

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,  
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

étude

are...

Bundesamt für Raumentwicklung  
Office fédéral du développement territorial  
Ufficio federale dello sviluppo territoriale  
Federal Office for Spatial Development

**Verkehrsbedingte  
Gebäudeschäden in der Schweiz**

Aktualisierung der externen  
Kosten 2000

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **Aufdatierung der Externen Kosten als Auftrag des UVEK**

Mit dem Bundesgesetz zur leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (1997) ist der Bund verpflichtet, die externen Kosten periodisch aufzudatieren. Weil sich die letzten aktuellen Schätzungen für die Schweiz auf den Zeitpunkt 1993 beziehen, hat das UVEK eine umfassende Aktualisierung der Kostenschätzungen in Auftrag gegeben. Die vorliegende Studie befasst sich mit den Gebäudeschäden durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung und aktualisiert die Studie von 1992 (INFRAS). Dabei werden sowohl die Wertgerüste (Analyse des Zusammenhangs Luftverschmutzung-Gebäudeschäden, Kostensätze) als auch die Mengengerüste (exponierte Gebäudehülle) neu erfasst. Die Studie bezieht sich auf die Gebäudeschäden für den Zeitpunkt 2000, die sich folgendermassen zusammensetzen:

- › Effektiv getätigte Renovationsaufwendungen infolge erhöhter Renovationsstätigkeit an verkehrsbelasteten Standorten,
- › Kosten aufgrund einer Verschlechterung des Fassadenzustandes an und abseits von verkehrsbelasteten Standorten, ohne direkte Renovationsfolge. Die dadurch entstehende Verkürzung der Lebensdauer führt zu zusätzlichen Kapitalkosten.
- › Erhöhte Reinigungsaufwendungen an verkehrsbelasteten Standorten.

Die Studie bezieht sich auf Kosten an Gebäudefassaden. Nicht berücksichtigt sind allfällige Schäden an Kunst- und Baudenkmälern.

### **Analyse der empirischen Evidenz**

Bereits die Studie 1992 hat mit Hilfe von empirischen Auswertungen eines spezifischen Datensatzes von Wüest&Partner den Zusammenhang zwischen Luftbelastung und erhöhter Renovations- und Reinigungstätigkeit analysiert. Der Zusammenhang – das haben auch weitere Studien im Ausland gezeigt – lässt sich statistisch nur schwach nachweisen, weil die Luftbelastung nur einer von vielen Einflussfaktoren für die Gebäudebewirtschaftung ist. Aus diesem Grund sind in dieser Studie neben einer Auswertung der Literatur auch Expertenbefragungen und eigene vertiefte Datenauswertungen vorgenommen worden. Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Elemente:

<b>ANSÄTZE ZUR ERMITTLUNG DER VERSCHIEDENEN GEBÄUDESCHADENSKOSTEN</b>		
<b>Kostenart</b>	<b>Verkehrsbelastete Gebiete</b>	<b>Nicht Verkehrsbelastete Gebiete</b>
Verkürzung der Renovationszyklen	Analyse der Renovationstätigkeit und Ermittlung der Renovationsquoten an und abseits von Hauptachsen auf Basis eines Datensatzes von Wüest&Partner	Per definitionem: Keine Zusatzkosten
Verkürzung der Lebensdauer der Fassade	Analyse des Zusammenhangs zwischen Luftbelastung und Fassadenzustandes auf Basis eines Datensatzes von Wüest&Partner	
Berechnungsansatz Reinigungskosten	Analyse der Reinigungsfrequenzen an Verkehrshauptachsen im Vergleich zu Nebenstrassen und Ermittlung der Reinigungskostensätze mit Hilfe detaillierter Expertenbefragungen.	Annahme: Keine Zusatzkosten

**Tabelle Z-1:** Multimethodenansatz zur Ermittlung der Gebäudeschadenskosten in Verkehrsbelasteten und nicht Verkehrsbelasteten Gebieten. Der Datensatz von Wüest&Partner umfasst insgesamt ca. 3'000 Gebäude an repräsentativen Standorten der Schweiz.

Die Ergebnisse dieser Analysearbeiten können folgendermassen zusammengefasst werden:

- › Im Unterschied zu früheren Arbeiten wird heute allgemein anerkannt, dass PM10 (Feinstaubpartikel) der neue Leitschadstoff ist. Die Emissionen von kleinen Partikeln führen insbesondere zu Verschmutzung und mittelbar zur Korrosion von Bauteilen.
- › Die Renovationstätigkeit ist an verkehrsbelasteten Standorten höher als an nicht exponierten Standorten. Die aktualisierte Analyse ergibt eine um 0.5% höhere Renovationsquote. Diese ist allerdings deutlich geringer als die Ergebnisse der bisherigen Studie (1.2% INFRAS 1992). Dies lässt sich unter anderem durch die gesunkene Belastung erklären. In den letzten 10 Jahren sind die PM10-Immissionen um 30-40%, die NO<sub>x</sub>-Immissionen um 40-50% und die SO<sub>2</sub>-Immission um 60-70% gesunken.
- › Es lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen PM10-Emissionen<sup>1</sup> und Fassadenzustand feststellen: Je höher die Belastung, desto grösser die Wahrscheinlichkeit, dass der Fassadenzustand (unabhängig vom Alter des Gebäudes) als schlecht bezeichnet werden muss. Die folgende Tabelle zeigt die Umrechnung auf die einzelnen Raumtypen:

<sup>1</sup> Die PM10-Belastung stammt aus den aktuellen offiziellen Katasterschätzungen (Hektarraster BUWAL). Daraus lassen sich auch die Verkehrsanteile ableiten.

<b>VERKÜRZUNG DER FASSADEN-LEBENSDAUER</b> RESULTAT DER EMPIRISCHEN AUSWERTUNGEN				
<b>Agglomerations- typ</b>	<b>Durchschnittli- che jährliche PM10 Immissio- nen</b>	<b>Zeitraum, bis ein renovationsbedürf- tiger Fassadenzu- stand erreicht wird</b>	<b>Durchschnittli- che Lebenser- wartung Fassa- den</b>	<b>Verkürzung der Lebens- dauer in Jahren</b>
<i>Einheit</i>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	<i>Jahre</i>	<i>Jahre</i>	<i>Jahre</i>
1. Metropolen	22.0	31.7	45	13.3
2. Agglomerationen von Metropolen	18.6	37.5	45	7.5
3. Kerngemeinden innerhalb Metropo- litanräumen	17.6	39.5	45	5.5
4. Sonstige Agglo- meration innerhalb Metropolitanräu- men	16.4	42.5	45	2.5
Übrige Gebiete	10.9 - 7.2	63.9 - 49.2	45	-

**Tabelle Z-2** In dicht besiedelten und belasteten Gebieten lässt sich aufgrund des verschlechterten Fassadenzustandes eine Verkürzung der Lebensdauer ermitteln.

- › Die verschiedenen Expertenbefragungen untermauern diese empirischen Befunde auf der qualitativen Ebene. Allerdings ist festzuhalten, dass für die Gebäudeexperten die Luftverschmutzung in den letzten 10 Jahren deutlich an Bedeutung verloren hat. Dazu beigetragen hat auch, dass heute praktisch keine Belastungen von Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) mehr auftreten, die sich früher besonders aggressiv auf wertvolle Sandsteinfassaden wie auch auf Spenglerbleche und Kunststoffe ausgewirkt haben.
- › Die Befragung von diversen Reinigungsinstituten hat deutlich gemacht, dass der Reinigungsaufwand an verkehrsbelasteten Standorten höher ist. Grund dafür ist die erhöhte Verschmutzung. Dieser Zusammenhang lässt sich nur grob in Form von erhöhten Reinigungsfrequenzen quantifizieren.

### **Hochrechnung auf die Schweiz: Das Vorgehen**

Mit diesen empirisch verwertbaren Grundlagen lässt sich eine Hochrechnung auf die Schweiz vornehmen. Das Vorgehen umfasst mehrere Schritte:

1. Das Mengengerüst basiert auf der Gebäudedatenbank von Wüest&Partner. Diese umfasst alle Gebäudefassadenflächen differenziert nach wichtigen Materialtypen und kann als solide empirische Basis bezeichnet werden. Die Gebäude werden unterschieden nach verschiedenen Raumtypen, um der Immissionsbelastung besser Rechnung tragen zu können.

2. Die Kostensätze für einzelne Tätigkeiten werden mit einer Befragung von Fachleuten aktualisiert. Im Zentrum stehen bauteilspezifische Kosten für Erstellungs-, Renovations- und Reinigungstätigkeiten pro Flächeneinheit.
3. Die Renovationskosten an verkehrsbelasteten Standorten werden auf Basis der erhöhten Renovationstätigkeit (verkürzte Renovationszyklen), der verkehrsbelasteten Fassadenfläche und den Kostensätzen für die Renovationstätigkeiten berechnet. Die Kosten werden vollständig dem Verkehr zugerechnet.
4. Die erhöhten Kapitalkosten infolge der verkürzten Lebensdauer der Fassadenfläche unter Einfluss von Schadstoffimmissionen werden auf Basis von Immissionskatasterdaten, der nicht verkehrsbelasteten Fassadenfläche und Kostensätzen für Erstellung von Fassadenbauteilen berechnet. Diese Kosten werden dem Verkehr und anderen Quellen zugerechnet.
5. Die Reinigungskosten an verkehrsbelasteten Standorten werden auf Basis der exponierten Fenster- und Glas/Metall-Fassaden-Fläche und spezifischen Kosten für die Reinigungstätigkeiten hochgerechnet.
6. Die Zuteilung der Schäden zu den einzelnen Quellen und Verkehrsträgern erfolgt in einem ersten Schritt auf Basis der Immissionsanteile differenziert nach Raum- bzw. Agglomerationstyp und in einem zweiten Schritt dann gemäss deren Emissionsanteilen an PM10.

### Resultate: Gesamtkosten Schweiz

Die folgende Tabelle zeigt die resultierenden Kosten für die Schweiz nach Kostenarten und Hauptquellen. Sie belaufen sich auf insgesamt 546 Mio. CHF im Zeitpunkt 2000.

