

# Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit

Berechnung von DALY für die Schweiz

**Schlussbericht**

**30. März 2012**

im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt

# Impressum

## Empfohlene Zitierweise

Auftragnehmer: Ecoplan  
Titel: Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit  
Untertitel: Berechnung von DALY für die Schweiz  
Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt( BAFU). Das BAFU ist ein Amt des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)  
Ort: Altdorf und Bern  
Jahr: 30. März 2012  
Bezug: [www.ecoplan.ch](http://www.ecoplan.ch)

## Begleitung

Hans Bögli, Bundesamt für Umwelt

## Projektteam Ecoplan

Christoph Lieb (Projektleitung)  
Marcel Buffat  
Heini Sommer

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](http://www.ecoplan.ch)

Thunstrasse 22

CH - 3005 Bern

Tel +41 31 356 61 61

Fax +41 31 356 61 60

[bern@ecoplan.ch](mailto:bern@ecoplan.ch)

Postfach

CH - 6460 Altdorf

Tel +41 41 870 90 60

Fax +41 41 872 10 63

[altdorf@ecoplan.ch](mailto:altdorf@ecoplan.ch)

## Inhaltsverzeichnis

	<b>Das Wichtigste auf einer Seite.....</b>	<b>2</b>
	<b>Abkürzungen und Glossar.....</b>	<b>3</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methodik, Abgrenzungen und Datengrundlagen.....</b>	<b>4</b>
2.1	Methodik.....	4
2.2	Abgrenzungen.....	5
2.3	Datengrundlagen .....	7
<b>3</b>	<b>Ischämische Herzkrankheiten .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Lernschwierigkeiten bei Kindern .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Schlafstörungen.....</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Belästigung .....</b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>Anhang A: Lärmbelastung gemäss SonBase .....</b>	<b>19</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>21</b>

## Das Wichtigste auf einer Seite

Die WHO hat 2011 in der Studie „Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe“ eine **Methodik** entwickelt, **um die Folgen des Lärms auf die Gesundheit zu quantifizieren**. Als Ergebnis werden sogenannte DALY (disability adjusted life years) ausgewiesen. DALY sind eine Masszahl für die Sterblichkeit und die Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit. Ein DALY entspricht einem verlorenen Lebensjahr bei einwandfreier Gesundheit.

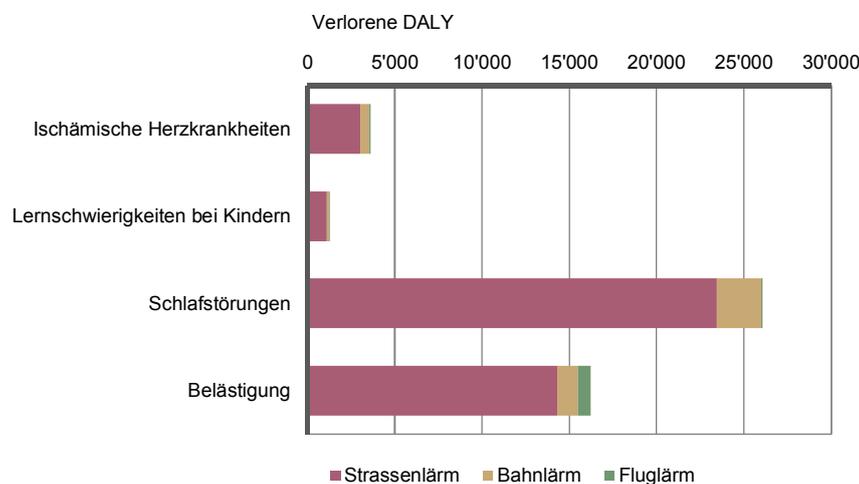
In dieser Studie werden anhand derselben Methode die **lärmbedingten Gesundheitseffekte in der Schweiz im Jahr 2000** berechnet. Berücksichtigt werden dabei die Auswirkungen von Strassen-, Bahn- und Fluglärm auf die folgenden Krankheitsbilder:

- Ischämische Herzkrankheiten
- Lernschwierigkeiten bei Kindern
- Schlafstörungen
- Belästigungen

Die **wichtigsten Ergebnisse** sind nachfolgend dargestellt (vgl. Abbildung K-1):

- Insgesamt gehen in der Schweiz durch verkehrslärmbedingte Gesundheitseffekte rund **47'200 DALY** verloren. Die Berechnung basiert auf Annahmen, die teilweise unsicher sind, die Bandbreite der Berechnungen liegt zwischen 25'300 und 140'000 DALY.
- **Strassenlärm ist für den grössten Anteil der verlorenen DALY verantwortlich**. 89% der durch Verkehrslärm in der Schweiz verlorenen DALY sind auf ihn zurückzuführen. Durch Bahn- bzw. Fluglärm gehen 9% bzw. 2% der DALY verloren, wobei der Fluglärm unterschätzt wird, da dort Daten zu geringen Lärmbelastungen fehlen.
- **Am meisten DALY gehen durch verkehrslärmbedingte Schlafstörungen (55%) und Belästigungen (34%) verloren**. Auf Verkehrslärm zurückzuführende ischämische Herzkrankheiten und Lernschwierigkeiten bei Kindern haben mit 8% respektive 3% einen deutlich kleineren Anteil an den gesamten durch Verkehrslärm verlorenen DALY.

**Abbildung K-1: Verlorene DALY aufgrund lärmbedingter Krankheitsbilder nach Verkehrsträger**



## Abkürzungen und Glossar

DALY	Englische Abkürzung für <b>Disability Adjusted Life Years</b> (Behinderungsbeinigtes Lebensjahr). Die DALY setzen sich zusammen aus den verlorenen Lebensjahren durch vorzeitigen Tod (YLL) und mit Behinderung gelebte Lebensjahre (YLD).
dB(A)	Dezibel. Einheit für die Messung des Schalldruckpegels mit dem Bewertungsfiter (A). Ein Mass für die Stärke der tatsächlich wahrgenommenen Lärmbelastung.
DW	Englische Abkürzung für <b>Disability Weight</b> . Das DW ist ein Mass für die Schwere der Behinderung auf einer Skala zwischen 0 (Perfekte Gesundheit) und 1 (Tod)
$L_{\text{day}}$	Taglärmindex für die Lärmbelastung während des Tages (06:00-22:00).
$L_{\text{den}}$	Tag-Abend-Nacht-Lärmindex. Durchschnitt aus $L_{\text{day}}$ (12 Stunden), $L_{\text{evening}}$ (4 Stunden), $L_{\text{night}}$ (8 Stunden), wobei $L_{\text{evening}}$ und $L_{\text{night}}$ mit einem Pegelzuschlag von 5 dB(A) respektive 10 dB(A) bestraft werden.
$L_{\text{dn}}$	Analoger Durchschnittslärmindex wie $L_{\text{den}}$ . Es werden 16 Tages- und 8 Nachtstunden berücksichtigt, wobei der Nachtlärm ebenfalls mit einem Pegelzuschlag von 10 dB(A) bestraft wird.
$L_{\text{night}}$	Nachtlärmindex für die die Lärmbelastung während der Nacht (22:00-06:00)
YLD	Englische Abkürzung für <b>Years Lived with Disability</b> (mit Behinderung gelebte Lebensjahre)
YLL	Englische Abkürzung für <b>Years of Life Lost</b> (verlorene Lebensjahre durch vorzeitigen Tod)

## 1 Einleitung

Die WHO hat 2011 die Studie „Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe“ publiziert. Darin wird dargestellt, wie die Folgen des Lärms auf die Gesundheit quantifiziert werden können. Zudem sind im Bericht die Gesundheitsschäden durch die Lärmbelastung für Westeuropa konkret berechnet worden. Als Ergebnis werden sogenannte DALY (disability adjusted life years) ausgewiesen. DALY sind eine Masszahl für die Sterblichkeit und die Beeinträchtigung des normalen beschwerdefreien Lebens durch eine Krankheit.

Im vorliegenden Kurzbericht, werden mit der gleichen WHO-Methodik die durch **Verkehrslärm verursachten Gesundheitseffekte in der Schweiz** ermittelt. Die Berechnungen werden dabei differenziert für den Lärmbelastung durch den **Strassen-, Bahn- und Luftverkehr** vorgenommen. Der Bericht ist wie folgt aufgebaut:

- Im Kapitel 2 wird die Berechnungsmethodik kurz erläutert, wobei auf eine ausführliche Darstellung verzichtet wird. Interessierte Leserinnen und Leser finden die vollständige Dokumentation der Methodik in der WHO-Studie.<sup>1</sup>
- In Kapitel 3 bis 6 werden die Berechnungen für die jeweiligen Krankheitsbilder (ischämische Herzkrankheiten, Lernschwierigkeiten bei Kindern, Schlafstörungen und Belästigungen) einzeln präsentiert.
- Kapitel 7 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse über die erwähnten Krankheitsbilder. Die Resultate werden auch mit denjenigen der WHO-Studie verglichen.
- Zusätzlich wird im Anhang die Lärmbelastung der Bevölkerung in der Schweiz durch die jeweiligen Verkehrsträger (Strasse, Bahn und Flugzeug) dargestellt.

