

Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit

Berechnung von DALY für die Schweiz

Schlussbericht

7. Februar 2019

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: Bern und Altdorf
Jahr: 2019
Bezug: www.ecoplan.ch

Begleitung

Nina Mahler, Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Mark Brink, Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Hans Bögli, Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Projektteam Ecoplan

Christoph Lieb (Projektleitung)
Raphael Joray

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

Ecoplan AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Schützengasse 1
Postfach
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung.....	4
	Résumé	5
	Compendio.....	6
	Summary	7
	Abkürzungen und Glossar	8
1	Einleitung	9
2	Methodik, Abgrenzungen und Datengrundlagen.....	9
2.1	Methodik.....	9
2.2	Abgrenzungen	10
2.3	Datengrundlage.....	12
3	Ischämische Herzkrankheiten.....	14
4	Schlafstörungen	15
5	Belästigung.....	16
6	Zusammenfassung	17
7	Anhang: Lärmbelastung gemäss sonBASE.....	20
	Literaturverzeichnis	22

Kurzfassung

Die WHO (World Health Organisation) 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.

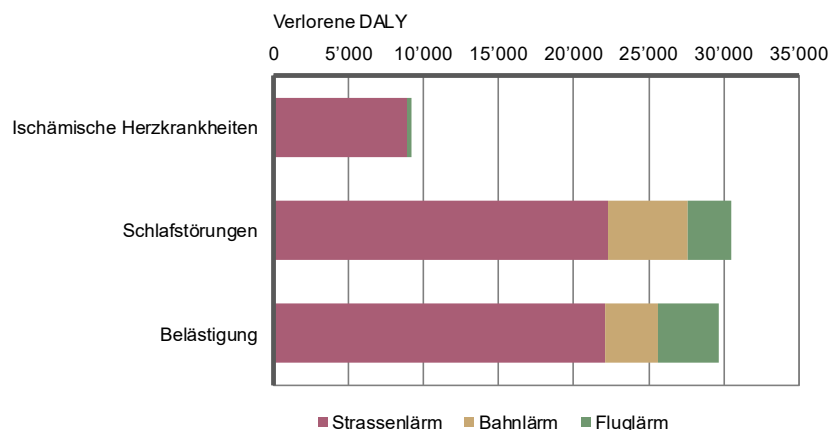
In der vorliegenden Studie werden anhand derselben Methode die **lärmbedingten Gesundheitseffekte in der Schweiz im Jahr 2015** berechnet. Berücksichtigt werden die Auswirkungen von Strassen-, Bahn- und Fluglärm auf die folgenden Krankheitsbilder:

- Ischämische Herzkrankheiten
- Schlafstörungen
- Belästigungen

Für die Berechnungen werden neue Belastungs-Wirkungs-Beziehungen aus WHO (2018) «Environmental Noise Guidelines for the European Region» sowie aktualisierte Datengrundlagen verwendet. Die **wichtigsten Ergebnisse** sind nachfolgend dargestellt (vgl. Abbildung 1):

- Insgesamt gehen in der Schweiz durch verkehrslärmbedingte Gesundheitseffekte rund **69'300 DALY** verloren. Die Berechnung basiert auf Annahmen, die teilweise unsicher sind, die Bandbreite der Berechnungen liegt zwischen 33'500 und 237'300 DALY.
- **Strassenlärm ist für den grössten Anteil der verlorenen DALY verantwortlich.** Rund 77% der durch Verkehrslärm in der Schweiz verlorenen DALY sind auf ihn zurückzuführen. Durch Bahn- bzw. Fluglärm gehen rund 13% bzw. 10% der DALY verloren.
- **Am meisten DALY gehen durch verkehrslärmbedingte Schlafstörungen (44%) und Belästigungen (43%) verloren.** Auf Verkehrslärm zurückzuführende ischämische Herzkrankheiten haben mit 13% einen deutlich kleineren Anteil an den gesamten durch Verkehrslärm verlorenen DALY.

Abbildung 1: Verlorene DALY aufgrund lärmbedingter Krankheitsbilder nach Verkehrsträger



Résumé

Dans son étude intitulée « La charge de morbidité imputable au bruit ambiant. Quantification du nombre d'années de vie en bonne santé perdues en Europe », publiée en 2011, l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) développe une **méthode de quantification des effets du bruit sur la santé**. La charge de morbidité est calculée en années de vie corrigées de l'incapacité (*disability adjusted life years, DALY*). Cette unité de mesures exprime la mortalité et le caractère invalidant d'une maladie. Une année de vie corrigée de l'incapacité correspond à la perte d'une année de vie en bonne santé.