<b>GEBÄUDESCHÄDEN SCHWEIZ NACH KOSTENARTEN UND HAUPTQUELLEN</b>			
MIO. CHF 2000			
<b>Kostenart</b>	<b>Verkehr</b>	<b>Übrige Quellen</b>	<b>Total</b>
Zusätzliche Renovationskosten an verkehrsbelasteten Standorten	141	-	141
Zusatzkosten infolge Verkürzung der Lebensdauern der Fassaden	77	281	358
Zusätzliche Reinigungskosten	47	-	47
<b>Total</b>	<b>265</b>	<b>281</b>	<b>546</b>

**Tabelle Z-3** Der Verkehrsanteil an den Gesamtschäden beträgt 49%.

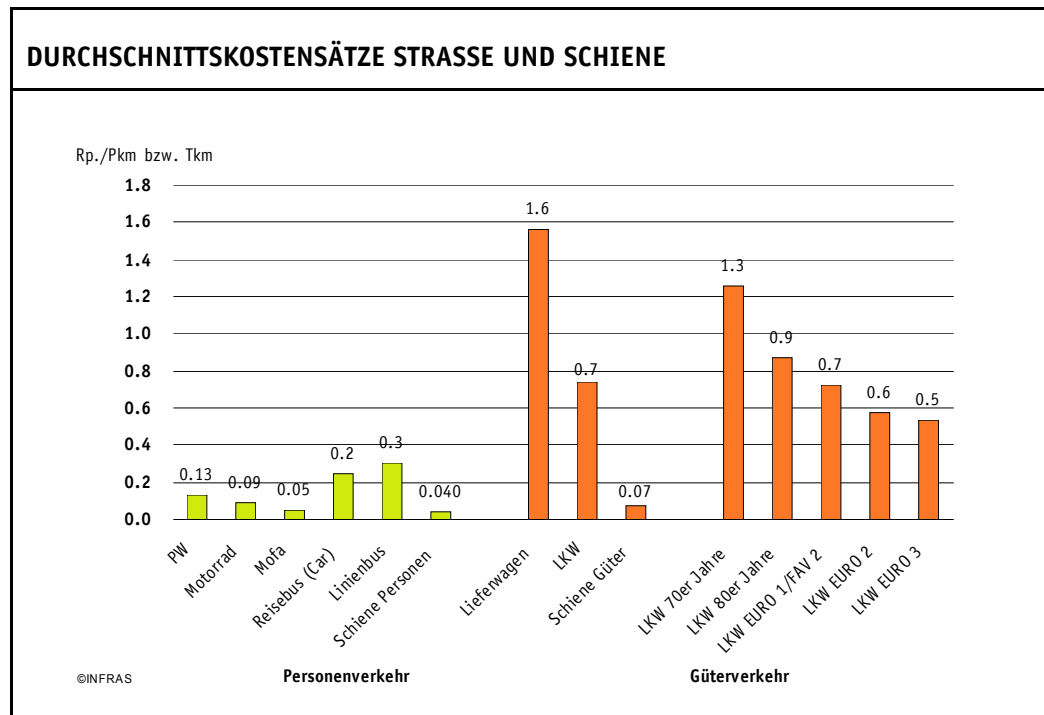
Die verkehrsbedingten Gebäudeschäden belaufen sich auf 265 Mio. CHF pro Jahr (2000). Der grösste Teil der Kosten fällt in den Metropolen und den Agglomerationen an. Die folgende Tabelle zeigt die Aufteilung nach Verkehrsträger und Raumtyp. Aufgrund der Partikelemissionen der Schiene (durch Abrieb Rad-Schiene, Bremsabrieb, Fahrleitungsabrieb und Aufwirbelung) entstehen auch geringe Kosten im Schienenverkehr.

<b>GESAMTKOSTEN 2000 DIFFERENZIERT NACH AGGLOMERATIONSTYP UND VERKEHRSTRÄGER</b>					
<b>Gemeindetyp</b>	<b>Strasse Personenverkehr</b>	<b>Strasse Güterverkehr</b>	<b>Schiene</b>	<b>Luft</b>	<b>Kosten total pro Jahr</b>
<i>Einheit</i>	<i>Mio. CHF</i>	<i>Mio. CHF</i>	<i>Mio. CHF</i>	<i>Mio. CHF</i>	<i>Mio. CHF</i>
Stadt	62.3	53.2	7.0	2.5	<b>125</b>
Agglomeration	52.3	49.5	5.6	2.6	<b>110</b>
Land	14.4	13.9	1.3	0.2	<b>30</b>
<b>Total</b>	<b>129.1</b>	<b>116.6</b>	<b>14.0</b>	<b>5.3</b>	<b>265</b>

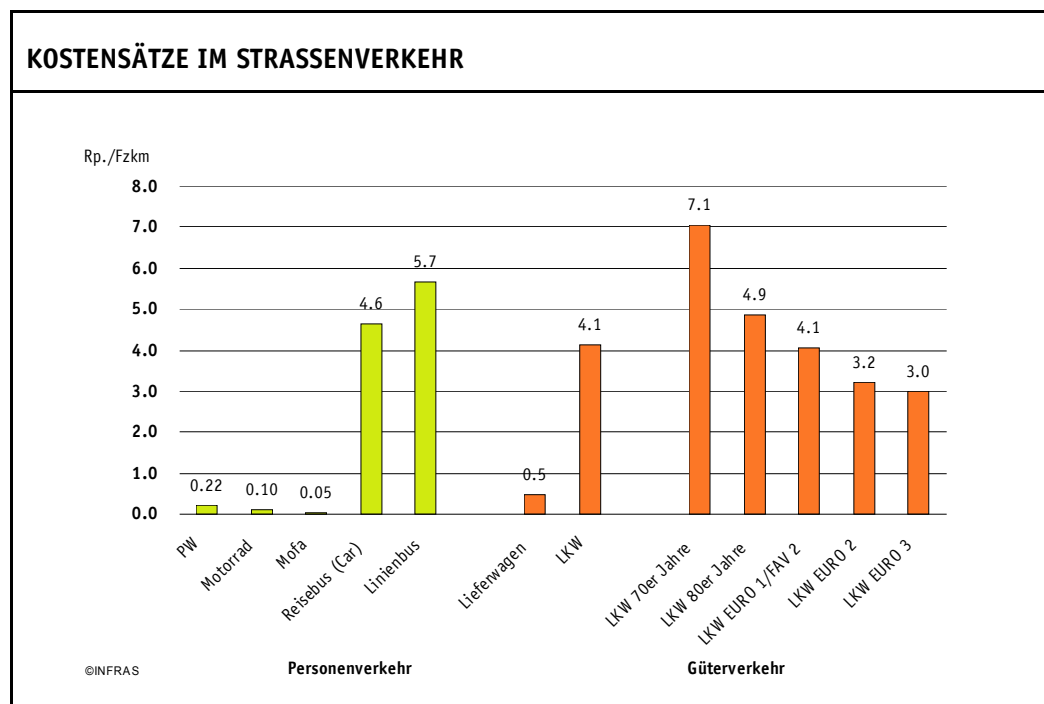
**Tabelle Z-4** Der Strassenverkehr verursacht insgesamt 93% der verkehrsbedingten Gebäudeschäden. Davon entfallen 47% auf den Strassengüterverkehr.

### **Kostensätze im Verkehrsbereich**

Die folgenden Figuren zeigen die Kostensätze, ausgedrückt in Kosten pro Personen- resp. Tonnenkilometer (Strasse und Schiene) und in Fahrzeugkilometer (Strassenverkehr).



**Figur Z-1** Die Schiene weist im Personenverkehr im Vergleich zum Personenwagen ca. 3.4-mal geringere Kosten pro Personenkilometer auf. Im Güterverkehr ist der Unterschied deutlich grösser, der Schienenverkehr weist dort um ca. 10-mal tiefere Kosten pro Tonnenkilometer auf. Die Lieferwagen haben aufgrund ihrer geringen Nutzlast noch deutlich höhere spezifische Kosten pro Tonnenkilometer.

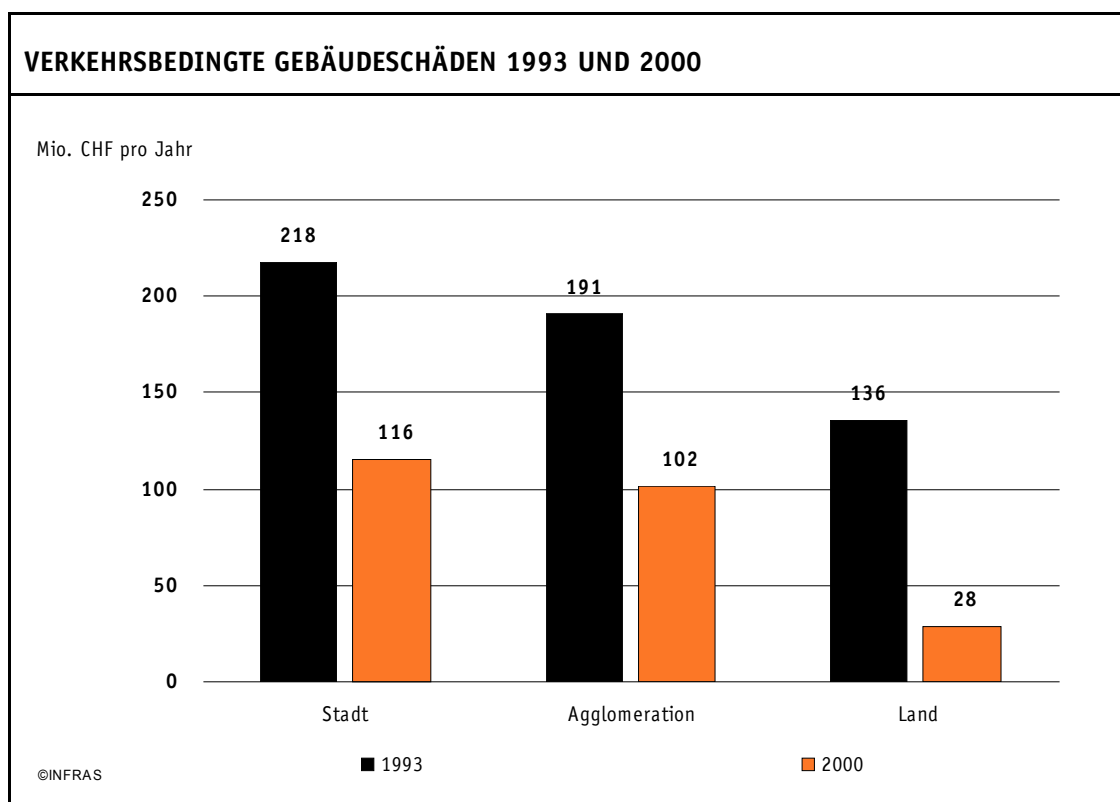


**Figur Z-2** Die für die LSVA relevanten Kostensätze im Strassengüterverkehr liegen zwischen 3 und 7 Rappen pro Fahrzeugkilometer.

### Vergleich mit den bisherigen Schätzungen

Die folgende Figur zeigt die Veränderungen zu den bisherigen Schätzungen für den Zeitpunkt 1993<sup>2</sup>. Die Kosten liegen um ca. 55% tiefer. Folgende Gründe sind dafür relevant:

- › Stark zurückgehende Schadstoffbelastung von verkehrsbedingten korrosiven Luftschadstoffen wie NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub>,
- › Vermehrter Einsatz von robusteren Fassadenbaumaterialien (Glas/Stahl-Fassaden),
- › Baukonjunkturell bedingte leicht rückgängige Renovations- und Baukosten,
- › Neue empirische Grundlagen und Methodik, die tendenziell die luftverschmutzungsbedingten Gebäudeschäden etwas vorsichtiger einschätzen.



**Figur Z-3** Die bisherigen Werte stammen aus INFRAS 1992 und sind für 1993 aufdatiert worden (gemäss INFRAS 1995).  
Bemerkung: Gebäudeschäden 2000 ohne Schienen- und Luftverkehr, da Kosten für Schienen- und Luftverkehr 1993 noch nicht berechnet wurden.