## 2 Methodik, Abgrenzungen und Datengrundlagen

### 2.1 Methodik

Die **Methodik wird aus der WHO-Studie übernommen**. Die folgende Abbildung 2-1 zeigt das allgemeine Ablaufschema für die Berechnung:

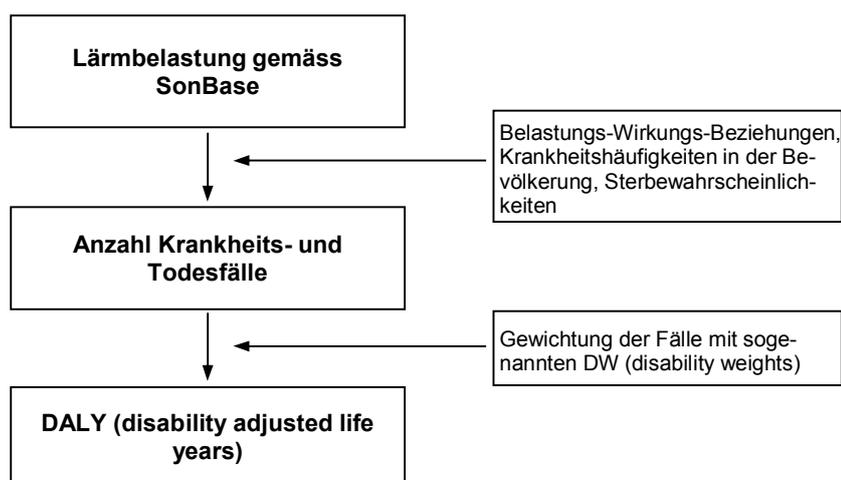
- Aus der Lärmbelastung der Bevölkerung wird mit Hilfe von Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten und Sterbewahrscheinlichkeiten berechnet, wie viele Krankheits- und Todesfälle durch den Lärm verursacht werden.

---

<sup>1</sup> WHO (2011), Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe.

- Diese werden über sogenannte disability weights (DW)<sup>2</sup> in disability adjusted life years (DALY) umgerechnet. DALYs sind die Summe aus verlorenen Lebensjahren aufgrund von frühzeitigen Todesfällen sowie dem Verlust an Lebenszeit durch Krankheit. Dabei wird Letzteres auch in verlorene Lebensjahre umgerechnet, indem mit einem bestimmten Prozentwert (=DW) multipliziert wird. Die Höhe des DWs ist abhängig von der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch die Krankheit.

Abbildung 2-1: Methodik zur Berechnung der Gesundheitseffekte



## 2.2 Abgrenzungen

### a) Untersuchungsjahr

Für die Ermittlung der Lärmbelastung wird von den im 2009 publizierten Daten der Lärmdatenbank SonBase ausgegangen.<sup>3</sup> Diese Berechnungen basieren bezüglich Bevölkerung und Anzahl Wohnungen auf den Daten für das Jahr 2000. Alle weiteren Berechnungen basieren ebenfalls auf diesem Bezugsjahr.

### b) Berücksichtigte Krankheitsbilder und Lärmarten

In der WHO-Studie werden die Auswirkungen des Lärms auf die Gesundheit in fünf Bereichen untersucht (vgl. Abbildung 2-2).

<sup>2</sup> Die DW sind die Umrechnungsfaktoren, welche verwendet werden, um die Zahl der Krankheitsfälle in DALY umzurechnen.

<sup>3</sup> Eine ausführliche Beschreibung der GIS-Lärmdatenbank SonBase bietet BAFU (2009), SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz.

**Abbildung 2-2: Krankheitsbilder, Lärmdaten und Lärmschwellen gemäss WHO**

Krankheitsbild	Verwendete Lärmdaten	Lärmschwelle
Herzinfarkt / ischämische Herzkrankheiten	Tageslärm $L_{day, 16h}$	ab 57 dB(A)
Lernschwierigkeiten bei Kindern	Tages- und Nachtlärm $L_{dn}$	ab 50 dB(A)
Schlafstörungen	Nachtlärm $L_{night}$	ab 40 dB(A)
Tinnitus (Ohrensausen)	Grobe Abschätzung ohne direkte Lärmdaten	ab 70-75 dB(A)
Belästigung	Tages-, Abend- und Nachtlärm $L_{den}$ (Alternative über $L_{dn}$ )	ab 42 dB(A)

Auch die vorliegende Studie geht grundsätzlich von diesen Krankheitsbildern aus, wobei zwei explizit ausgeklammert werden:

- **Tinnitus** wird **weggelassen**, weil diese Krankheit typischerweise erst bei einer Lärmbelastung von über 70 bis 75 dB(A) auftritt und daher der Verkehr als Ursache weniger relevant ist. Verursacher ist stattdessen sozialer bzw. Freizeitlärm wie zum Beispiel Musikhören mit Kopfhörern, Schiessen, Konzerte, Sportanlässe und Feuerwerk. Dies sind aber typischerweise Lärmarten, die bewusst in Kauf genommen werden bzw. denen man ausweichen könnte.
- Für Bluthochdruck werden in der WHO-Studie (S. 22-23) lediglich mehrere Studienresultate erwähnt, wobei aber keine konkreten Angaben für eine Berechnung genannt werden. Wie in der WHO-Studie wird folglich **Bluthochdruck** in den Berechnungen **vernachlässigt**.

Bei den übrigen Krankheitsbildern gilt es zu beachten, dass die Umrechnung der Krankheitsfälle in DALY nicht immer einfach ist bzw. zum Teil mit grösseren **Unsicherheiten** verbunden ist. Daher werden – wo möglich – die Ergebnisse in Bandbreiten dargestellt:

- Bei **Schlafstörungen** und **Belästigungen** verwendete die WHO neben einer besten Schätzung für die „disability weights“ (DW) auch obere und untere Schätzwerte. Diese oberen und unteren Werte werden hier ebenfalls berechnet.
- Bei den **ischämischen Herzkrankheiten** werden Bandbreiten berechnet, indem der Gesundheitseffekt einerseits für alle ischämischen Herzkrankheiten und andererseits nur für den Herzinfarkt dargestellt wird. Zudem werden bei den Maximalwerten die verlorenen Lebensjahre nicht diskontiert (vgl. Kapitel 3).

Für **Lernschwierigkeiten bei Kindern** werden wie in der WHO-Studie keine Bandbreiten ausgewiesen.

### c) Lärmschwelle

Für die Ermittlung der negativen Auswirkungen des Lärms ist festzulegen, von welcher Lärmschwelle auszugehen ist, bei deren Überschreitung mit Belästigungen oder Gesundheitsschäden zu rechnen ist. Dabei wird von den gleichen Schwellenwerten ausgegangen, wie sie auch von der WHO verwendet werden (vgl. Abbildung 2-2).

## 2.3 Datengrundlagen

### a) Lärmexposition der Bevölkerung

Für die Berechnung der Krankheitseffekte werden Lärmdaten in unterschiedlicher Form verwendet (vgl. Abbildung 2-2).

- Für den Strassen- und Bahnlärm liegen die Daten für Tageslärm ( $L_{\text{day}}$ ), Nachtlärm ( $L_{\text{night}}$ ), durchschnittlichen Tages- und Nachtlärm  $L_{\text{dn}}$  und durchschnittlichen Tages-, Abend- und Nachtlärm ( $L_{\text{den}}$ ) ab 40 dB(A) in 1 dB(A)-Klassen vor.<sup>4</sup>
- Beim Flugverkehr ist die Datenlage weniger gut. Für Nachtlärm ( $L_{\text{night}}$ ) liegen die Daten erst ab 50 dB(A) und für Tages- sowie Tag-Abend-Nacht-Lärm erst ab 55 dB(A) vor – und je nur in 5 dB(A)-Klassen. Für den durchschnittlichen Tag-Nacht-Lärm ( $L_{\text{dn}}$ ) liegen keine originären Daten vor.  $L_{\text{dn}}$  wurde daher basierend auf  $L_{\text{den}}$  grob abgeschätzt.<sup>5</sup>

Die grafische Auswertung der Daten ist im Anhang dieses Kurzberichtes enthalten.

Insgesamt basieren die Berechnungen der Gesundheitsschäden durch Strassen- und Bahnlärm auf genaueren Daten als in der WHO-Studie:

- Der WHO lagen nur Daten in 5 dB(A)-Klassen vor. Da die Anzahl lärmbelastete Personen innerhalb einer 5 dB(A)-Klasse nicht gleich verteilt sind (vgl. die Abbildungen im Anhang A), führt die Vorgehensweise der WHO zu einer geringen Überschätzung.
- Die WHO verfügte nur über Daten ab 45 oder 55 dB(A). Die Effekte zwischen 40 und 45 bzw. 55 dB(A) mussten durch die WHO deshalb vernachlässigt werden.

