th., Kelly Ch., Laird J.) (2005)
Current practice in project appraisal in Europe. European Commission ED-DG TREN: HEATCO Deliverable 1. HEATCO: Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment.
- CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis, NEI Netherlands Economic Institute (2000)
Evaluation of infrastructural projects; Guide for cost-benefit analysis. Section I: Main Report / Section II: Capita Selecta. Research Programme on the economic Effects of Infrastructure. Rotterdam.
- Econcept, Nateco (2004)
Externe Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft. Monetarisierung der Verluste und Fragmentierung von Habitaten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumplanung, des Bundesamtes für Strassen und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Ecoplan (2002)
Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz 1998. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Statistik. Altdorf.
- Ecoplan, Infrac, ISPM (Institut für Sozial- und Präventivmedizin) (2004)
Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.
- Ecoplan, Planteam, IHA-ETH (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie) (2004)
Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2000. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Bern.
- Ecoplan (2005)
Bewertungsmethode für die Priorisierung von Projekten im Schienenverkehr. Einbezug Güterverkehr und Vereinfachung. Bern.
- Ecoplan, metron (2005)
Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Kommentar zum Entwurf der VSS-Grundlagennorm SN 641 820. Forschungsauftrag VSS 2000/342 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Bern und Brugg.
- Ecoplan (2005)
Bilanz der NISTRA-Pilotanwendungen. Auswertung der ersten Anwendungen von NISTRA (Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte). Bern.

Ecoplan (2006)

Environmental costs in sensitive areas. GRACE – Task 1.7. Background report im Auftrag der Europäischen Kommission. GRACE (Generalisation of Research on Accounts and Cost Estimation). Funded by Sixth Framework Programme. Bern.

Ecoplan (2007)

Handbuch eNISTRA. eNISTRA – ein Tool für zwei sich ergänzende Methoden von Strasseninfrastrukturprojekten: NISTRA – Nachhaltigkeitsindikatoren von Strasseninfrastrukturprojekten und KNA – Kosten-Nutzen-Analyse gemäss VSS-Norm SN 641 820. Handbuch für die Version eNISTRA 2006.2. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA. Bern und Altdorf.

Ecoplan (2007)

Die Energieperspektiven 2035 – Band 3. Volkswirtschaftliche Auswirkungen. Ergebnisse des dynamischen Gleichgewichtsmodells, mit Anhang über die externen Kosten des Energiesektors. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern.

Ecoplan (2007)

Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Bundesamtes für Energie (BFE). Bern.

Emch + Berger AG (2000)

Kreativphase Axen. Zürich.

EWS Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung (1997)

Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen EWS. Aktualisierung der RAS-W'86. Köln.

EWS Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsplanung (1997)

Kommentar zum Entwurf Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Strassen EWS. Aktualisierung der RAS-W'86. Köln.

Finegold L.S., Harris C.S., von Gierke H.E. (1994)

Community Annoyance and Sleep Disturbance: Updated Criteria for Assessing the Impacts of General Transportation Noise on People. In: Noise Control Engineering Journal, Nr. 42 (1), S. 25-30.

Friedrich Rainer, Bickel Peter (2001)

Environmental External Costs of Transport. Springer. Berlin.

Grêt-Regamey, Adrienne, Bishop Ian D., Bebi Peter (2007)

Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region through the use of GIS. In: Environment and Planning B: Planning and Design 34 (1), S. 50 – 67. Online im Internet:
<http://www.nfp48.ch/projekte/projectdocs/18/GretEPB.pdf> (26.7.2007).

Infraconsult (1999)

Kosten und Nutzen im Natur- und Landschaftsschutz. Monetarisierungs- und Beurteilungsmodell für Schutzmassnahmen im Verkehr. Bericht C1 des Nationalen Forschungsprogramms NFP 41 Verkehr und Umwelt. Bern.

Infras, Econcept, Prognos (1996)

Die Vergessenen Milliarden. Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich. Verlag Paul Haupt. Bern, Stuttgart, Wien.

Infras, IWW (2000)

External Costs of Transport. Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe. Studie im Auftrag der International Union of Railways. Paris 2000.

Infras, Wüest & Partner (2004)

Verkehrsbedingte Gebäudeschäden. Aktualisierung der externen Kosten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Bundesamtes für Energie sowie des Bundesamtes für Gesundheit. Zürich.

Infras (2006)

Externe Kosten des Strassen und Schienenverkehrs 2000. Klima und nicht erfasste Umweltbereiche sowie vor- und nachgelagerte Prozesse. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Zürich.

Infras (2007)

Zukunft des Trolleybusbetriebs. Schlussbericht. Studie im Auftrag der Verkehrsbetriebe Schaffhausen. Zürich. Online im Internet: http://www.vbsh.ch/pdf/infras_tb_27-03-2007.pdf (26.6.2007).

Krewitt, Wolfgang, Schlomann, Barbara (2006)

Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Gutachten im Auftrag des BMU.

Lehmann Jürgen (1999)

Kurzberichte aus den Obusbetrieben in Deutschland. Online im Internet: <http://de.geocities.com/gile1967/okb38.pdf> (26.6.2007).

Link Heike, Stewart Louise Helen, Doll Claus, Bickel Peter, Schmid Stephan, Friedrich Rainer, Krüger Roland, Droste-Frank Bert, Krewitz Wolfgang (2001)

The Pilote Accounts for Germany. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working. Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.

Marheineke Thorsten (IER Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart) (2002)

Lebenszyklusanalyse fossiler, nuklearer und regenerativer Stromerzeugungstechniken. Forschungsbericht. Stuttgart.

Miedema H.M.E., Oudshoorn G.M. (2001)

Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. In: Environmental Health Perspectives, Vol. 109, Nr. 4, S. 409-416.