<sup>2</sup> siehe INFRAS 1995.



### **Gesamtinterpretation und Aktualisierungskonzept**

Mit den vorliegenden Analysen ist die Abschätzung der Gebäudeschäden auf eine neue empirische Evidenzanalyse und auf neue empirische Grundlagen für die Immissionsbelastung und die Fassadenflächen der Schweiz abgestützt. Die Ergebnisse widerspiegeln deshalb mehr als bloss eine Aktualisierung, sondern eine Neu beurteilung der Gebäudeschäden. Im Vergleich zu ausländischen Studien ist die Analyse deutlich differenzierter.

Die Analyse hat gezeigt, dass luftverschmutzungsbedingte Kosten nachgewiesen werden können. Gleichzeitig ist aber auch festzuhalten, dass diese Kosten in der Praxis wenig relevant sind und sich vielmehr rechnerisch aus den Vergleichen an verschiedenen Standorten ergeben. Dies ist nicht zuletzt auch ein Verdienst der Bauwirtschaft, die Materialien laufend zu verbessern und gegen äusseren Einwirkungen und Belastungen resistenter zu machen. Das deutet auch darauf hin, dass die Bedeutung der Schäden auch in Zukunft abnehmen dürfte.

Die Partikelemissionen erweisen sich heute als wichtigste Ursache und dienen auch als Grundlage für die Aufteilung auf die einzelnen Verkehrsmittel und -träger. Der grösste Anteil an den verkehrsbedingten Schäden geht zu Lasten des Strassenverkehrs. Auch hier werden die zukünftigen zu erwartenden Verbesserungen (durch saubereren Dieseltreibstoff und sauberere Motoren) die resultierenden Kosten senken. Schwieriger wird es allerdings sein, die ebenfalls relevanten Partikel zu verringern, die durch mechanische Prozesse wie Abrieb und Wiederaufwirbelung entstehen. Zu diesen Prozessen trägt auch der Schienenverkehr bei.

Für eine weitere Aktualisierung der Kosten schlagen wir ein mehrstufiges Konzept vor:

- › Kurzfristig (in 5 Jahren) ist eine einfache Aufdatierung mit Hilfe von Emissionsanteilen und Kostensätzen in der Bauwirtschaft sinnvoll: Die Kosten verändern sich entlang den prognostizierten Emissionsentwicklungen und dem Baukostenindex. Dies kann auf Basis der vorliegenden Emissionsprognosen und der Indexentwicklung ermittelt werden. Für die Aktualisierung der LSVA-Sätze nach Emissionsklassen ist die Emissionsprognose nur dann relevant, wenn sie ebenfalls erneuert wird.
- › Längerfristig (nach 10 Jahren) ist eine Plausibilisierung der Ergebnisse mit Hilfe von Expertenbefragungen sinnvoll. Zentral ist die Frage, ob neue Materialien und Bewirtschaftungspraxis bzw. neue Schadstoffeinflüsse zu neuen Wirkungsmechanismen führen.

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,  
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

étude

are.....

**Bundesamt für Raumentwicklung**  
**Office fédéral du développement territorial**  
**Ufficio federale dello sviluppo territoriale**  
**Federal Office for Spatial Development**

**Externe Lärmkosten des  
Strassen- und Schienenverkehrs  
der Schweiz**

Aktualisierung für das  
Jahr 2000

## Zusammenfassung

### Ziel und methodisches Vorgehen

Das **Ziel** der vorliegenden Studie ist, die **externen Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs** in der **Schweiz** für das **Jahr 2000** zu ermitteln. Die Ergebnisse sollen nach Personen- und Güterverkehr differenziert werden.

Im Rahmen dieser Studie ist eine vollständige Erfassung der Lärmkosten in allen Auswirkungsbereichen nicht möglich. Auftragsgemäss wird daher die Ermittlung der Lärmkosten beschränkt auf den Bereich der **Wohnnutzung** (verminderte Mietzinsen, da belärmte Wohnungen auf dem Wohnungsmarkt weniger gefragt sind als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Lage) und der **menschlichen Gesundheit** (die Lärmbelastung kann zu körperlichen und psychischen Störungen führen und die Gesundheit schädigen). **Weitere Kostenkomponenten** wie z.B. Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken, Lärmfluchtkosten sowie Konzentrationsprobleme in der Schule und am Arbeitsplatz werden in der vorliegenden Studie folglich **nicht erfasst**.

Bei den Lärmkosten handelt es sich um sogenannte **externe Kosten**: Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird. Die Lärmbelastung wird durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belastet aber die AnwohnerInnen.

Für die Ermittlung der Lärmkosten wird das folgende **methodische Vorgehen** gewählt:

- Grundlage für die Monetarisierung ist eine detaillierte Untersuchung der **Lärmbelastung** durch den Strassen- und Schienenverkehr im Jahr 2000 in der Schweiz.
- Ausgehend von der Anzahl belärmter Wohnungen sind in einem zweiten Schritt die **Mietzinsausfälle** zu ermitteln. Dazu muss einerseits der Zusammenhang zwischen dem Mietzinsniveau und der Lärmbelastung und andererseits das durchschnittliche Mietzinsniveau festgelegt werden.
- Die Lärmbelastung führt auch zu zusätzlichen **Gesundheitsschäden**. Zuerst wird der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden ermittelt und daraus werden die lärmbedingten Krankheits- und Todesfälle berechnet. Diese werden schliesslich in Geldeinheiten umgerechnet.
- Die Summe der Mietzinsausfälle und der Gesundheitskosten ergeben die gesamten Lärmkosten des Verkehrs.

Die Berechnung der Lärmkosten lässt sich nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen durchführen. Dabei wird in diesem Projekt vom Grundsatz ausgegangen „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. In der Literatur wird dieser Grundsatz häufig auch als **least Ansatz** bezeichnet.

## Verkehrsbedingte Lärmbelastung

Lärm, empfunden als störender Schall, unterscheidet sich je nach Lautstärke (Schalldruck), Tonlage (Frequenz) und zeitlichem Ablauf. Als Mass der Lärmbelastung wird der Beurteilungspegel  $L_r$  verwendet, dieser ergibt sich aus dem energieäquivalenten Dauerschallpegel ( $L_{eq}$ ) und verschiedenen Korrekturfaktoren ( $K$ ), mit deren Hilfe auch subjektiven Einschätzungen von unterschiedlichen Lärmquellen Rechnung getragen werden. Die Lärmbelastung wird ab einem Schwellenwert von 55 dB(A) tags bzw. 45 dB(A) nachts erhoben.

Zur Berechnung der Lärmbelastung durch den **Strassenverkehr** wurden zwei unterschiedliche Datenquellen verwendet: Die a priori bekannten Mengengerüste aus den Kantonen Luzern, Nidwalden und Zürich (ohne die Städte Luzern, Winterthur und Zürich) wurden mit einer Stichproben-Lärmermittlung für die restliche Schweiz ergänzt. Die Stichprobe besteht aus 30 Rasterzellen (400 x 400 Meter). Für jede gezogene Rasterzelle wurde die Lärmbelastung mit dem Modell CadnaA detailliert ermittelt unter Berücksichtigung der Verkehrsbelastung, der Charakteristiken der Strassenabschnitte (Geschwindigkeit, Belag, Steigung) sowie der vorhandenen Bauten und Lärmschutzwände. Berechnet wurden die lautesten Immissionen pro Wohngebäude und diese den darin befindlichen Wohnungen und Personen zugeordnet. Die Ergebnisse der einzelnen Rasterzellen wurden dann auf das Gebiet der restlichen Schweiz hochgerechnet.

Die gesamte Lärmbelastung durch den **Strassenverkehr** ergibt sich aus dem Zusammenführen der Gebiete mit a priori bekannter Lärmbelastung und dem Restgebiet mit der hochgerechneten Lärmbelastung aus der Stichprobe. In der folgenden Tabelle ist die Gesamtlärmbelastung durch den Strassenverkehr für das Jahr 2000 dargestellt. Rund 2.2 Mio. Personen werden tags durch den Strassenverkehr einer Lärmbelastung ausgesetzt, welche über dem Schwellenwert liegt, nachts beläuft sich diese Zahl auf 2.1 Mio. Personen.

**Tabelle 1: Lärmbelastung durch den Strassenverkehr im Jahr 2000**

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel $L_r$ tags [dB(A)]	Personen	Wohnungen	Beurteilungspegel $L_r$ nachts [dB(A)]	Personen	Wohnungen
1				44.5 - 49.4	1'011'956	475'203
2				49.5 - 54.4	555'139	319'431
3	54.5 – 59.4	783'108	377'256	54.5 - 59.4	362'071	195'685
4	59.5 – 64.4	942'895	507'734	59.5 - 64.4	120'077	65'700
5	64.5 – 69.4	423'920	217'849	64.5 - 69.4	1'334	666
6	69.5 – 74.4	83'930	48'207	69.5 - 74.4	11	6
7	> 74.5	155	77	> 74.5	0	6
<b>Total</b>		<b>2'234'008</b>	<b>1'151'123</b>		<b>2'050'588</b>	<b>1'056'697</b>

Im **Schieneverkehr** konnte zur Ermittlung der Lärmbelastung auf die umfangreichen Arbeiten der SBB zurückgegriffen werden. Die SBB haben im Jahr 1998 für mehr als 6'000 Streckeneinheiten die Lärmemissionen ermittelt, ein digitales Geländemodell ihres Streckennet-

zes erstellt und daraus mit Hilfe des Berechnungsmodells für den Lärm von Eisenbahnen (SEMIBEL) einen Lärmbelastungskataster erstellt. Zur Ermittlung der Lärmbelastung wurde jeweils an einem Empfangsort, stellvertretend für kleinere Gebäudegruppen, die Lärmbelastung tags und nachts berechnet.

Die Zahl der betroffenen Wohnungen musste für diese Studie separat ermittelt werden. Dazu wurden gemeindespezifische Kennzahlen zum Verhältnis Personen / Wohnungen verwendet. Zur Berücksichtigung der Lärmbelastung durch konzessionierte Transportunternehmen wurden die Daten der SBB mit einem generellen Zuschlag von 6% hochgerechnet.

Als Ergebnis resultiert die in der nachstehenden Tabelle dargestellte Lärmbelastung für den gesamten Schienenverkehr in der Schweiz. Die Zahl der durch den Schienenverkehr belästigten Personen ist mit 276'000 tags (310'000 nachts) wesentlich kleiner als beim Strassenverkehr.