### b) Belastungs-Wirkungs-Beziehungen

Die Auswirkungen des Lärms auf die Anzahl Krankheits- und Todesfälle werden anhand von sogenannten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen ermittelt. Diese zeigen auf, wie sich das Risiko einer Krankheit erhöht, wenn die Lärmbelastung zunimmt. Die für den vorliegenden Bericht verwendeten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen basieren vollumfänglich auf der WHO-Studie. Allfällige Unterschiede bezüglich der Belastungs-Wirkungs-Beziehung zwischen einzelnen Ländern werden damit nicht berücksichtigt.

### c) Häufigkeit von Krankheits- und Todesfällen

Für die Berechnung der verlorenen Lebensjahre und der zusätzlichen Krankheitsfälle durch ischämische Herzkrankheiten bzw. durch Herzinfarkt werden neben den Belastungs-

---

<sup>4</sup>  $L_{\text{den}}$  ist ein Durchschnitt über den Tag, bei dem 12 Stunden Tageslärm, 4 Stunden Abendlärm und 8 Stunden Nachtlärm aggregiert werden, wobei der Abendlärm mit 5 dB(A) und der Nachtlärm mit 10 dB(A) bestraft wird.  $L_{\text{dn}}$  ist ein analoger Durchschnitt von 16 Tages- und 8 Nachtstunden, wobei der Nachtlärm ebenfalls um 10 dB(A) erhöht wird.

<sup>5</sup> Für die Umrechnung gilt für den Luftverkehr folgende Gleichung:  $L_{\text{dn}} = L_{\text{den}} - 0.6$  (vgl. Miedema / Oudshoorn (2001), Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals, S. 415).

Wirkungs-Beziehungen auch die Häufigkeiten der Krankheits- und Todesfälle in der Schweiz verwendet.

- Für die Todesfälle stand uns die Todesursachenstatistik des BFS differenziert nach 1-Jahres-Altersklassen und nach Geschlecht zur Verfügung.<sup>6</sup> Die Berechnung erfolgt gleich wie im Bericht zu den externen Lärmkosten des Verkehrs<sup>7</sup> und ermöglicht die Ermittlung des genauen zeitlichen Anfalls der verlorenen Lebensjahre. Dazu wird der Umfang der im Jahr 2000 lebenden Bevölkerung (nach Jahrgängen gegliedert) aufgrund von Sterbewahrscheinlichkeiten über die nächsten 100 Jahre berechnet – einmal mit den heutigen Sterberaten und einmal mit Sterberaten, die im Jahr 2000 verringert wurden unter der Annahme, dass kein Verkehrslärm auftritt. Die Differenz dieser beiden Berechnungen zeigt die verlorenen Lebensjahre aufgrund des Lärms im Jahr 2000.<sup>8</sup>
- Die Anzahl Krankheitsfälle wurde anhand der Anzahl (stationären und teilstationären) Spitaleintritten berechnet.<sup>9</sup> Als Datenquelle diente die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2000. Um Doppelzählungen zu vermeiden, wurden wie in der WHO-Studie (S. 25) bei der Ermittlung der Anzahl Krankheitsfälle die Anzahl Todesfälle von der Anzahl Spital-eintritte abgezogen.

### 3 Ischämische Herzkrankheiten

In verschiedenen epidemiologischen Studien wurde gezeigt, dass der Stress, welcher durch Verkehrslärm ausgelöst wird, das Risiko für ischämische Herzkrankheiten im Allgemeinen und akutem Herzinfarkt im Speziellen erhöht.

Die WHO (S. 22) hat eine Belastungs-Wirkungs-Beziehung für den Strassenverkehr hergeleitet. Diese wird mangels Alternativen auch für den Bahn- und Fluglärm angewendet. Die Belastungs-Wirkungs-Beziehung zeigt, dass ab einer Lärmbelastung von 57 dB(A) mit zusätzlichen ischämischen Herzkrankheiten zu rechnen ist.

---

<sup>6</sup> Diese Daten wurden uns vom BfS zur Verfügung gestellt.

<sup>7</sup> EcoPLAN et al. (2004), Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, S. 80-81.

<sup>8</sup> Für Details siehe EcoPLAN et al. (2004), Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung, Anhang C.

<sup>9</sup> Als **stationäre Behandlung** gelten Aufenthalte im Spital von mindestens 24 Stunden zur Untersuchung, Behandlung und Pflege. Aufenthalte im Spital von weniger als 24 Stunden, bei denen während einer Nacht ein Bett belegt wird, sowie Aufenthalte im Spital bei Überweisung in ein anderes Spital und bei Todesfällen gelten ebenfalls als stationäre Behandlung.

Als **teilstationäre Behandlung** gelten geplante Aufenthalte zur Untersuchung, Behandlung und Pflege, die an die Behandlung anschliessende Überwachung oder Pflege sowie die Benutzung eines Bettes erfordern. Wiederholte Aufenthalte in Tages- oder Nachtkliniken gelten ebenfalls als teilstationär.

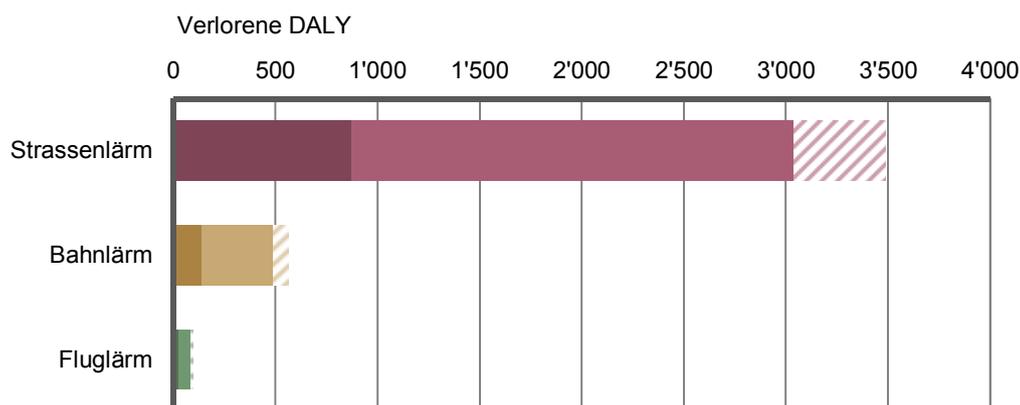
Angaben zu der Anzahl ambulanter Behandlungen standen nur für den Myokardinfarkt und nicht für alle ischämischen Herzkrankheiten zur Verfügung. Ambulante Behandlungen wurden daher nicht berücksichtigt.

Anhand der lärmexponierten Bevölkerung und dem relativen Risiko eines lärmbedingten Krankheitsfalles wurde der Anteil lärmbedingten Erkrankungen (people attributable fraction [PAF]) berechnet: Von den durch ischämische Herzkrankheiten in der Schweiz verursachten Krankheits- und Todesfällen sind demzufolge 3.02% auf Strassenlärm, 0.49% auf Bahnlärm und 0.09% auf Fluglärm zurückzuführen.

Dadurch gehen schweizweit rund 3'600 beschwerdefreie Lebensjahre (DALY) verloren (davon rund 90% durch Todesfälle und rund 10% durch Krankheitsfälle). Der grösste Anteil der DALY fällt dabei auf den Strassenverkehrslärm (84.0%), gefolgt vom Bahnlärm (13.6%). Fluglärm hat mit 2.4% insgesamt bei dieser Krankheit nur eine geringe Bedeutung (vgl. Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2).

Um die Unsicherheit der Ergebnisse darzustellen, werden die Resultate auf drei Arten berechnet:

**Abbildung 3-1: Verlorene DALY aufgrund lärmbasierter ischämischer Herzkrankheiten differenziert nach Verkehrsträger**



**Hinweis zum Lesen der Abbildung:** Die unterschiedlichen Flächen reflektieren die minimalen, mittleren und maximalen Werte: Dunkle Fläche = minimaler Wert, dunkle + helle Fläche = mittlerer Wert, dunkle + helle + schraffierte Fläche = maximaler Wert.