- Müller-Wenk Ruedi, Hofstetter Patrick (2003)
Monetarisierung verkehrslärmbedingter Gesundheitsschäden. Umwelt-Materialien Nr. 166. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Navrud Stale (2002)
The State of the Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment 14th April 2002.
- Nellthorp John, Sansom Tom, Bickel Peter, Doll Claus, Lindberg Gunnar (2001)
Valuation Convention for UNITE. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds, April 2001.
- Nitsch Joachim et al. (DLR, ifeu, Wuppertaler Institut für Klima, Umwelt und Energie) (2004)
Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FKZ 901 41 803. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal.
- Planergemeinschaft WEN Ernst Basler + Partner, Transitec, Ecoplan (2007)
Handbuch WENIS. Bewertung von Nationalstrassen-Infrastrukturprojekten. Handbuch zum Excel-Tool eWENIS (Weiterentwicklung des Nationalstrassennetzes Indikatorensystem). Bern.
- Prognos (2007)
Die Energieperspektiven 2035 – Band 4. Exkurs CO2-Emissionshandel, Joint Implementation (JI) und Clean Development Mechanism (CDM). Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern.
- Reichelt Peter (2004)
Research association "Quiet Road traffic". Beitrag zur Konferenz Internoise 04, 22-25 August 2004, Prag. Online im Internet: <http://www.fv-leiserverkehr.de/> (13.6.2007).
- Richtlinie 2002/49/EG (2002)
des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.
- SBV (Schweizer Baumeisterverband) (2007)
Schweizer Bauwirtschaft. Zahlen und Fakten 2006. Online im Internet: http://www.baumeister.ch/html_sbv/4publikationen/image_publi/zahlen-und-fakten06_d.pdf (4.9.2007).
- Seco Staatssekretariat für Wirtschaft (2007)
Die Volkswirtschaft. Das Magazin für Wirtschaftspolitik. Zeitschrift (erscheint 10 mal pro Jahr). Bern.
- Simmen Helen, Walter Felix, Marti Michael (2006)
Den Wert der Alpenlandschaften nutzen. Thematische Synthese zum Forschungsschwerpunkt IV «Raumnutzung und Wertschöpfung» des Nationalen Forschungsprogrammes 48 „Landschaften und Lebensräume der Alpen“ des Schweizerischen Nationalfonds SNF. Altdorf und Bern. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

- SN 506 480 (2004)
Wirtschaftlichkeitsrechnungen für Investitionen im Hochbau. Norm des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins.
- SN 641 820 (2006)
Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Grundnorm. Norm des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Zürich.
- SN 641 821 (2006)
Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz. Norm des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute. Zürich.
- SNB Schweizerische Nationalbank (2007)
Statistisches Monatsheft 2007. Online im Internet:
http://www.snb.ch/d/publikationen/publi.html?file=/d/publikationen/monatsheft/aktuelle_publication/html/d/inhaltsverzeichnis.html (6.3.2007).
- Steven Heinz (2000)
Minderungspotenziale beim Straßenverkehrslärm. Tagung Lärmkongress 2000. Online im Internet: <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/381/06.pdf> (13.6.2007).
- Suter S., Sommer H., Marti M., Wickart M., Schreyer C., Peter M., Gehrig S., Maibach M., Wüthrich P., Bickel P. Schmid S. (2001)
The Pilote Accounts of Switzerland – Appendix Report. UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency). Deliverable 5. Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds, Leeds.
- Tangerini Alexandre, Soguel Nils (2004)
Evaluation monétaire de la qualité du paysage. Working Paper of the IDHEAP 6 / 2004. Online im Internet: http://www.nfp48.ch/projekte/projectdocs/26/WP_6_2004.pdf (25.7.2007).
- Tangerini Alexandre, Pictet Jacques, Soguel Nils (2006)
Using A Multiple Criteria Decision Analysis Approach for Landscape Quality Assessment. Working paper de l'IDHEAP 17/2006. Online im Internet:
[http://www.idheap.ch/idheap.nsf/view/9FE551DE85AFBD9BC125725E005BFD02/\\$File/WP%20final%20english%20Landscape.pdf](http://www.idheap.ch/idheap.nsf/view/9FE551DE85AFBD9BC125725E005BFD02/$File/WP%20final%20english%20Landscape.pdf) (25.7.2007).
- UBA Umweltbundesamt Berlin und BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (2004)
Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA). Version 2.1. Berlin, Bern.
- UBA Umweltbundesamt Berlin (2005)
Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externen Umweltkosten. Entwurf Stand Juli 2005.
- UBA Umweltbundesamt Berlin (2007)
Ökonomische Bewertung von Umweltschäden. Methodenkonvention zur Schätzung externen Umweltkosten. Online im Internet:
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf> (2.10.2007).

UBA Umweltbundesamt (2005)

Einträge von Kupfer, Zink und Blei in Gewässer und Böden: Analyse der Emissionspfade und möglicher Emissionsminderungsmaßnahmen. Texte 19/05. Forschungsbericht 202 242 20/02. UBA-FB 000824. Dessau. Online im Internet:
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2936.pdf> (26.6.2007).

Walter Felix (2001)

Nachhaltige Mobilität. Impulse des NFP41 "Verkehr und Umwelt". Synthesebericht S10. Studie im Auftrag des Schweizerischen Nationalfonds.

Watkiss P., Anthoff D., Downing T., Hepburn C., Hope C., Hunt A., Tol R. (2005)

The Social Cost of Carbon (SCC) Review – Methodological Approaches for Using SCC Estimates in Policy Assessment. Final Report November 2005. Research on behalf of UK Defra.