**Tabelle 2: Lärmbelastung durch den Schienenverkehr im Jahr 2000**

Lärm Klasse	Beurteilung Tag			Beurteilung Nacht		
	Beurteilungspegel Lr tags [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total	Beurteilungspegel Lr nachts [dB(A)]	Personen Total	Wohnungen Total
1				44.5 - 49.4	99'617	47'918
2				49.5 - 54.4	90'703	43'972
3	54.5 - 59.4	98'652	47'738	54.5 - 59.4	75'418	37'028
4	59.5 - 64.4	84'866	41'156	59.5 - 64.4	34'123	16'379
5	64.5 - 69.4	72'880	35'513	64.5 - 69.4	9'699	4'586
6	69.5 - 74.4	19'380	9'349	69.5 - 74.4	650	334
7	> 74.5	773	392	> 74.5	0	0
<b>Total</b>		<b>276'551</b>	<b>134'150</b>		<b>310'211</b>	<b>150'217</b>

Im Folgenden werden kurz die methodischen Grundlagen für die Berechnung der Lärmkosten besprochen (Mietzinsausfälle sowie Anzahl Fälle und Kosten von Gesundheitsschäden) und anschliessend werden die Ergebnisse vorgestellt.

### Mietzinsausfälle im Wohnbereich

Es ist davon auszugehen, dass belärmte Wohnungen weniger nachgefragt werden als vergleichbare Wohnungen in ruhigen Gebieten. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt schlägt sich diese Mindernachfrage in einem tieferen Mietpreis nieder. Die Differenz zwischen einer belärmten und einer vergleichbaren unbelärmten Wohnung entspricht dann den Lärmkosten des Verkehrs.

Für die Ermittlung der Mietzinsausfälle wird angenommen, dass unterhalb eines **minimalen Lärmniveaus von 55 dB(A)** der Lärm nicht zu einer Reduktion des Mietzinses führt. Die Schwelle von 55 dB(A) beruht erstens auf empirischen Befunden zum Anteil lärmgestörter

Personen, entspricht zweitens dem Planungswert für Wohnzonen in der Schweizer Lärm-schutzverordnung und wird drittens in der Literatur häufig verwendet. Allerdings zeigen Studien, dass auch unterhalb von 55 dB(A) eine Zahlungsbereitschaft für Lärmvermindierungen besteht. Würde das minimale Lärmniveau auf 50 dB(A) gesenkt, so wären die Mietzinsausfälle um mehr als 75% höher.

Die **Mietpreisreduktion von 0.8% pro dB(A)** beruht auf dem Durchschnitt von drei Schweizer Studien. Diese Reduktion wurde mit dem **Hedonic Pricing Ansatz** festgelegt: Mit statistischen Methoden werden die verschiedenen Eigenschaften (z.B. Ruhe) von Wohnungen bewertet. Die Ergebnisse beruhen auf den Mietpreisen und damit auf Marktpreisen. Der durchschnittliche Mietzins beträgt 1'107 CHF pro Monat.

### Lärmbedingte Gesundheitsschäden: Anzahl Fälle

Die Auswirkungen des Lärms auf Krankheits- und Todesfälle werden mit dem Konzept der **anrechenbaren Anteile** („attributable proportion“) bestimmt. Sie sind ein Mass für den Anteil an Krankheits- oder Todesfällen, die weniger zu erwarten sind, wenn die Lärmbelastung wegfällt. Für die Herleitung der Belastungs-Wirkungszusammenhänge zwischen Lärmbelastung und Häufigkeit einzelner Krankheiten wurden internationale Untersuchungen ausgewertet. In Tabelle 3 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Der Lärm führt vor allem zu einer relativ starken Zunahme der **Bluthochdruck bedingten Krankheiten**, aber auch zu zusätzlichen **ischämischen Herzkrankheiten** (Herzinfarkt, Angina Pectoris etc.). Die insgesamt 1'226 verlorenen Lebensjahre (983 durch den Strassenverkehr bzw. 243 durch den Schienenverkehr) sind auf 143 frühzeitige Todesfälle zurückzuführen (114 bzw. 29).

**Tabelle 3: Überblick über die durch den Lärm im Jahr 2000 verursachten verlorenen Lebensjahre und Krankheitsfälle**

	Ischämische Herzkrankheiten durch Lärm am Tag			Bluthochdruck bedingte Krankheiten durch Lärm in der Nacht		
	Strasse	Schiene	Summe *)	Strasse	Schiene	Summe *)
Anzahl verlorene Lebensjahre	274	56	330	708	188	896
Anzahl verlorene Erwerbsjahre	21	4	26	31	8	40
Anzahl Hospitalisationen (stationär)	82	17	99	272	72	344
Anzahl Hospitalisationen (teilstationär)	7	1	9	15	4	19
Anzahl Spitaltage (stationär)	757	153	910	3'647	966	4'613
Anzahl verlorene Erwerbstage (nur stationäre Spitaltage)	192	39	231	517	137	653
Anzahl ambulante Behandlungen	101	20	121	10'569	2'800	13'369
Tagesdosen Medikamente (in 1000 pro Jahr)				13'370	3'542	16'912

\*) Abweichungen von  $\pm 1$  sind rundungsbedingt

## Bewertung der lärmbedingte Gesundheitsschäden

Anschliessend werden die Kosten dieser Gesundheitsschäden bestimmt. Zu den Gesundheitskosten zählen wir die folgenden Komponenten:

- **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären und teilstationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente etc.) zu verstehen.
- **Produktionsausfall:** Die durch den Lärm beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.
- **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person. Die immateriellen Kosten können insbesondere bei Todesfällen oder chronischen Erkrankungen wesentlich grösser sein als die materiellen Kosten (Behandlungskosten und Produktionsausfall).

In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Kostensätze pro Krankheitsbild abgebildet. Für die Herleitung der Kostensätze mussten zum Teil schwierige Bewertungsfragen gelöst werden. Besonders bedeutend für das Gesamtergebnis ist die **Bewertung** der immateriellen Kosten **bei verlorenen Lebensjahren**. Dazu wird in der Studie ein sogenannter **Zahlungsbereitschaftsansatz** (willingness to pay) verwendet, mit dessen Hilfe eine Reduktion des Sterberisikos in Geldeinheiten bewertet werden kann. Basierend auf internationalen Untersuchungen ergibt sich für jedes verlorene Lebensjahr ein Wert von 85'000 CHF. Zur Bewertung der immateriellen Kosten bei Krankheiten werden ebenfalls Zahlungsbereitschaften aus der internationalen Literatur übernommen. Für die Ermittlung der medizinischen Behandlungskosten und des Nettoproduktionsausfalls (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) werden ausschliesslich Schweizer Daten verwendet.

Die Ergebnisse werden in **Faktorkosten** angegeben, d.h. die indirekten Steuern (MWST etc.) von 7.7% werden aus den Kostensätzen herausgerechnet. Damit wird die internationale Vergleichbarkeit verbessert.

**Tabelle 4: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF zu Faktorkosten im Jahr 2000)**

	Ischämische Herzkrankheiten				Bluthochdruck bedingte Krankheiten			
	WTP	BHK	NPA	Total	WTP	BHK	NPA	Total
verlorene Lebensjahre	85'473	-	-	85'473	85'473	-	-	85'473
verlorene Anzahl Erwerbsjahre	-	-	35'434	35'434	-	-	35'434	35'434
Hospitalisationen (stationär)	14'191	-	-	14'191	1'309	-	-	1'309
Hospitalisationen (teilstationär)	1'546	902	74	2'522	1'309	731	41	2'081
Anzahl Spitaltage (stationär)	-	902	-	902	-	731	-	731
Anzahl verlorene Erwerbstage	-	-	291	291	-	-	291	291
Ambulante Behandlungen	-	-	12	12	1'309	-	7	1'316

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

## Ergebnisse

Im Verkehr fallen **insgesamt Lärmkosten von 998 Mio. CHF** an (vgl. folgende Tabelle). Der **Strassenverkehr** ist für **87% oder 869 Mio. CHF** verantwortlich, der **Schiennenverkehr** für die verbleibenden **13% oder 129 Mio. CHF**. Die Lärmkosten von knapp einer Milliarde CHF entsprechen **140 CHF pro Kopf** der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP einer Grössenordnung von 0.25%.

Ein Grossteil der Kosten entstehen durch **Mietzinsausfälle (88% oder 874 Mio. CHF** im Gesamt-, 89% oder 770 Mio. CHF im Strassen- und 81% oder 104 Mio. CHF im Schienenverkehr, vgl. folgende Tabelle und linker Teil der folgenden Grafik). Die Mietzinsausfälle fallen vor allem in den mittleren Lärmklassen von 60 bis 69 dB(A) an.

Die **Gesundheitskosten** sind für die verbleibenden **12% oder 124 Mio. CHF** verantwortlich (Strasse: 11% oder 99 Mio. CHF, Schiene 19% oder 25 Mio. CHF). Die grosse Mehrheit der Gesundheitskosten (95% der Kosten) entfallen auf die immateriellen Kosten (Schmerz und Leid), die über die Zahlungsbereitschaft gemessen werden. Eine andere Aufteilung der Kosten zeigt, dass 81% der Kosten durch verlorene Lebensjahre verursacht werden. Schliesslich entstehen 76% der Gesundheitskosten durch Bluthochdruck bedingte Krankheiten, während 24% durch ischämischen Herzkrankheiten verursacht werden.

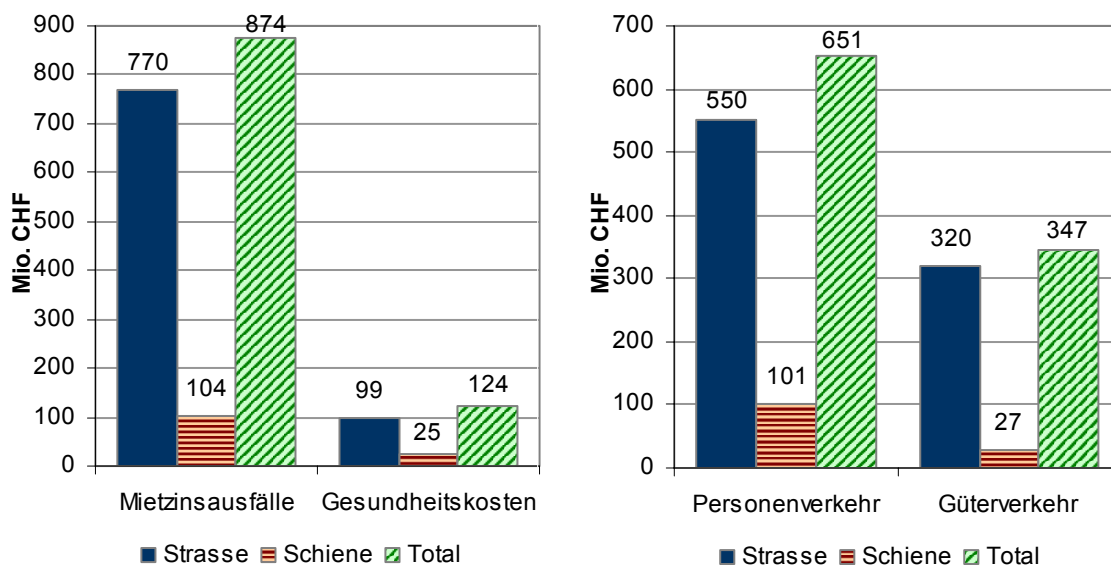
Der **Personenverkehr** ist für **65% der Kosten** oder 651 Mio. CHF verantwortlich (Strasse 63% oder 550 Mio. CHF, Schiene 79% oder 101 Mio. CHF, vgl. folgende Tabelle und rechter Teil der folgenden Grafik), der Güterverkehr verursacht die verbleibenden Kosten von 35% oder 347 Mio. CHF (Strasse 37% oder 320 Mio. CHF, Schiene 21% oder 27 Mio. CHF).