**Abbildung 3-2: Verlorene DALY durch ischämische Herzkrankheiten für Strassen-, Bahn-, Flug- und Verkehrslärm insgesamt**

Verlorene DALY durch Ischämische Herzkrankheiten	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Männer	552	1'815	2'105	89	293	340	16	52	60	657	2'160	2'505
Frauen	321	1'223	1'382	52	198	223	9	35	39	382	1'456	1'644
<b>Total</b>	<b>873</b>	<b>3'039</b>	<b>3'487</b>	<b>141</b>	<b>491</b>	<b>564</b>	<b>25</b>	<b>86</b>	<b>99</b>	<b>1'039</b>	<b>3'616</b>	<b>4'150</b>
<b>Anteil am Verkehrslärm</b>	<b>84.0%</b>			<b>13.6%</b>			<b>2.4%</b>			<b>100.0%</b>		

- Minimal werden die diskontierten verlorenen Lebensjahre<sup>10</sup> durch Herzinfarkte berechnet.
- Für das Mittel werden die diskontierten verlorenen Lebensjahre durch *alle ischämischen Herzkrankheiten* berechnet. Bei der Berechnung der DALY in Europa nimmt die WHO an (S. 28), dass der Anteil der lärmbedingten Herzinfarkte auf alle ischämischen Herzkrankheiten angewendet werden kann. Es ist davon auszugehen, dass dies zulässig ist (WHO, S. 29), so dass die Beschränkung auf die Herzinfarkte ausschliesslich zur Berechnung des Minimums angewendet wird und beim Mittelwert auf diese konservative Annahme verzichtet wird
- Im Maximum werden die *undiskontierten* verlorenen Lebensjahre durch alle ischämischen Herzkrankheiten berechnet.

## 4 Lernschwierigkeiten bei Kindern

Lärm beeinträchtigt das Gedächtnis von Kindern. Dies führt zu einer eingeschränkten Konzentrations- und Merkfähigkeit, was den Lernprozess im Vergleich zu nicht lärmexponierten Kindern verlangsamt.

Die Berechnung der Anzahl Kinder mit lärmbedingten Lernschwierigkeiten erfolgte basierend auf einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung und unter der Annahme, dass die Kinder (zwischen 7 und 19 Jahren) bezüglich der Lärmexposition gleich verteilt sind wie die Erwachsenen.<sup>11</sup> Zwischen 50 dB(A) und 90 dB(A)  $L_{dn}$  steigt der Anteil der Kinder, welche Lernschwierigkeiten entwickeln von 0% auf 100% (WHO, S. 48).<sup>12</sup> Die so ermittelte Anzahl Kinder mit Lernschwierigkeiten werden zur Berechnung der DALY mit einem DW von 0.006 gewichtet (WHO, S. 49).<sup>13</sup>

---

<sup>10</sup> Aus der Ökonomie ist bekannt, dass sofortiger Konsum höher bewertet wird als künftiger Konsum. Das gleiche Prinzip gilt auch für Lebensjahre. Dem aktuellen Lebensjahr wird eine deutlich grössere Bedeutung beigemessen als einem Lebensjahr in der fernen Zukunft. Dies äussert sich beispielsweise darin, dass die meisten Menschen für das aktuelle Lebensjahr bereits über konkrete Pläne verfügen, während i.d.R. noch nicht klar ist, wo man in der fernen Zukunft stehen wird. Für die Berechnung in EcoPlan (2011) wurde eine reale Diskontrate von 2% verwendet (vgl. SN 641 821). Die WHO verzichtet in Ihrer Studie auf eine Diskontierung.

<sup>11</sup> Die Belastungs-Wirkungs-Beziehung wurde von der WHO basierend auf Studien zum Fluglärm ermittelt. Für diese Studie wird wie in der WHO-Studie angenommen, dass die Dosis-Wirkungsbeziehung bei Flug-, Strassen- und Bahnlärm gleich ist. Aufgrund der Intensität, Unvorhersehbarkeit und der Variabilität des Fluglärms ist aber davon auszugehen, dass er stärkere Auswirkungen auf Kinder hat als Strassenlärm, welcher gleichmässiger anfällt (WHO, S. 51). Eine Überschätzung des Strassen- und Schienenlärms wird mit diesem Vorgehen in Kauf genommen, wobei darauf hinzuweisen ist, dass die Problematik durch die Wahl eines konservativen DW entschärft wird (vgl. auch nachfolgende Fussnote 13).

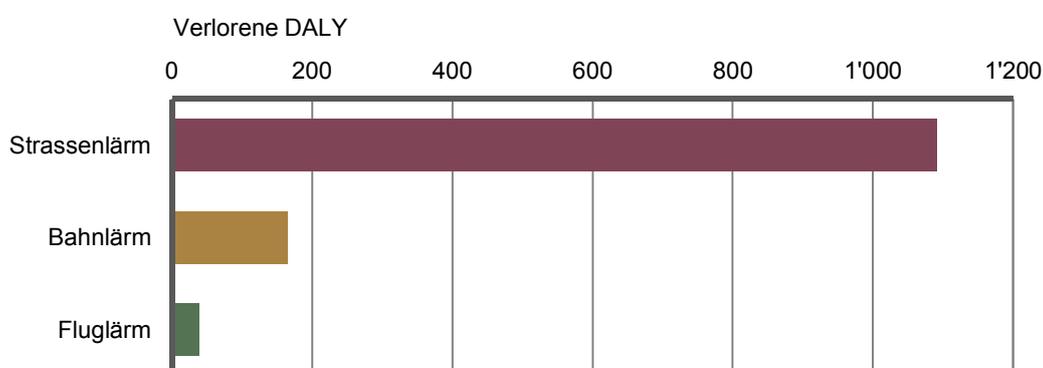
<sup>12</sup> Die Lärmbelastung wird dabei am Wohnort gemessen. Es ist anzunehmen, dass die Lärmbelastung am Schulort ebenfalls entscheidend ist. Dazu liegen jedoch keine Daten vor.

<sup>13</sup> Der DW von 0.006 stellt dabei eine sehr konservative Schätzung dar. Weniger konservative Studien weisen gemäss der WHO-Studie einen DW von 0.468 respektive 0.024 aus.

In der Schweiz entwickeln insgesamt rund 215'000 Kinder (knapp 20% aller Kinder) Lernschwierigkeiten, weil sie Verkehrslärm ausgesetzt sind.

Wie die beiden nachfolgenden Abbildungen zeigen, gehen bei Kindern rund 1'300 DALY verloren, wobei auch hier der Strassenlärm den grössten Anteil der verlorenen DALY verursacht (rund 1'100 DALY oder 84.3%). Bahn- bzw. Fluglärm führen zum Verlust von 164 DALY (12.7%) bzw. 39 DALY (3%). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Anzahl verllorener DALY beim Fluglärm unterschätzt wird, weil aufgrund fehlender Daten Kinder nicht berücksichtigt werden konnten, welche einem Lärmpegel zwischen 50 dB(A) und 54.9 dB(A) ausgesetzt sind.<sup>14</sup>

**Abbildung 4-1: Verlorene DALY aufgrund lärmbasierter Lernschwierigkeiten bei Kindern differenziert nach Verkehrsträger**



**Abbildung 4-2: Verlorene DALY durch Lernschwierigkeiten bei Kindern für Strassen-, Bahn-, Flug- und Verkehrslärm insgesamt**

Verlorene DALY durch	Strassenlärm	Bahnlärm	Fluglärm	Verkehrslärm = Total
Lernschwierigkeiten bei Kindern	1'091	164	39	1'294
Anteil am Verkehrslärm	84.3%	12.7%	3.0%	100.0%

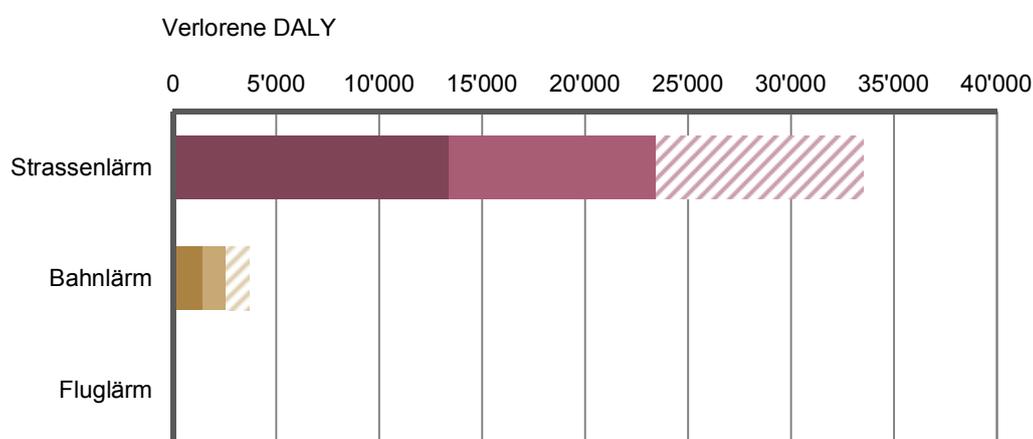
<sup>14</sup> Würden im Schienenverkehr ebenfalls nur eine Lärmbelastung ab 50 dB(A) berücksichtigt, würden sich die DALY gegenüber den ausgewiesenen Ergebnissen in Abbildung 4-2 um rund 8% vermindern. Dieses Ausmass kann als indikative Grössenordnung für die Unterschätzung der lärmbedingten Auswirkungen des Flugverkehrs dienen. Dieselbe Rechnung im Strassenverkehr ergäbe hier zwar ein ähnliches Ergebnis, allerdings kann die Unterschätzung des Strassenverkehrs weniger gut auf den Flugverkehr übertragen werden, weil es sich beim Fluglärm um definierte Korridore und nicht wie beim Strassenverkehr um ein feinmaschiges Netz handelt.