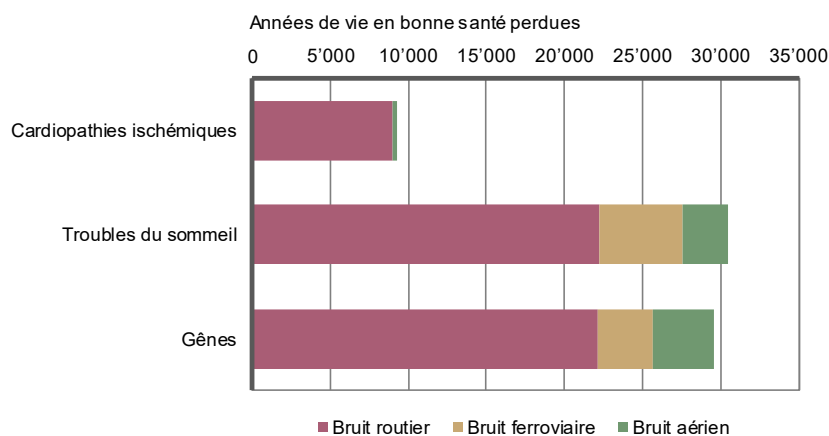
La présente étude calcule, selon la même méthode, **les effets du bruit sur la santé en Suisse en 2015**. Les effets du bruit du trafic routier, ferroviaire et aérien ont été pris en compte, ainsi que les signes cliniques suivants:

- cardiopathies ischémiques
- troubles du sommeil
- gênes

Pour les calculs, de nouvelles fonctions de l'OMS (2018, «Environmental Noise Guidelines for the European Region») décrivant la relation entre l'exposition au bruit et la probabilité de développer des maladies sont utilisées, ainsi que des bases de données actualisées. Les **principaux résultats** sont les suivants (voir figure 1):

- En Suisse, les effets sanitaires dus au bruit du trafic équivalent à la perte d'environ **69 300 années de vie en bonne santé**. Ce résultat repose néanmoins sur des hypothèses, et se situe dans une marge qui va de 33 500 à 237 300 années de vie corrigées de l'incapacité.
- **Le bruit routier est responsable du plus grand pourcentage des pertes d'années de vie en bonne santé**, soit 77 %. Le bruit du trafic ferroviaire est responsable de 13 % et le bruit du trafic aérien de 10 % des années de vie en bonne santé perdues.
- **Les troubles du sommeil représentent 44 % des pertes d'années de vie en bonne santé, et les gênes dus au bruit du trafic 43 %**. Les cardiopathies ischémiques dues au bruit du trafic représentent 13 % des années de vie en bonne santé perdues, soit une faible part du total des pertes.

Figure 1: Pertes d'années de vie en bonne santé dues au bruit du trafic par signes cliniques



Compendio

Nello studio «Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe» pubblicato nel 2011, l'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) ha sviluppato una **metodologia che consente di quantificare le ripercussioni del rumore sulla salute**. I risultati sono espressi in cosiddetti DALY (Disability Adjusted Life Years), un'unità di misura della mortalità e del pregiudizio arrecato da una malattia a una vita normale. Un DALY corrisponde alla perdita di un anno di vita in perfetta salute.

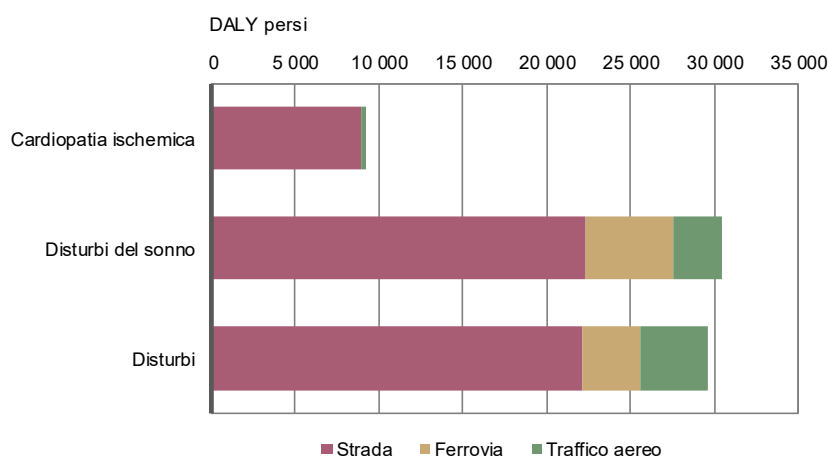
In base allo stesso metodo, nello studio vengono calcolate **le ripercussioni del rumore sulla salute in Svizzera nel 2015**. Vengono considerati gli effetti del rumore causati da strade, ferrovia e traffico aereo sui seguenti quadri clinici:

- cardiopatia ischemica;
- disturbi del sonno;
- disturbi.