**Tabelle 5: Lärmkosten für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF zu Preisen des Jahres 2000)**

		Personenverkehr	Güterverkehr	Total	in % des Total
<b>Strasse</b>	Mietzinsausfälle	487.3	283.1	<b>770.4</b>	88.6%
	Gesundheitskosten	62.7	36.4	<b>99.1</b>	11.4%
	<b>Total</b>	<b>549.9</b>	<b>319.5</b>	<b>869.4</b>	100.0%
	in % des Totals	63.3%	36.7%	100.0%	
<b>Schiene</b>	Mietzinsausfälle	81.9	22.0	<b>103.8</b>	80.8%
	Gesundheitskosten	19.5	5.2	<b>24.7</b>	19.2%
	<b>Total</b>	<b>101.4</b>	<b>27.2</b>	<b>128.6</b>	100.0%
	in % des Totals	78.8%	21.2%	100.0%	
<b>Gesamt- verkehr</b>	Mietzinsausfälle	569.1	305.1	<b>874.2</b>	87.6%
	Gesundheitskosten	82.2	41.7	<b>123.8</b>	12.4%
	<b>Total</b>	<b>651.3</b>	<b>346.7</b>	<b>998.0</b>	100.0%
	in % des Totals	65.3%	34.7%	100.0%	



**Grafik 1: Lärmkosten für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF)**



Die gesamten Lärmkosten lassen sich auch in spezifische Kostensätze pro Fahr- oder Verkehrsleistung umrechnen. Wie die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, sind die Kosten für laute Strassenfahrzeuge mehr als 11 mal höher als für leise Fahrzeuge. Im Personenverkehr sind die Kosten pro Personenkilometer im privaten Strassenverkehr und im Schienenverkehr in derselben Grössenordnung, im öffentlichen Strassenverkehr jedoch tiefer. Im Güterverkehr sind die Kosten pro Tonnenkilometer auf der Strasse mehr als 5 mal höher als auf der Schiene.

**Tabelle 6: Kostensätze pro Fahrleistung**

		Personenverkehr			Güterverkehr	
		PW, Mofa, Trolley	Tram	MR, Car, Bus	Li	LW, SS
Rp/Fzkm	Strasse	0.76	2.36	8.74	2.36	8.74
Rp/Zugkm	Schiene			72.04		86.62
Rp/pkm	Strasse (Privatverkehr)			0.61		
	Strasse (öffentlicher Verkehr)			0.40		
	Schiene			0.69		
Rp/tkm	Strasse					1.46
	Schiene					0.28

Rp = Rappen, Fzkm = Fahrzeugkilometer, Zugkm = Zugkilometer, pkm = Personenkilometer, tkm = Tonnenkilometer, PW = Personenwagen, Trolley = Trolleybus, MR = Motorrad, Car = Privatcar, Bus = öffentlicher Bus, Li = Lieferwagen, LW = Lastwagen, SS = Sattelschlepper.

## Einschätzung der Ergebnisse

Es ist nochmals zu betonen, dass die ausgewiesenen externen Lärmkosten nur die Auswirkungen des Lärms auf die Mietzinse im Wohnbereich und auf die Gesundheit enthalten. **Nicht berücksichtigt** werden hingegen **weitere Auswirkungen des Lärms** wie z.B. Verluste durch Auszonen oder Nicht-Einzonen von Grundstücken, Lärmfluchtkosten sowie Konzentrationsprobleme in der Schule und am Arbeitsplatz. **Deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Lärmkosten die tatsächlich durch den Lärm verursachten externen Kosten klar.**

Ausserdem sind Unsicherheiten bei den dargestellten Berechnungen immanent. Wie bereits erwähnt sind wir von einem **at least Ansatz** ausgegangen, d.h. dass Annahmen nach dem Grundsatz „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“ getroffen wurden. **Auch deshalb unterschätzen die ausgewiesenen Kosten die tatsächlichen Schäden eindeutig.** Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

- Mietzinsausfälle
  - Das minimale Lärmniveau, ab dem mit Mietzinsausfällen zu rechnen ist, wurde vorsichtig festgelegt: Obwohl es Studien gibt, die Effekte auch unterhalb 55 dB(A) finden, wurde die Grenze bei 55 dB(A) gezogen.
- Gesundheitsschäden
  - Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die Lebenserwartung der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
  - Ambulante Behandlungen von Angina Pectoris und der Medikamentenverbrauch für ischämische Herzkrankheiten werden nicht berücksichtigt. Für Jugendliche bis 14 Jahre (inkl.) werden überhaupt keine ambulante Behandlungen und kein Medikamentenverbrauch ermittelt.
  - Für weitere Krankheiten, die durch den Lärm verschlimmert werden dürften (wie z.B. überhöhte Blutfettwerte, Bronchialasthma, Krebserkrankungen etc.), liegen (noch) keine gesicherten Zusammenhänge vor. Diese Krankheitsbilder mussten deshalb vernachlässigt werden.
  - Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre, die 79% der gesamten Gesundheitskosten ausmachen, muss möglicherweise verdoppelt werden: Die Zahlungsbereitschaft wurde aus dem Unfallkontext übernommen. Es gibt jedoch erste Hinweise, dass das unfreiwillige und unkontrollierbare Lärmbelastungsrisiko doppelt so stark empfunden wird wie das freiwillige und beeinflussbare Unfallrisiko.
  - Es wurden die verlorenen Lebensjahre bewertet und nicht die frühzeitigen Todesfälle, was zu beinahe doppelt so hohen Gesundheitskosten führen würde. Oder in anderen Worten wurde bei der Umrechnung des Wertes eines frühzeitigen Todesfalles auf den Wert eines verlorenen Lebensjahres ein konservativer Ansatz verwendet.
  - Auch bei der Bestimmung der weiteren Kostensätze wurden meist vorsichtige Werte verwendet.

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,  
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

étude

are . . . . .

Bundesamt für Raumentwicklung  
Office fédéral du développement territorial  
Ufficio federale dello sviluppo territoriale  
Federal Office for Spatial Development

**Externe Gesundheitskosten  
durch verkehrsbedingte  
Luftverschmutzung in der Schweiz**

Aktualisierung für das Jahr 2000

## Zusammenfassung

### Ziel und methodisches Vorgehen

Das **Ziel** der vorliegenden Studie ist, die **externen Gesundheitskosten durch die Luftverschmutzung des Strassen- und Schienenverkehrs** in der **Schweiz** für das **Jahr 2000** zu ermitteln. Die Ergebnisse sollen nach Personen- und Güterverkehr differenziert werden. Zusätzlich ist zu bestimmen, welche Gesundheitskosten durch die gesamte Luftverschmutzung (inkl. aller übrigen Emissionen von Industrie/Gewerbe, Haushalten und Land-/Forstwirtschaft) verursacht werden.

Bei den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung handelt es sich um sogenannte **externe Kosten**: Als externe Kosten wird jener Teil der Kosten bezeichnet, der nicht von den Verursachenden, sondern von anderen getragen wird. Die Luftverschmutzung wird durch die Verkehrsteilnehmenden verursacht, belastet aber die gesamte Gesellschaft.

Für die Ermittlung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten wird das folgende **methodische Vorgehen** gewählt:

- Grundlage für alle Berechnungen ist die Kenntnis über die aktuelle **Schadstoffbelastung der Bevölkerung**, die sogenannte Bevölkerungsexposition. Diese wird mit Hilfe eines Schadstoffbelastungsmodells bestimmt.
- Die Schadstoffbelastung äussert sich bei der betroffenen Bevölkerung in **zusätzlichen Krankheitsfällen** und/oder in einer **Reduktion der Lebenserwartung**. Mit dem Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und der Auftretenshäufigkeit von Morbidität und Mortalität (sogenannte Belastungs-Wirkungsbeziehung) lässt sich die Zahl der luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle bestimmen.
- Um daraus die Gesundheitskosten zu berechnen, muss in einem letzten Arbeitsschritt bestimmt werden, welche **Aufwendungen und (Nutzen-)Verluste** für die **Betroffenen** und die **Allgemeinheit** durch diese zusätzlichen Krankheits- und Todesfälle entstehen.

Bei der Ermittlung der Gesundheitskosten wird das **Territorialprinzip** verwendet: Es werden die Kosten der Luftverschmutzungsimmersionen in der Schweiz berechnet. Dabei wird vernachlässigt, dass ein Teil dieser Immissionen durch Schadstoffemissionen im Ausland verursacht werden und dass ein Teil der Schweizer Emissionen durch Windströmungen ins Ausland verfrachtet werden (wobei die Import-/Exportbilanz in etwa ausgeglichen ist).

Die Berechnung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitskosten lässt sich nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen durchführen. Dabei wird in diesem Projekt vom Grundsatz ausgegangen „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“. Konkret bedeutet dies, dass bei Unsicherheiten vorsichtige Annahmen getroffen werden, die eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen Kosten führen. In der Literatur wird dieser Grundsatz häufig auch als **at least Ansatz** bezeichnet.

## Verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung

Als **Leitschadstoff** für die Berechnungen wurde **PM10** (Staubpartikel mit Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer) gewählt. Zwei Gründe sind dafür massgebend: Der Zusammenhang zwischen der Feinstaubbelastung und Gesundheitsbeeinträchtigungen ist aus epidemiologischer Sicht zweifelsfrei nachgewiesen. Aus Sicht der Schadstoffmodellierung kann die PM10-Belastung gegenüber der Belastungen mit anderen Fraktionen des Staubs (z.B. PM2.5, Staubpartikel mit Durchmesser kleiner als 2.5 Mikrometer), mit einer grösseren Genauigkeit ermittelt und anhand von schweizerischen Messdaten auch überprüft werden.

Für die Berechnung der Immissionen wurde das von Infrac und Meteotest entwickelte Modell des BUWAL eingesetzt, in welchem die Schweiz als ein feinmaschiges Gitter mit einer Maschenweite von 200 m x 200 m erfasst ist. Für jede Rasterzelle werden die primären und sekundären PM10-**Emissionen** erfasst. Zu den primären PM10-Emissionen zählen Abgase aus Verbrennungsmotoren und Heizungen, mechanisch erzeugten Feinstäube aus Brems-, Pneu- und Strassenabrieben sowie alle möglichen Feinstäube aus Baustellen, Landwirtschaft, Steinbrüchen, Kieswerken usw. Die PM10-Emissionen werden mit Hilfe einer Ausbreitungsrechnung in PM10-Immissionen umgewandelt. Für die Modellierung von sekundärem PM10 dienen Immissionskarten und Emissionskataster von Vorläufersubstanzen (NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> und 32 VOC-Komponenten) als Input. Anschliessend werden die Immissionen mit Bevölkerungsdaten aus der Volkszählung überlagert, um die Belastung der Bevölkerung mit PM10 (Bevölkerungsexposition) zu bestimmen.