## 5 Schlafstörungen

Schlafstörungen sind die häufigsten lärmbedingten Beschwerden und haben einen grossen Einfluss auf die Gesundheit und die Lebensqualität. Ungenügender Schlaf führt zu Müdigkeit am Tag, reduzierter Konzentrationsfähigkeit und einer schwächeren Arbeitsleistung.

Die Berechnung der Anzahl Personen mit Schlafstörungen erfolgt basierend auf den in der WHO-Studie aufgeführten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, welche nach Verkehrsträger (Strassen-, Bahn- und Luftverkehr) differenziert sind und für einen Bereich zwischen 40 dB(A) und 70 dB(A) definiert sind. Anschliessend werden die lärmbelasteten Personen zur Berechnung der DALY mit einem DW von 0.07 gewichtet (WHO, S. 60-61).

Abbildung 5-1: Verlorene DALY durch Schlafstörungen differenziert nach Verkehrsträger



**Hinweis zum Lesen der Abbildung:** Die unterschiedlichen Flächen reflektieren die minimalen, mittleren und maximalen Werte: Dunkle Fläche = minimaler Wert, dunkle + helle Fläche = mittlerer Wert, dunkle + helle + schraffierte Fläche = maximaler Wert.

Abbildung 5-2: Verlorene DALY durch Schlafstörungen für Strassen-, Bahn-, Flug- und Verkehrslärm insgesamt

Verlorene DALY durch	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Schlafstörungen	13'404	23'456	33'509	1'463	2'560	3'657	31	54	77	14'898	26'071	37'244
Anteil am Verkehrslärm	90.0%			9.8%			0.2%			100.0%		

Die Berechnungen zeigen, dass in der Schweiz rund 372'000 Personen an Schlafstörungen leiden, welche auf Verkehrslärm zurückzuführen sind. Es überrascht nicht, dass auch hier die meisten verkehrslärmbedingten Schlafstörungen durch Strassenlärm verursacht werden. Strassenlärm bewirkt bei ca. 335'000 Personen Schlafstörungen, Bahnlärm bei 36'500 Personen und Fluglärm bei 775 Personen. Die Schlafstörungen führen insgesamt zu einem Ver-

lust von rund 26'000 DALY. Davon sind rund 23'500 DALY (90%) auf Strassenlärm und 2'550 DALY (9.8%) auf Bahnlärm zurückzuführen. Der Verlust der restlichen 54 DALY wird durch Fluglärm verursacht (vgl. Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2). Die Auswirkungen des Fluglärms werden jedoch stark unterschätzt, da die Anzahl Personen, welche mit einem Lärmpegel zwischen 40 dB(A) und 50 dB(A) belastet werden, aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigt werden konnten.<sup>15</sup>

Die Sensitivität der Ergebnisse wurde analog der WHO-Studie unter der Verwendung von verschiedenen DWs dargestellt (vgl. Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2): Statt einem DW von 0.07 wurde auch mit DW von 0.04 und 0.10 gerechnet. Entsprechend gehen 15'000 oder 37'000 DALY verloren. Die Anteile der verschiedenen Verkehrsträger bleiben dabei konstant.

## 6 Belästigung

Lärm führt nicht nur zu Schlafstörungen, sondern bewirkt auch eine allgemeine Belästigung. Diese äussert sich insbesondere durch Gereiztheit, körperliche Unruhe, Verstimmung und Stress.

Für die Berechnung werden wiederum die nach den drei Verkehrsträgern differenzierten Dosis-Wirkungs-Beziehungen der WHO basierend auf  $L_{den}$  ab 42 dB(A) verwendet.<sup>16</sup> Bezüglich der Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch lärminduzierte Belästigung herrscht grosse Unsicherheit. Deshalb ist es schwierig, den DW zu bestimmen. Die WHO (S. 93) rechnet mit einem DW von 0.02, im Rahmen der Sensitivitätsanalyse aber auch mit 0.01 und 0.12. Das Unsicherheitsintervall ist damit mit -50% / +500% sehr gross.

In der Schweiz werden insgesamt rund 810'000 Personen durch Verkehrslärm belästigt, was zu gut 16'000 verlorenen DALY führt. Strassenlärm bewirkt auch bei der Belästigung den grössten Verlust an DALY (88.2%), während Bahn- und Fluglärm zu deutlich weniger verlorenen DALY führen (7.3% resp. 4.6%, vgl. Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2). Allerdings werden auch hier die Auswirkungen des Fluglärms unterschätzt.<sup>17</sup>

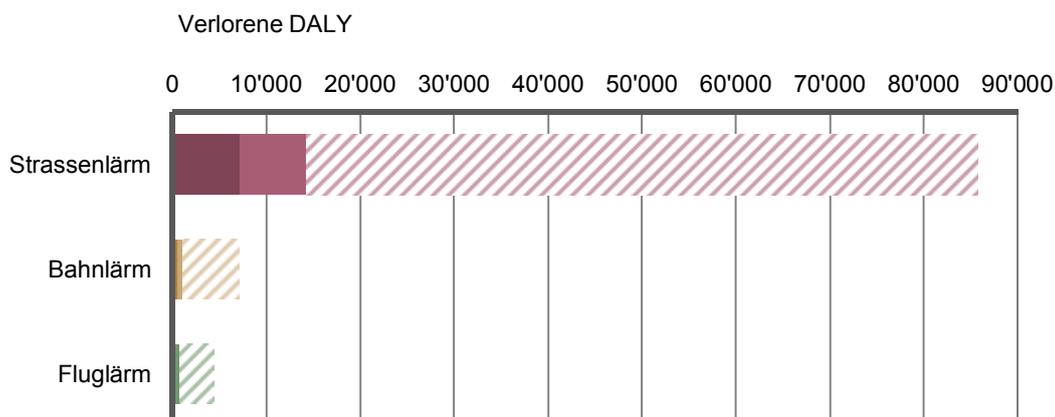
Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse schwankt die Zahl der verlorenen DALY zwischen 8'000 und 98'000.

---

<sup>15</sup> Würden im Schienenverkehr ebenfalls nur eine Lärmbelastung ab 50 dB(A) zur Verfügung stehen bzw. für die Berechnungen berücksichtigt, so würden im Schienenverkehr 32% weniger DALY ausgewiesen. (vgl. auch Fussnote 14 auf S. 10).

<sup>16</sup> Auf die alternative Möglichkeit die Dosis-Wirkungs-Beziehungen basieren auf  $L_{dn}$  auszuweisen (WHO, S: 93) wurde verzichtet, weil die Abweichungen nur zwischen 0.34% und -9.2% liegen und beim Flugverkehr für  $L_{dn}$  keine originären Daten zur Verfügung stehen. Im Vergleich zur bei den Unsicherheitsintervalls in Abbildung 2-1 ist die Abweichung von -9.2% gering.

<sup>17</sup> Die Anzahl der ausgewiesenen DALY würde sich um 16% vermindern, wenn im Schienenverkehr ebenfalls nur Daten ab 50 dB(A) zur Verfügung stehen würden. (vgl. auch Fussnote 14 auf S. 10).

**Abbildung 6-1: Verlorene DALY durch Belästigung differenziert nach Verkehrsträger**

**Hinweis zum Lesen der Abbildung:** Die unterschiedlichen Flächen reflektieren die minimalen, mittleren und maximalen Werte: Dunkle Fläche = minimaler Wert, dunkle + helle Fläche = mittlerer Wert, dunkle + helle + schraffierte Fläche = maximaler Wert.

**Abbildung 6-2: Verlorene DALY durch Belästigung für Strassen-, Bahn-, Flug- und Verkehrslärm insgesamt**

Verlorene DALY durch Belästigung	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
	7'149	14'298	85'789	589	1'179	7'073	369	739	4'434	8'108	16'216	97'295
Anteil am Verkehrslärm	88.2%			7.3%			4.6%			100.0%		

## 7 Zusammenfassung

Insgesamt gehen in der Schweiz aufgrund von Verkehrslärm und den damit verbundenen negativen Gesundheitseffekten rund 47'200 beschwerdefreie Lebensjahre (DALY) verloren (vgl. Abbildung 7-1). Da Personen von mehreren Schallquellen gleichzeitig belärmt werden können, besteht allerdings die Gefahr von Doppelzählungen. Dazu liegen uns aber keine Daten vor.