Per i calcoli vengono utilizzate delle banche dati aggiornate, così come delle nuove funzioni dell'OMS (2018, «Environmental Noise Guidelines for the European Region») che descrivono la relazione tra l'esposizione al rumore e la probabilità di sviluppare delle malattie. Di seguito sono indicati i **principali risultati** (vedi grafico 1):

- le ripercussioni del rumore del traffico sulla salute causano la perdita complessiva in Svizzera di **69 300 DALY**. Il calcolo si basa su ipotesi, in parte insicure, e la relativa scala è compresa fra 33 500 e 237 300 DALY;
- **il rumore stradale, con il 77 per cento, è il principale responsabile per la perdita di DALY** in Svizzera. Il rumore provocato dalla ferrovia e il rumore provocato dal traffico aereo causano una perdita di DALY pari al 13 per cento e 10 per cento, rispettivamente;
- **la maggior parte dei DALY viene persa nell'ambito dei disturbi del sonno (44 %) e dei disturbi generali provocati dal rumore del traffico (43 %)**. Le cardiopatie ischemiche (13 %) coprono solo una quota minore dei DALY complessivi persi a causa del rumore del traffico.

Grafico 1: DALY persi in base ai quadri clinici causati dal rumore e per fonte di rumore



Summary

In its 2011 study “Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe”, the World Health Organisation (WHO) developed **methods to quantify the burden of disease from noise**. The results are expressed as DALYs (disability-adjusted life years). DALYs are a measure of the premature death and impairment of normal “healthy” life due to disease. A DALY is equivalent to one healthy life year lost.

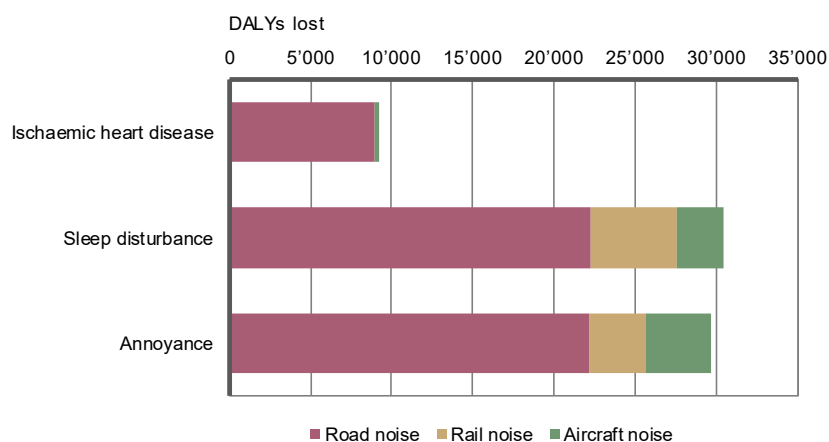
The same method is used in this study to calculate the **noise-related health outcomes in Switzerland in the year 2015**. The burden of the following diseases from road, rail and aircraft noise is considered:

- Ischaemic heart disease
- Sleep disturbance
- Annoyance

The calculations are based on new data as well as the most recent estimates of the dose response functions by the WHO (2018, “Environmental Noise Guidelines for the European Region”). The **most important results** are shown below (see figure 1):

- Overall, some **69,300 DALYs** are lost due to traffic noise related health outcomes in Switzerland. The results are based on assumptions, though some of these are uncertain and the calculation range is between 33,500 and 237,300 DALY.
- **Road traffic noise is responsible for the majority of DALYs** lost. It is the cause of 77% of the DALYs lost due to traffic noise in Switzerland. Rail and aircraft noise account for 13% and 10% of DALYs lost, respectively.
- **Most of the DALYs are lost due to traffic noise related to sleep disturbance (44%) and annoyance (43%).** With a share of 13%, ischaemic heart disease caused by traffic noise makes up a much lower proportion of the total DALYs lost due to traffic noise.