In der folgenden Tabelle wird die Bevölkerungsexposition dargestellt. Die Schweizer Bevölkerung war im Jahr 2000 durchschnittlich einer **PM10-Belastung von 19.12 µg/m<sup>3</sup>** ausgesetzt. Der **Strassenverkehr** generiert im Durchschnitt **4.22 µg/m<sup>3</sup>** PM10-Immission. Davon stammen 2.41 µg/m<sup>3</sup> aus dem Personenverkehr und 1.81 µg/m<sup>3</sup> aus dem Güterverkehr. Der **Schienerverkehr** erzeugt demgegenüber nur **0.28 µg/m<sup>3</sup>** (15 Mal weniger), davon 0.13 µg/m<sup>3</sup> aus dem Personenverkehr und 0.15 µg/m<sup>3</sup> aus dem Güterverkehr. Zum Vergleich: Der gesetzliche **Immissionsgrenzwert** beträgt 20 µg/m<sup>3</sup>. Im Jahr 2000 waren 41% der Bevölkerung einer höheren Belastung ausgesetzt.

**Tabelle 1: PM10-Immissionsbeiträge der einzelnen Emittentengruppen im Jahr 2000**

Emittentengruppe	mittl. PM10-Beitrag		Personenverkehr		Güterverkehr	
	µg/m <sup>3</sup>	%	µg/m <sup>3</sup>	%	µg/m <sup>3</sup>	%
Strassenverkehr	4.22	22%	2.41	13%	1.81	9%
Schienerverkehr	0.28	1.4%	0.13	0.7%	0.15	0.8%
Industrie/Gewerbe	7.65	40%	---	---	---	---
Haushalte	2.12	11%	---	---	---	---
Land-/Forstwirtschaft	3.33	17%	---	---	---	---
natürliches PM10	1.33	7%	---	---	---	---
(Flugverkehr)	(0.19)	1.0%	---	---	---	---
alle (aktuelle Belastung)	19.12	100%	2.53	13%	1.96	10%

## Krankheitsfälle und verlorene Lebensjahre durch Luftverschmutzung

Heutzutage besteht kein Zweifel mehr, dass sich die Schadstoffbelastung der Luft negativ auf die Gesundheit auswirkt. In vielen Studien wurde ein Anstieg der Mortalität und der Morbidität in der Bevölkerung bei zunehmender Luftschadstoffbelastung nachgewiesen. Dabei hat sich gezeigt, dass insbesondere **Atemwegs- und Herz-/Kreislaufkrankungen** in Verbindung zum Ausmass der Luftbelastung stehen.

In der vorliegenden Studie wird zur Ermittlung der luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle das Konzept der **attributablen Fälle** verwendet. Als attributabel wird der Anteil von Erkrankungen oder Todesfällen bezeichnet, der auf eine bestimmte Schadstoffexposition in der Bevölkerung zurückgeführt wird und über das Risiko der nichtexponierten Bevölkerung hinausgeht. Für die Herleitung der Belastungs-Wirkungszusammenhänge zwischen Luftverschmutzung und Häufigkeit einzelner Krankheiten wurde eine Vielzahl von nationalen und internationalen Untersuchungen ausgewertet und auf die Schweizer Verhältnisse übertragen. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Die **verlorenen Lebensjahre** wurden erstmals für die Schweiz mittels einer genauen Berechnung ermittelt: Die Entwicklung der im Jahr 2000 lebenden Bevölkerung wird bis zu ihrem Tode mit Hilfe von Überlebenswahrscheinlichkeiten modelliert und zwar einmal unter Einbezug der Luftverschmutzung und einmal unter Ausschluss der Luftverschmutzung, was die Sterbewahrscheinlichkeit reduziert. Aus der Differenz der beiden Berechnungen ergeben sich die verlorenen Lebensjahre. Die 42'449 verlorenen Lebensjahre durch die gesamte Luftbelastung (15'399 durch den Strassenverkehr bzw. 1'011 durch den Schienenverkehr) sind auf 3'746 frühzeitige Todesfälle zurückzuführen (1'359 bzw. 89).

**Tabelle 2: Überblick über die durch Luftverschmutzung verursachten verlorenen Lebensjahre und Krankheitsfälle im Jahr 2000**

Gesundheitseffekt	Gesamte Luftbelastung	Strassenverkehr	Schieneverkehr
Verlorene Lebensjahre	42'449	15'399	1'011
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	5'858	2'127	140
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislaufkrankungen	9'780	3'551	233
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	999	363	24
Akute Bronchitis bei Kindern	39'049	14'088	900
Asthmaanfälle bei Erwachsenen	41'073	14'904	979
Tage mit eingeschränkter Aktivität	1'773'821	643'647	42'283

## Bewertung der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitsschäden

In einem dritten Arbeitsschritt sind die Kosten dieser Gesundheitsschäden zu bestimmen. Zu den Gesundheitskosten zählen wir die folgenden Komponenten:

- **Medizinische Behandlungskosten:** Darunter sind sowohl die Kosten der stationären Behandlung im Spital (Infrastruktur, Arzt, Medikamente, etc.) als auch die Kosten der ambulanten Behandlung (Arztbesuche, Medikamente, etc.) zu verstehen.
- **Produktionsausfall:** Die durch die Luftverschmutzung beeinträchtigte Gesundheit führt dazu, dass Personen vorübergehend oder dauerhaft nicht als Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.
- **Immaterielle Kosten:** Zu den immateriellen Kosten zählen wir den Verlust an Wohlbefinden, Schmerz und Leid bei der betroffenen Person. Die immateriellen Kosten können insbesondere bei Todesfällen oder chronischen Erkrankungen wesentlich grösser sein als die materiellen Kosten (Behandlungskosten und Produktionsausfall).

In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Kostensätze pro Krankheitsbild abgebildet. Für die Herleitung der Kostensätze mussten zum Teil schwierige Bewertungsfragen gelöst werden. Besonders bedeutend für das Gesamtergebnis ist die **Bewertung** der immateriellen Kosten **bei verlorenen Lebensjahren**. Dazu wird in der Studie ein sogenannter **Zahlungsbereitschaftsansatz** (willingness to pay) verwendet, mit dessen Hilfe eine Reduktion des Sterberisikos in Geldeinheiten bewertet werden kann. Basierend auf internationalen Untersuchungen ergibt sich für jedes verlorene Lebensjahr ein Wert von 85'000 CHF. Zur Bewertung der immateriellen Kosten bei Krankheiten werden ebenfalls Zahlungsbereitschaften aus der internationalen Literatur übernommen. Für die Ermittlung der medizinischen Behandlungskosten und des Nettoproduktionsausfalls (Bruttoproduktionsausfall abzüglich Eigenkonsum) werden ausschliesslich Schweizer Daten verwendet.

Die Ergebnisse werden in **Faktorkosten** angegeben, d.h. die indirekten Steuern (MWST, etc.) werden aus den Kostensätzen herausgerechnet. Damit wird die internationale Vergleichbarkeit verbessert.

**Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Kostensätze (in CHF zu Faktorkosten im Jahr 2000)**

	WTP	BHK	NPA	Total
Verlorenes Lebensjahr	85'473	-	4'397	89'870
Spitaltage wegen Atemwegserkrankungen	775	805	24	1'603
Spitaltage wegen Herz-/ Kreislauferkrankungen	775	1'030	24	1'829
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	410'462	6'803	169	417'434
Akute Bronchitis bei Kindern	257	54	-	312
Asthmaanfälle bei Erwachsenen (≥15 Jahre)	61	1	12	74
Tage mit eingeschränkter Aktivität (Erw. ≥20 Jahre)	185	-	12	197

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.

## Ergebnisse

Durch die Luftverschmutzung des Verkehr entstehen Gesundheitskosten von insgesamt 1'626 Mio. CHF (vgl. folgende Tabelle). Der **Strassenverkehr** ist für **94%** oder **1'525 Mio. CHF** verantwortlich, der **Schieneverkehr** für die restlichen **6%** oder **100 Mio. CHF** (vgl. folgende Tabelle und Grafik).

Im **Strassenverkehr** sind **57%** der Kosten oder 871 Mio. CHF auf den **Personenverkehr** zurückzuführen, die restlichen **43%** oder 655 Mio. CHF entfallen auf den **Güterverkehr** (vgl. folgende Tabelle und Grafik). Im **Schieneverkehr** ist es in etwa umgekehrt: Der **Personenverkehr** verursacht **46%** der Kosten oder 46 Mio. CHF, der **Güterverkehr** **54%** oder 54 Mio. CHF.

Durch die **gesamte Luftverschmutzung** – verursacht durch Verkehr, Industrie, Gewerbe, Haushalte, sowie Land- und Forstwirtschaft – entstehen Gesundheitskosten von **4'204 Mio. CHF**. Dies entspricht **628 CHF pro Kopf** der Bevölkerung oder im Vergleich zum BIP einer Grössenordnung von 1.12%.

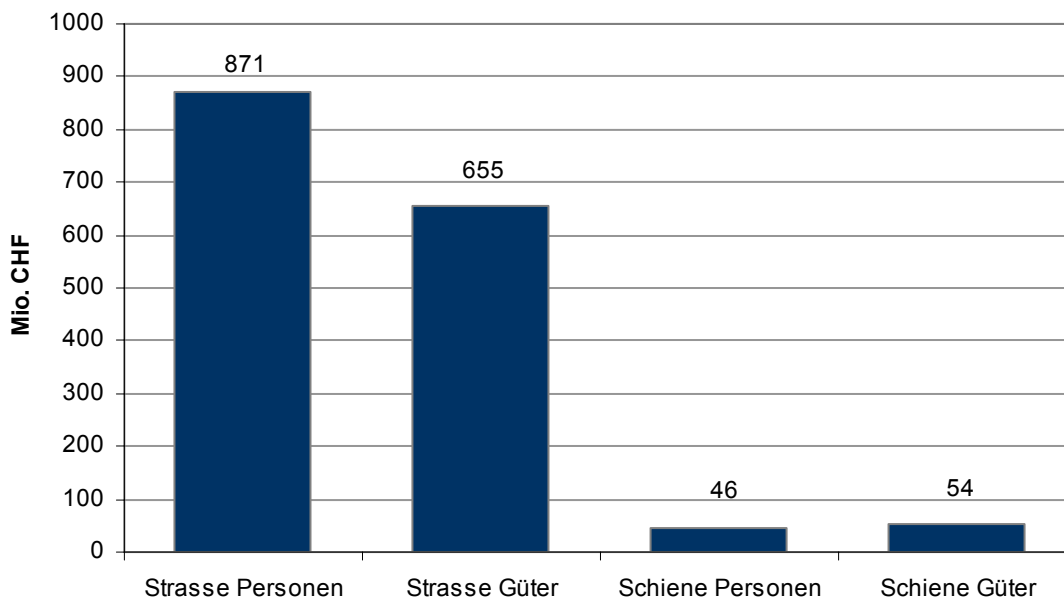
Wie bereits erwähnt ist die Bewertung der verlorenen Lebensjahre für das Gesamtergebnis von zentraler Bedeutung: Knapp 81% aller Gesundheitskosten entfallen auf frühzeitige Todesfälle bzw. verlorene Lebensjahre (davon 95% verursacht durch die immateriellen Kosten). Durch neue Fälle chronischer Bronchitis bei Erwachsenen werden rund 9.9% der Kosten verursacht, durch Tage mit eingeschränkter Aktivität rund 8.3%. Die anderen vier Krankheitsbilder sind nur von untergeordneter Bedeutung (weniger als 0.5%).