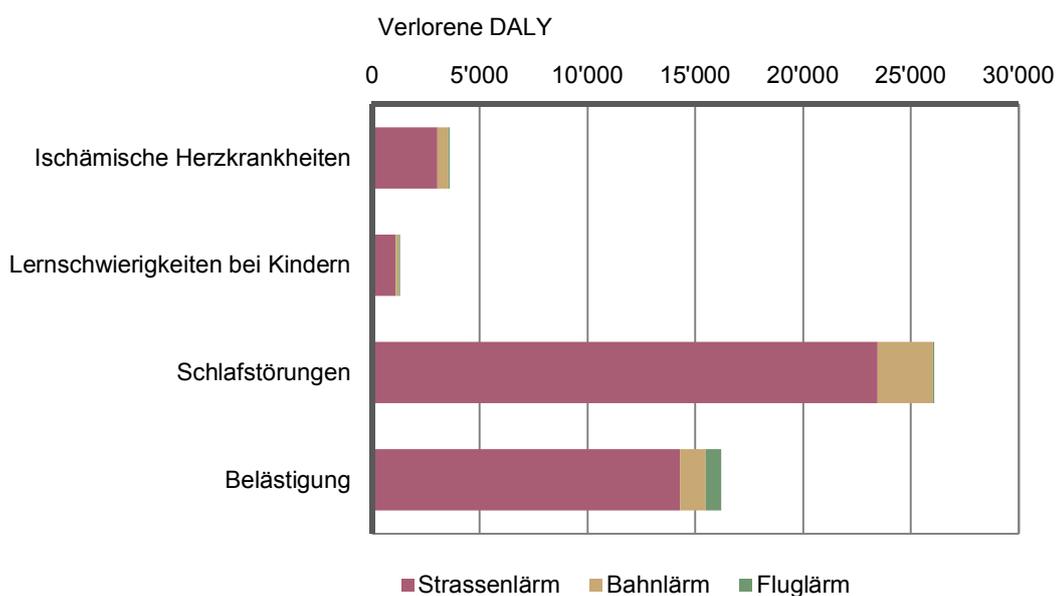
**Abbildung 7-1: Verlorene DALY durch Strassen-, Bahn-, Flug- und Verkehrslärm insgesamt**

Krankheitsbild	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Ischämische Herzkrankheiten	873	3'039	3'487	141	491	564	25	86	99	1'039	3'616	4'150
Lernschwierigkeiten bei Kindern	1'091	1'091	1'091	164	164	164	39	39	39	1'294	1'294	1'294
Schlafstörungen	13'404	23'456	33'509	1'463	2'560	3'657	31	54	77	14'898	26'071	37'244
Belästigung	7'149	14'298	85'789	589	1'179	7'073	369	739	4'434	8'108	16'216	97'295
<b>Total</b>	22'516	41'884	123'876	2'358	4'394	11'458	464	919	4'649	25'339	47'197	139'983
Anteil am Verkehrslärm	88.9%	88.7%	88.5%	9.3%	9.3%	8.2%	1.8%	1.9%	3.3%	100.0%	100.0%	100.0%

### a) Verteilung auf die Krankheitsbilder

Die Abbildung 7-2 zeigt die Verteilung der verlorenen DALY auf die einzelnen Krankheitsbilder. Der grösste Anteil verlorene DALY ist auf verkehrslärmbedingte Schlafstörungen (55%) und verkehrslärmbedingter Belästigung (34%) zurückzuführen. Die Bedeutung der durch Verkehrslärm verursachten ischämischen Herzkrankheiten sowie Lernschwierigkeiten bei Kindern ist mit rund 8% respektive 3% vergleichsweise gering.<sup>18</sup>

**Abbildung 7-2: Verlorene DALY durch lärmbedingte Krankheiten differenziert nach Verkehrsträger**



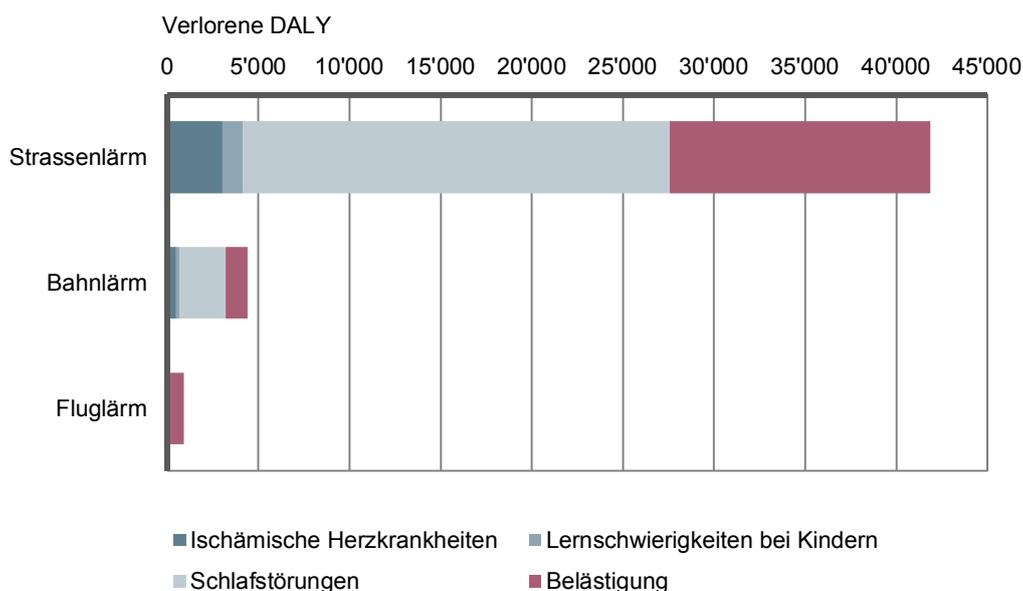
<sup>18</sup> Diese Anteile schwanken in der Sensitivitätsanalyse aber stark: Statt 55%, 34%, 8% und 3% (bei Schlafstörungen, Belästigung, ischämische Herzkrankheiten und Lernschwierigkeiten) gilt bei den unteren Werten 59%, 32%, 4% und 5% (nur Herzinfarkt statt alle ischämischen Herzkrankheiten) und bei den oberen Werten 27%, 69%, 3% 1% (Belästigung um Faktor 6 bedeutender).

## b) Verteilung auf die Verkehrsträger

Die Abbildung 7-3 zeigt deutlich, dass Strassenlärm für die meisten verlorenen DALY verantwortlich ist (89%), gefolgt vom Bahnlärm (9%). Fluglärm (2%) hat nur eine geringe Bedeutung.<sup>19</sup> Die Anteile der jeweiligen Krankheitsbilder unterscheiden sich innerhalb der Verkehrsträger (vgl. Abbildung 7-3):

- Die verlorenen DALY durch Belästigung machen mit 80% den grössten Anteil an den gesamten, durch Fluglärm verlorenen DALY aus. Bei Strassen- und Bahnlärm beträgt der Anteil verlorener DALY durch Belästigung lediglich 34% respektive 27%.
- Bei lärmbedingten Schlafstörungen ist die Situation gerade umgekehrt. Nur etwa 6% der gesamten durch Fluglärm verlorenen DALY werden durch lärmbedingte Schlafstörungen verursacht (Nachtflugverbot). Bei Strassen- und Bahnlärm beträgt der Anteil 56% respektive 58%.
- Ischämische Herzkrankheiten und Lernschwierigkeiten bei Kindern sind bei allen Verkehrsträgern für einen ähnlichen Anteil an verlorenen DALY verantwortlich.

**Abbildung 7-3: Verlorene DALY durch den jeweiligen Verkehrsträger differenziert nach Krankheitsbild**



<sup>19</sup> Die geringe Bedeutung des Fluglärms muss aufgrund fehlender Daten etwas relativiert werden. Beim Fluglärm standen nur Daten ab 50 dB(A) nachts respektive 55 dB(A) tags zur Verfügung, während beim Strassen- und Schienenlärm die Anzahl lärmbelasteter Personen ab 40 dB(A) vorliegen. Dies führt bei Lernschwierigkeiten bei Kindern, Schlafstörungen und Belästigungen zu einer Unterschätzung. Würden im Schienenverkehr ebenfalls nur Daten ab 50 resp. 55 dB(A) für die Berechnungen berücksichtigt, so würde sich die Zahl der verlorenen DALY gegenüber dem ausgewiesenen Ergebnis um 23% vermindern. Im Strassenverkehr wäre die Unterschätzung grösser (Reduktion um 30%). Die über den Strassenverkehr hergeleitete Unterschätzung ist allerdings weniger gut auf den Fluglärm übertragbar, weil es sich beim Fluglärm um definierte Korridore und nicht wie beim Strassenverkehr um ein feinmaschiges Netz handelt.