**Tabelle 4: Gesundheitskosten der Luftverschmutzung für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF)**

	WTP	BHK	NPA	Total
Strassenverkehr total	1'448.4	8.6	68.4	<b>1'525.4</b>
Strassenverkehr Personen	826.7	4.9	39.0	<b>870.7</b>
Strassenverkehr Güter	621.7	3.7	29.4	<b>654.7</b>
Schieneverkehr total	95.1	0.6	4.5	<b>100.2</b>
Schieneverkehr Personen	43.6	0.3	2.1	<b>45.9</b>
Schieneverkehr Güter	51.6	0.3	2.4	<b>54.3</b>
Verkehr Total	1'543.5	9.2	72.9	<b>1'625.6</b>
Gesamte Luftverschmutzung	3'991.6	23.7	188.5	<b>4'203.9</b>

WTP = willingness to pay, BHK = Behandlungskosten, NPA = Nettoproduktionsausfall.



**Grafik 1: Kosten der Luftverschmutzung für verschiedene Verursacher (in Mio. CHF)**

Die gesamten Gesundheitsschäden lassen sich auch in spezifische Kostensätze pro Fahr- oder Verkehrsleistung umrechnen. Wie die Ergebnisse in Tabelle 5 zeigen, sind sowohl im Strassen- wie auch im Schienenverkehr die **Kosten pro Fzkm bzw. pro Zugkm im Güterverkehr deutlich höher als im Personenverkehr**. Im Personen- und Güterverkehr werden auf der **Strasse höhere Kosten** pro pkm bzw. tkm verursacht **als auf der Schiene**.

**Tabelle 5: Kostensätze pro Fahrleistung**

		Personenverkehr	Güterverkehr
Rp/Fzkm	Strasse	1.68	10.10
Rp/Zugkm	Schiene	32.6	172.8
Rp/pkm	Strasse	0.97	
	Schiene	0.31	
Rp/tkm	Strasse		2.98
	Schiene		0.56

Rp = Rappen, Fzkm = Fahrzeugkilometer, Zugkm = Zugkilometer, pkm = Personenkilometer, tkm = Tonnenkilometer.

## Einschätzung der Ergebnisse

Unsicherheiten sind bei den dargestellten Berechnungen immanent. Wie bereits erwähnt sind wir von einem at least Ansatz ausgegangen, d.h. dass Annahmen nach dem Grundsatz „so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch konservativ“ getroffen wurden. Insgesamt ge-

hen wir deshalb davon aus, dass die **ausgewiesenen Kosten die tatsächlichen Gesundheitsschäden unterschätzen**. Folgende Faktoren sprechen für diese Einschätzung:

- Die Gesundheitsschäden werden nur bezogen auf den Leitschadstoff PM10 evaluiert. Andere Gesundheitseffekte, welche unabhängig von PM10 durch andere Schadstoffe verursacht werden, sind in den Berechnungen nicht enthalten.
- Auf eine Gewichtung der Schadstoffemissionen wird verzichtet, obwohl es erste Hinweise gibt, dass die Emissionen von Verbrennungspartikeln toxischer sein könnten als die Emissionen mechanisch erzeugter Partikel.
- Bei den verlorenen Lebensjahren wird nicht berücksichtigt, dass die Lebenserwartung der Bevölkerung in Zukunft weiter zunehmen wird.
- Verschiedene Gesundheitsbeeinträchtigungen durch die Luftschadstoffbelastung, zu denen es keine verlässlichen epidemiologischen Studien gibt oder deren Monetarisierung problematisch ist wie z.B. Hausarztkonsultationen, Medikamentenverordnungen und Selbstmedikation, werden nicht berücksichtigt.
- Bei der Morbidität werden in den meisten Fällen nur die kurzfristigen Effekte der Luftverschmutzung beachtet. Die Langzeitwirkungen wurden aufgrund hoher methodischer Anforderungen noch nicht ausreichend untersucht, sie sind aber wie bei der Mortalität wahrscheinlich. Auswirkungen der Luftverschmutzung auf chronische Krankheiten können also nur bei den Todesfällen berücksichtigt werden.
- Die Effekte der Luftbelastung werden nur für diejenigen Altersgruppen berechnet, zu denen Studienresultate vorliegen. Beispielsweise ist die Mortalität der Ein- bis 29-Jährigen nicht berücksichtigt, da diese Altersgruppe bisher nicht in Langzeitstudien untersucht wurde. Es kann jedoch vermutet werden, dass die Luftverschmutzung bei diesen Personen ebenfalls zu einer Erhöhung der Mortalität führt.
- Es gibt bisher keine Anzeichen, dass die Luftverschmutzung unterhalb eines gewissen Schwellenwertes unbedenklich ist. Trotzdem werden in dieser Studie nur Gesundheitsschäden ab einer Referenzkonzentration von  $7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  quantifiziert, da für tiefere Konzentrationen bisher noch keine Untersuchungen vorliegen.
- Die Bewertung der immateriellen Kosten der verlorenen Lebensjahre, die mehr als 75% der gesamten Kosten ausmachen, muss möglicherweise verdoppelt werden: Die Zahlungsbereitschaft wurde aus dem Unfallkontext übernommen. Es gibt jedoch erste Hinweise, dass das unfreiwillige und unkontrollierbare Luftverschmutzungsrisiko doppelt (oder sogar dreimal) so stark empfunden wird wie das freiwillige und beeinflussbare Unfallrisiko.
- Es wurden die verlorenen Lebensjahre bewertet und nicht die frühzeitigen Todesfälle, was zu beinahe doppelt so hohen Gesundheitskosten führen würde. Oder in anderen Worten wurde zur Bewertung eines verlorenen Lebensjahres im Vergleich zur Bewertung frühzeitiger Todesfälle ein konservativer (tiefer) Kostensatz gewählt.
- Auch bei der Bestimmung der weiteren Kostensätze wurden meist vorsichtige Werte verwendet.

UVEK

Eidgenössisches Departement für Umwelt,  
Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

étude

are.....

**Bundesamt für Raumentwicklung**  
**Office fédéral du développement territorial**  
**Ufficio federale dello sviluppo territoriale**  
**Federal Office for Spatial Development**

**Externe Kosten des Verkehrs  
im Bereich Natur und Landschaft**

Monetarisierung der Verluste und  
Fragmentierung von Habitaten

# Zusammenfassung

## Der Verkehr beeinträchtigt Natur und Landschaft

Strassen- und Schienenverkehr decken zur Zeit ihre Kosten nur zum Teil. Die Kosten für die Folgen von Verkehrsimmissionen, Verkehrslärm, Unfällen und Treibhausgasemissionen werden grösstenteils von der Allgemeinheit und nicht von den Verkehrsverursachenden übernommen. Man spricht bei diesen Kosten von externen Kosten. Im Sinne des Verursacherprinzips (Art. 74 Abs. 2 und 85 Abs. 1 BV) ist es erwünscht, diese Kosten zu kennen, um sie nach Möglichkeit den Verursachern anzulasten, d.h. zu internalisieren.

Der Verkehr hat vielfältige Auswirkungen auf Natur und Landschaft. Die Wirkungen des Verkehrs auf Natur und Landschaft wurden in einem Vorprojekt identifiziert und bezüglich ihrer Relevanz bewertet. Aus dem komplexen Wirkungsgefüge Natur und Landschaft wurden in der vorliegenden Untersuchung drei Wirkungsketten näher betrachtet, wovon zwei erstmals quantifiziert und monetarisiert werden konnten. Erfasst wurden dabei die Habitate ausserhalb der Siedlungen.

- **Habitatverluste:** Der Verkehr beansprucht Boden und entzieht der Flora und Fauna Lebensraum.
- **Habitatfragmentierung:** Verkehrsanlagen zerschneiden Landschaften und stellen vor allem für Tiere teilweise unüberwindbare oder lebensgefährliche Hindernisse dar. Dadurch werden Tiere auf ihren kleinräumigen und grossräumigen Wanderbewegungen behindert. Der nutzbare Lebensraum verringert sich für sie und es kann zur Isolation von Teilpopulationen mit eingeschränktem genetischem Austausch kommen. Erfasst wurden aber auch neue ökologisch wertvolle Lebensräume (z.B. Böschungen) welche insbesondere beim Bau neuer Nationalstrassenabschnitte geschaffen wurden. Auch diese Flächen fanden (kostenreduzierend) Eingang in der Gesamtbilanzierung.
- **Habitatqualitätsverluste:** Der Verkehr verursacht z.B. Lärm, Staub, Luftschadstoffe und Erschütterungen, die die Qualität der Lebensräume beeinträchtigen. Die Qualitätsverluste konnten nicht monetarisiert werden.

Diese Wirkungsketten werden bei sieben unterschiedlichen Infrastrukturtypen ausserhalb des Siedlungsgebietes untersucht: Autobahnen, Autostrassen, 1. Klass-Strassen, 2. Klass-Strassen und 3. Klass-Strassen sowie ein- und mehrspurige Bahntrassen.

## Ermittlung der externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft

### Habitatverluste

Die Habitatverluste werden durch einen Vergleich von Habitatflächen entlang der Verkehrsinfrastrukturen in den Jahren 1998/1999 mit den Habitatflächen in den 1950er-/1960er-Jahren ermittelt. Für diesen Vergleich werden digitale Luftbilder verwendet, die

direkt am Bildschirm dreidimensional interpretiert und ausgewertet werden. Die Habitatflächenverluste werden für 27 Habitattypen mittels einer Stichprobe von 300 Infrastrukturabschnitten von ca. 1 km Länge bestimmt und auf das ganze Verkehrsnetz hochgerechnet. Dabei wird die Fläche des jeweiligen Infrastrukturabschnittes sowie eines Streifens von beidseitig 10 m (Bahnen und 1. bis 3. Klass-Strassen), bzw. 10 bis 20 m (Autostrassen), bzw. 40 bis 50 m (Autobahnen) in den Vergleich einbezogen. Diese Streifen entsprechen der angenommenen Beeinflussung der Lebensräume durch die Verkehrsinfrastruktur. Die Einbindung der Lebensräume in die Umgebung und deren Reifegrad werden mitberücksichtigt.

Die externen Kosten infolge von Habitatverlusten werden mit einem Ersatzkostenansatz bestimmt. Sie entsprechen den Kosten für die Neuschaffung verlorener Flächen aus Ausgangshabitaten (Landkauf, Erstinsandsetzung und Pflegemassnahmen). Für die Ermittlung der gewünschten Jahreskosten werden die Investitionskosten über 30 Jahre (1 Generation) abgeschrieben.

### **Habitatfragmentierung**

Im Wesentlichen werden die kleinräumigen Fragmentierungen für sechs Tiergruppen mit unterschiedlichen Ansprüchen an ihren Lebensraum und mit unterschiedlicher Mobilität erfasst. Aufgrund der Luftbilder wird festgestellt, ob auf beiden Seiten des jeweiligen Verkehrsweges geeignete Teillebensräume vorhanden sind und wo die entsprechenden Tiere den Verkehrsweg queren würden (eine Fragmentierung für Wildtiere wird nur bei Frequenzen von mehr als 10'000 Fahrzeugen pro Tag festgestellt). Der aktuelle Wissensstand über die Habitatfragmentierung wird in dieser Arbeit berücksichtigt (siehe Publikationen von BUWAL, ARE, BAV, ASTRA 2001 2001).

Die Monetarisierung erfolgt mit Hilfe von Kostensätzen für Bauwerke, die für die betroffenen Tiergruppen wieder eine Verbindung schaffen könnten. Die externen Kosten setzen sich aus den Investitionskosten für diese Bauwerke (Bauwerk, Feingestaltung und Begrünung) und den Betriebs- und Unterhaltskosten zusammen. Die Bauwerke werden je nach Infrastrukturtyp unterschiedlich dimensioniert (Breite und Spannweite).

### **Habitatqualitätsverluste**

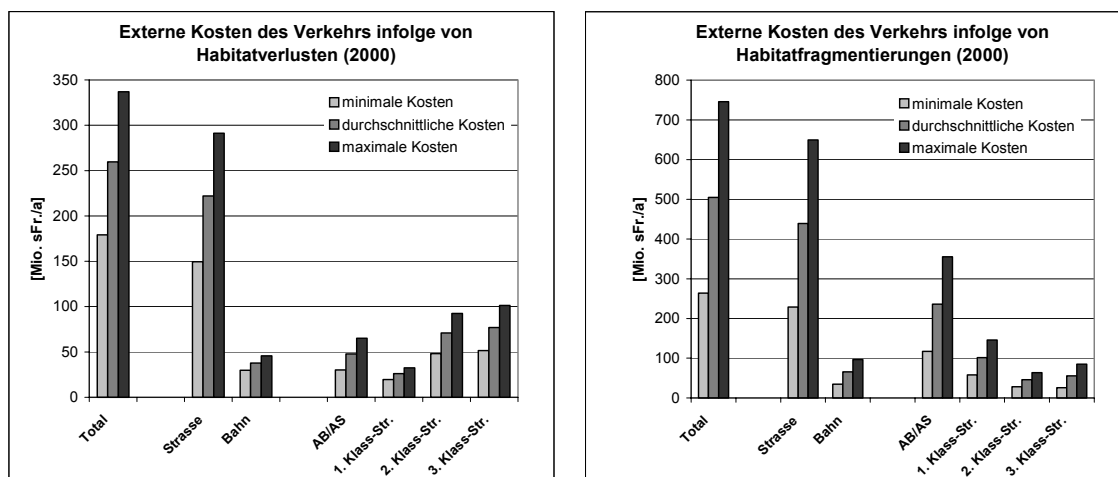
Mit der Minimierung von Zerschneidungseffekten und dem Ersatz von beeinträchtigten naturnahen Flächen werden nicht alle direkten externen Effekte von Verkehrsanlagen auf die Lebensräume erfasst. Es bleiben Resteffekte, die zu einem Qualitätsverlust in den Habitaten führen: Beispielsweise zusätzliche Belastungen durch Schadstoffe oder Lärm sowie die Zerschneidung von naturnahen Flächen zu kleinflächigen Mosaiken anstelle von grossen, zusammenhängenden Flächen (Verlust der Vernetzung). Diese

Effekte reduzieren die Habitatqualität von verbleibenden, aber auch von neu geschaffenen Ersatzhabitaten gegenüber den Habitaten in den fünfziger Jahren.

Die vorgenommenen Untersuchungen zeigen zwar, dass Qualitätsverluste auftreten. Sie können jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit quantifiziert werden, um damit Kostenschätzungen vorzunehmen. Die externen Kosten des Verkehrs beschränken sich daher in dieser Untersuchung auf die durch Habitatverluste und -zerschneidung verursachten Beeinträchtigungen.

## Die externen Kosten im Bereich Natur und Landschaft

Die erfassten externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft betragen durchschnittlich 765 Mio. sFr./a (Bandbreite: 443 bis 1'083 Mio. sFr./a; davon Habitatverluste: 179 bis 337 Mio. sFr./a, Habitatfragmentierungen: 264 bis 746 Mio. sFr./a). Rund 86% stammen von den Strasseninfrastrukturen, 37% alleine von den Autobahnen und Autostrassen und rund 14% von den Schieneninfrastrukturen.



Figur Z-1: Externe Kosten von Habitatverlusten und von Habitatfragmentierungen infolge von Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz (2000).

Bei den **Habitatverlusten** sind über 85% der externen Kosten den Strasseninfrastrukturen anzulasten. Dies ist auf die unterschiedliche Dichte der Infrastrukturnetze zurückzuführen: Die berücksichtigten Strasseninfrastrukturen ausserhalb des Siedlungsgebietes (Autobahn bis 3. Klasse-Strassen) haben eine Gesamtlänge von rund 39'685 km, diejenigen des Schienennetzes dagegen nur rund 4'096 km. Zudem wurde der grösste Teil der Eisenbahnlinien bereits vor dem hier definierten Referenzzustand der fünfziger Jahre gebaut.

Die externen Kosten von Habitatfragmentierungen sind ähnlich verteilt wie diejenigen der Habitatverluste: Rund 87% werden durch die Strasseninfrastrukturen verursacht,

davon knapp 54% von den Autobahnen und Autostrassen (die breiteren Infrastrukturen erfordern grössere Bauwerke).

Infrastrukturtypen	Externe Kosten infolge Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen in Mio. sFr./a (2000)			
	Durchschnitt		Untere Grenze der Bandbreite	Obere Grenze der Bandbreite
Total	<b>765</b>	100%	443	1'083
Strasse Total	<b>662</b>	86%	379	941
Schiene Total	<b>103</b>	14%	64	142
Autobahnen/Autostrassen	<b>284</b>	37%	147	421
1. Klass-Strassen	<b>128</b>	17%	78	178
2. Klass-Strassen	<b>117</b>	15%	77	156
3. Klass-Strassen	<b>132</b>	17%	77	186

*Tabelle Z-1: Externe Kosten des Verkehrs infolge von Habitatverlusten und Habitatfragmentierungen nach Infrastrukturtypen für die Schweiz (2000).*

Die Verteilung der (durchschnittlichen) externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft auf die Verursacher ergibt die folgenden externen Kostensätze:

Verkehrs- oder Fahrzeugkategorien	Spezifische externe Kosten Natur und Landschaft (2000)	
	Strasse	Schiene
<b>Total Personenverkehr</b>	<b>1.2 Rp./Fz.-km</b>	<b>0.7 Rp./Pkm</b>
Motorfahrräder	0.4 Rp./Fz.-km	
Motorräder	0.5 Rp./Fz.-km	
Personenwagen	1.2 Rp./Fz.-km	
Privatcars	2.4 Rp./Fz.-km	
<b>Total Güterverkehr</b>	<b>1.9 Rp./Fz.-km</b>	<b>1.2 Rp./tkm</b>
Leichte Güterfahrzeuge	1.3 Rp./Fz.-km	
Lastwagen	2.6 Rp./Fz.-km	
Schwere Sattelschlepper	3.4 Rp./Fz.-km	

*Tabelle Z-2: Externe Kosten pro Fahrzeug-km (Fz.-km, Strassenverkehr), Personen-km (Pkm, Personen-OeV) und Tonnen-km (tkm, Güter-OeV) im Bereich Natur und Landschaft (2000).*

## Plausibilisierung und Würdigung der Resultate

Die aus der Luftbilddauswertung resultierenden Habitatverluste werden mit einer weiteren Methode plausibilisiert (Habitatflächen-Sollwertvorgaben nach Broggi/Schlegel 1989). Die dabei resultierenden Ersatzkosten sind mit denjenigen aus der Luftbilddauswertung vergleichbar.

Infolge der sehr grossen Komplexität biologischer Systeme und diverser Berechnungsannahmen ist die Bandbreite der Resultate beträchtlich. Sie könnte nur mit grossem Aufwand verringert werden. Bei den verschiedenen Schritten zur Quantifizierung und Monetarisierung der externen Einflüsse des Verkehrs auf Natur und Landschaft werden in der Regel konservative Annahmen getroffen, die eher zu tiefe Kosten liefern:

- Mit den drei Wirkungsketten Habitatverlust (Fläche), Habitatfragmentierung (Zerschneidung) und Habitatqualitätsverlust wurden die wichtigsten externen Effekte des Verkehrs auf die Natur erfasst. Weniger wirksame Effekte wie z.B. Schadstoff- oder Lärmbelastung von Flora und Fauna konnten aus methodischen Gründen nicht berücksichtigt werden. Somit fallen die ermittelten Kosten eher zu tief aus.
- Ästhetische Effekte und Auswirkungen auf das Landschaftsbild werden nicht erfasst.
- Der Referenzzustand "fünfziger Jahre" basiert auf Expertenurteilen und nicht auf den bekundeten Präferenzen der Bevölkerung. Bestehende Zahlungsbereitschafts-äusserungen und politische Entscheidungen (z.B. Revision Natur- und Heimatschutzgesetz) deuten aber darauf hin, dass dieser Referenzzustand realistisch ist.
- Die Abgrenzung zwischen verkehrs- und landwirtschaftsbedingten Habitatverlusten ist sehr schwierig. Es ist nicht ausgeschlossen, dass ein Teil der verkehrsbedingten Habitatverluste der Landwirtschaft angerechnet werden könnte.
- Die Bahnen werden durch den gewählten Monetarisierungsansatz einerseits etwas bevorzugt, da die Bahninfrastruktur in den fünfziger Jahren schon weitgehend bestand. Andererseits werden auch bei den damals schon vorhandenen Bahninfrastrukturen die seit den fünfziger Jahren festgestellten Habitatverluste im Untersuchungsperimeter (+/- 10 m) der Bahninfrastruktur angerechnet, obwohl sie u.U. durch Meliorationen oder Intensivlandwirtschaft verursacht wurden.

Demnach kann davon ausgegangen werden, dass die Bandbreite der ermittelten externen Kosten des Verkehrs im Bereich Natur und Landschaft plausibel und belastbar ist. Aufgrund der verfügbaren Studien zur Zahlungsbereitschaft für Natur- und Landschaftsschutz dürfte auch die Wahl des Referenzzustandes "fünfziger Jahre" im Bereich der aktuellen individuellen Präferenzen der Bevölkerung liegen.