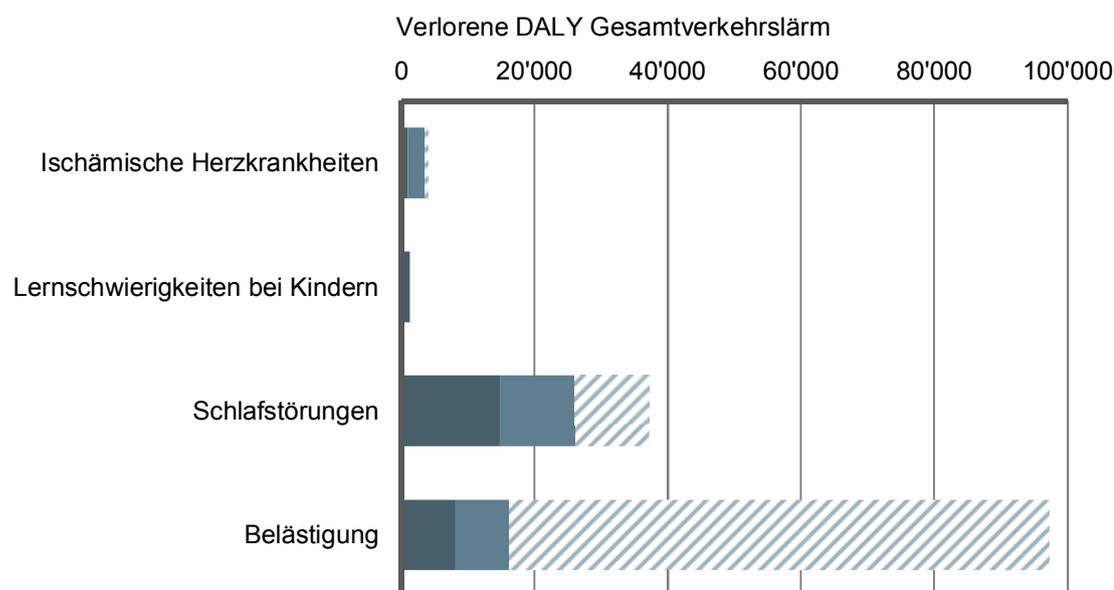
Wird angenommen, dass sich der Flugverkehr bezüglich der Unterschätzung gleich verhält wie der Bahnverkehr, so würden sich die DALY des Flugverkehrs um 30% erhöhen ( $=1 / (1 - 23\%)$ ), im Gesamtverkehr würden die DALY jedoch nur um 0.6% ansteigen.

### c) Sensitivitätsanalyse

Betrachtet man die Bandbreite der verlorenen Lebensjahre über alle Krankheitsbilder, zeigt sich folgendes Bild (vgl. Abbildung 7-4 und Abbildung 7-1):

- Die Differenz zwischen Minima und Maxima ist bei der Belästigung am grössten, weil die Unsicherheiten bezüglich der Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung (DW) sehr gross sind.
- Diese Unsicherheit bezüglich der gesundheitlichen Beeinträchtigung besteht ebenfalls bei Schlafstörungen, wobei die Bandbreiten bezüglich der verwendeten DW geringer sind.
- Die Unterschiede bei ischämischen Herzkrankheiten sind darauf zurückzuführen, dass beim unteren Wert statt alle ischämischen Herzkrankheiten ausschliesslich der Herzinfarkt berücksichtigt wird.

**Abbildung 7-4: Sensitivität der DALY**



**Hinweis zum Lesen der Abbildung:** Die unterschiedlichen Flächen reflektieren die minimalen, mittleren und maximalen Werte: Dunkle Fläche = minimaler Wert, dunkle + helle Fläche = mittlerer Wert, dunkle + helle + schraffierte Fläche = maximaler Wert.

#### d) Vergleich zur WHO-Studie

In Abbildung 7-5 werden die Ergebnisse für die Schweiz mit den Resultaten der WHO-Studie für Westeuropa verglichen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Ergebnisse der WHO für unterschiedliche Teilmengen der EU-Bevölkerung gelten (z.B. nur Städte / Agglomerationen mit mehr als 50'000 Einwohnern oder nur reiche Länder). Um einen Vergleich ziehen zu können, werden deshalb die Ergebnisse der EU auf eine einheitliche Bevölkerungsgrösse von 285 Mio. Einwohnern hochgerechnet (Einwohnerzahl in Städten und Agglomerationen mit mehr als 50'000 Einwohnern), wobei die Ergebnisse linear mit der Bevölkerungsgrösse umgerechnet werden.

Zudem berechnet die WHO die Ergebnisse für die ischämischen Herzkrankheiten und die Lernschwierigkeiten bei den Kindern nur für den Strassenlärm, die Schlafstörungen und Belästigung hingegen für den Strassen-, Schienen- und Luftverkehr (ohne darauf hinzuweisen!). Entsprechend werden auch die Ergebnisse für die Schweiz in der folgenden Abbildung ausgewiesen.

Bezüglich der relativen Anteile der einzelnen Krankheitsbilder zeigt sich (vgl. Abbildung 7-5), dass die Resultate in Westeuropa und der Schweiz sehr ähnlich sind. Der deutlichste Unterschied zwischen den beiden Studien liegt im Anteil der ischämischen Herzkrankheiten an den insgesamt durch Lärm verlorenen DALY. Während der Anteil für Westeuropa 2.6% beträgt, sind es in der Schweiz 6.5%. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Schweiz aufgrund der Lärmexposition der Bevölkerung (nur Lärmbelastungen über 57 dB(A) sind bei den ischämischen Herzkrankheiten relevant) 3.0% der ischämischen Herzkrankheiten auf den Strassenlärm zurückzuführen sind, in Europa aber nur 1.8% (in Deutschland 2.9%). Zudem scheinen ischämische Herzkrankheiten in der Schweiz häufiger zu sein als in Europa.

**Abbildung 7-5: Vergleich mit den Ergebnissen der WHO-Studie für westeuropäische Länder**

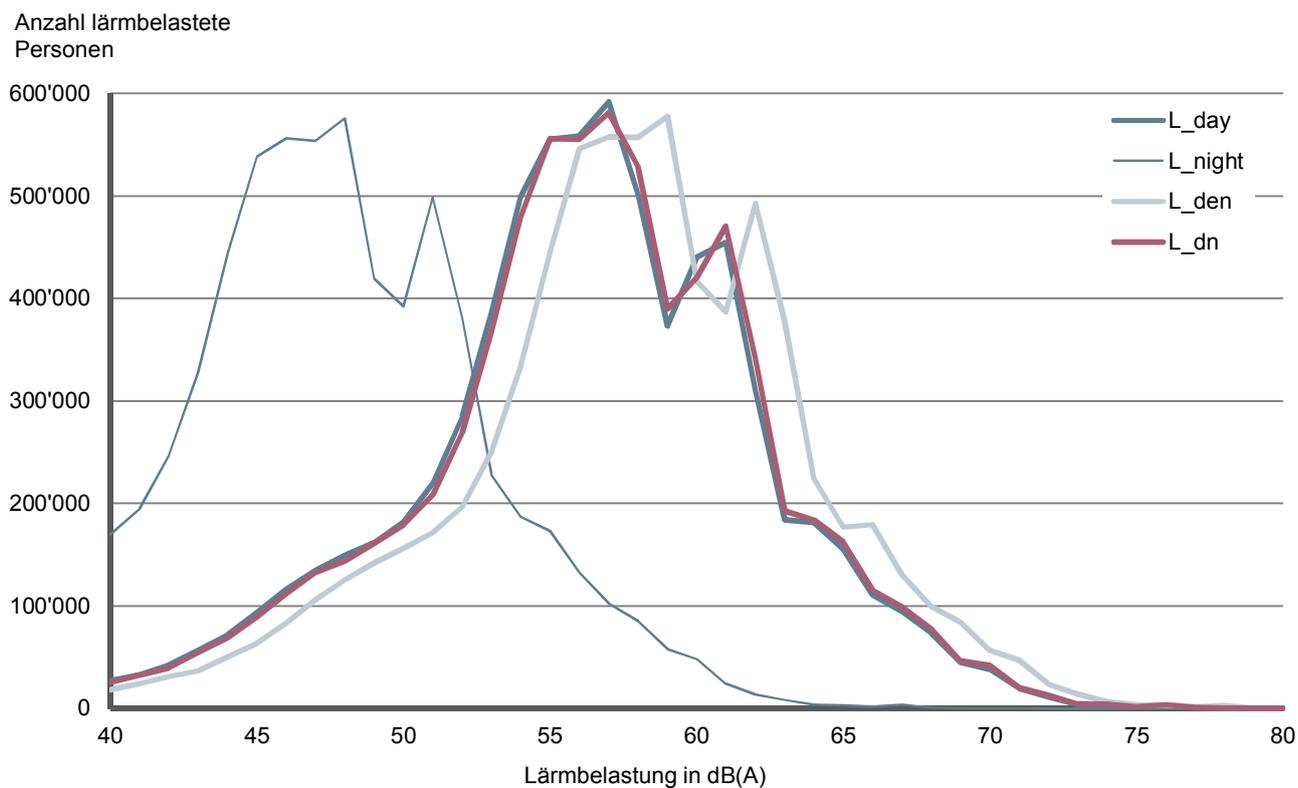
Krankheitsbild	Westeuropa				Schweiz	
	DALY	Einwohner in Mio.	DALY für 285 Mio. Einwohner	Anteil in %	DALY	Anteil in %
Ischämische Herzkrankheiten (nur Strasse)	61'000	407	42'715	2.6%	3'039	6.5%
Lernschwierigkeiten Kinder (nur Strasse)	45'000	421	30'499	1.9%	1'091	2.3%
Schlafstörungen	903'000	285	903'000	55.4%	26'071	56.2%
Belästigung	654'000	285	654'000	40.1%	16'216	34.9%
<b>Total (teilweise nur Strasse)</b>	<b>1'663'000</b>	<b>1'398</b>	<b>1'630'214</b>	<b>100.0%</b>	<b>46'416</b>	<b>100.0%</b>

Die WHO berücksichtigt bei den ersten beiden Krankheitsbildern nur den Strassenlärm, bei den zweiten zwei Krankheitsbildern aber alle Verkehrsträger.

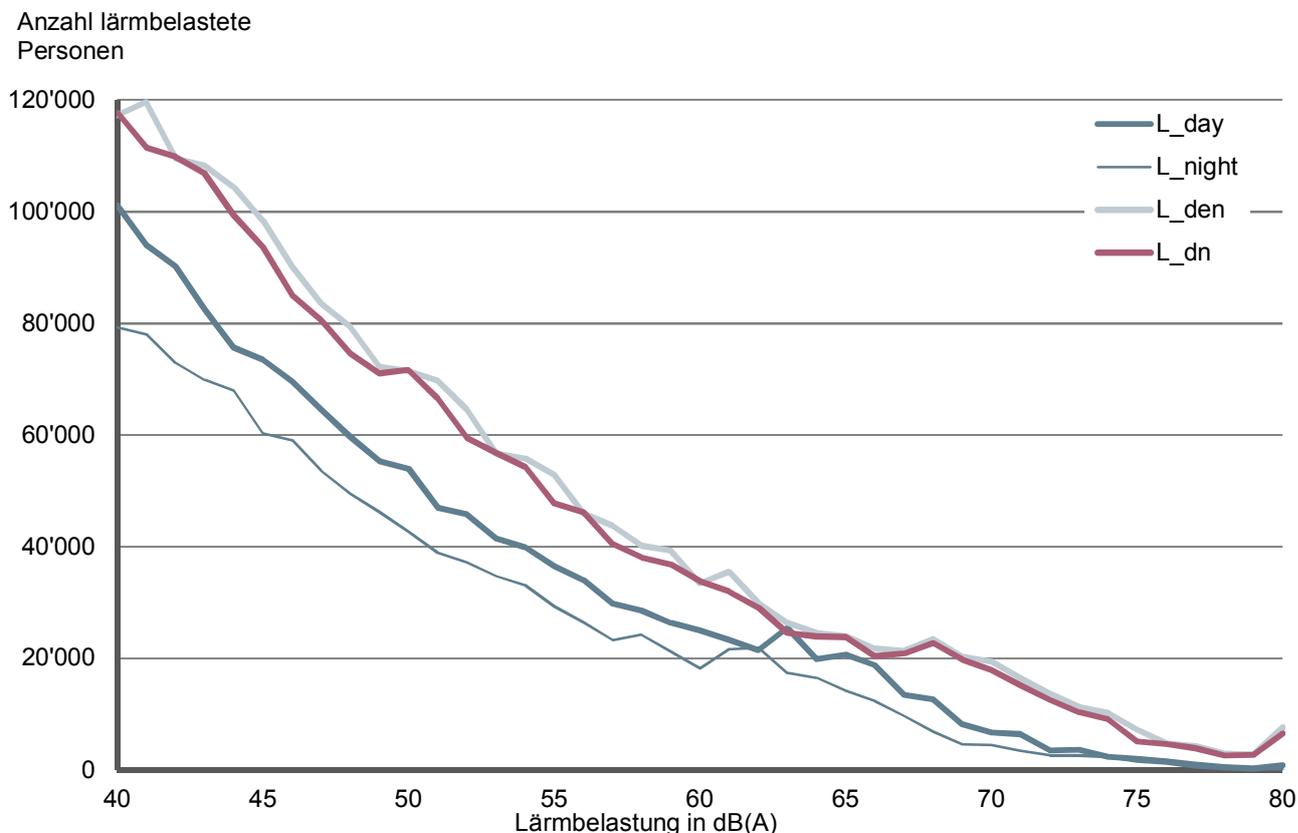
## 8 Anhang A: Lärmbelastung gemäss SonBase

In diesem Anhang ist die Lärmbelastung durch Strassen-, Bahn- und Fluglärm in der Schweiz dargestellt. Die Darstellung zeigt jeweils die Anzahl lärmbelastete Personen pro Lärmpegel (respektive pro Lärmkategorie) und erfolgt differenziert nach Taglärm ( $L_{\text{day}}$ ), Nachtlärm ( $L_{\text{night}}$ ), Tag-Abend-Nacht-Lärm ( $L_{\text{den}}$ ) und Tag-Nachtlärm ( $L_{\text{dn}}$ ).

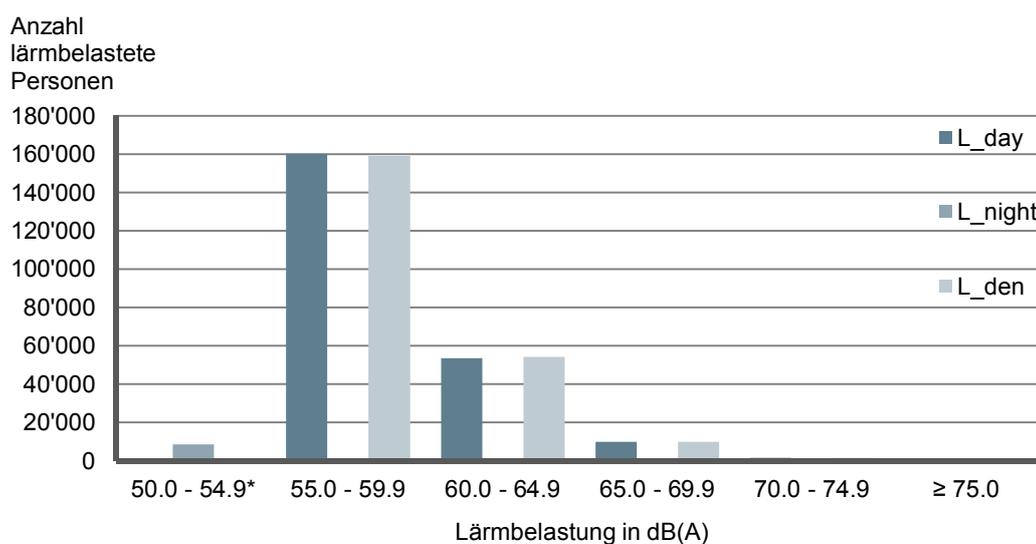
**Abbildung 8-1: Anzahl lärmbelastete Personen durch Strassenlärm nach Lärmbelastungshöhe und Zeitpunkt**



**Abbildung 8-2: Anzahl lärmbelastete Personen durch Schienenlärm nach Lärmbelastungshöhe und Zeitpunkt der Lärmbelastung**



**Abbildung 8-3: Anzahl lärmbelastete Personen durch Fluglärm nach Lärmbelastungshöhe (in Kategorien ab 55 (50) dB(A)) und Zeitpunkt der Lärmbelastung**



\* In der Klasse 50-55 dB(A) liegen nur Daten zum Nachtlärm vor.

Die Ldn-Werte werden aus den Werten für Lden abgeleitet, wobei die Klassengrenzen um 0.6 dB(A) nach unten verschoben werden (z.B. 54.4-59.3 statt 55.0 – 59.9 dB(A)).

## Literaturverzeichnis

BAFU (2009)

SonBase – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0908. Bundesamt für Umwelt, Bern. Online im Internet: [www.umwelt-schweiz.ch/uw-0908-d](http://www.umwelt-schweiz.ch/uw-0908-d) (17.8.2011).

Ecoplan, Infrac (2008)

Externe Kosten des Verkehrs in der Schweiz. Aktualisierung für das Jahr 2005 mit Bandbreiten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung und des Bundesamtes für Umwelt. Bern und Zürich.

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.

Miedema Henk M.E, Oudshoorn Catharina G.M. (2001)

Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals. In: Environmental Health Perspectives, 109 (4), S. 409-416.

SN 641 821 (2006)

Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Diskontsatz. Schweizer Norm des VSS (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute). Zürich.

WHO World Health Organization (2011)

Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Kopenhagen. Online im Internet: <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/abstracts/burden-of-disease-from-environmental-noise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe> (17.8.2011).