Figure 1: DALYs lost due to noise-related disease by mode of transportation



Abkürzungen und Glossar

DALY	Englische Abkürzung für D isability A adjusted L ife Y ear (Behinderungsbereinigtes 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 D isability W eight. Das DW ist ein Mass für die Schwere der Behinderung auf einer Skala zwischen 0 (vollkommene Gesundheit) und 1 (Tod).
L _{day}	Taglärmindex für die Lärmbelastung während des Tages (06:00-22:00).
L _{den}	Tag-Abend-Nacht-Pegel. Durchschnitt aus L _{day} (12 Stunden), L _{evening} (4 Stunden), L _{night} (8 Stunden), wobei L _{evening} und L _{night} mit einem Malus von 5 dB(A), respektive 10 dB(A) beaufschlagt werden.
L _{night}	Mittlerer Lärmpegel während der Nacht (22:00-06:00)
YLD	Englische Abkürzung für Y ears L ived with D isability (mit Behinderung gelebte Lebensjahre)
YLL	Englische Abkürzung für Y ears of L ife L ost (verlorene Lebensjahre durch vorzeitigen Tod)

1 Einleitung

Die WHO (World Health Organisation) 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. Sie erläutert, wie die Folgen des Lärms auf die Gesundheit quantifiziert werden können. 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 WHO-Methodik die durch **Verkehrslärm verursachten Gesundheitseffekte in der Schweiz im Jahr 2015** ermittelt. Die Berechnungen werden dabei differenziert für die Lärmbelastung durch den **Strassen-, Bahn- und Luftverkehr** vorgenommen. Es handelt sich dabei um eine Aktualisierung der im Jahr 2014 erstellten Berechnung der Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit, die sich auf das Jahr 2010 bezog.¹ Die Aktualisierung berücksichtigt die neuen Erkenntnisse der WHO (2018) zu den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen für Verkehrslärm (Strasse, Bahn, Luftverkehr) sowie die neuen, im Zusammenhang mit der Aktualisierung der Berechnung der Lärmkosten² und der Aktualisierung von sonBASE aufbereiteten Datengrundlagen (Lärmkarten, Gesundheitsdaten, Überlebenswahrscheinlichkeiten, Bevölkerung etc.). 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 den WHO-Studien.³
- In Kapitel 3 bis 5 werden die Berechnungen für die jeweiligen Krankheitsbilder (ischämische Herzkrankheiten, Schlafstörungen und Belästigungen) einzeln präsentiert.
- Kapitel 6 enthält eine Zusammenfassung der Ergebnisse über die erwähnten Krankheitsbilder.
- Zusätzlich wird im Anhang die Lärmbelastung der Bevölkerung in der Schweiz durch die jeweiligen Verkehrsträger (Strasse, Bahn und Flugzeug) 2015 dargestellt.

2 Methodik, Abgrenzungen und Datengrundlagen

2.1 Methodik

Die **Methodik wird von der WHO übernommen**.⁴ Abbildung 2-1 zeigt das allgemeine Ablaufschema für die Berechnung:

¹ Ecoplan (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit.

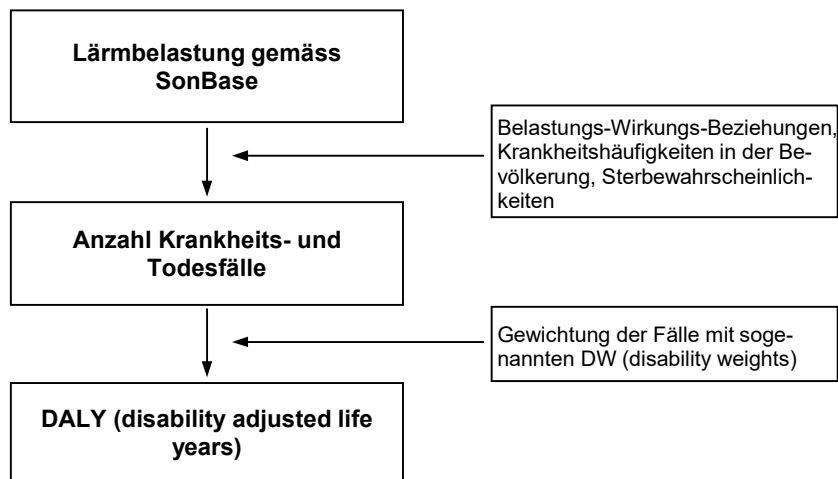
² Infrac, Ecoplan (2018), Externe Effekte des Verkehrs 2015.

³ WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region. Siehe auch WHO (2011), Burden of disease from environmental noise und WHO (2011), Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.

⁴ WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region. Siehe auch WHO (2011), Burden of disease from environmental noise und WHO (2011), Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.

- 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.
- Diese werden mittels Gewichtung durch sogenannte disability weights (DW)⁵ 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

Die Berechnungen werden für das Jahr 2015 durchgeführt.

b) Berücksichtigte Krankheitsbilder

Im vorliegenden Bericht werden drei lärmbedingte Krankheitsbilder miteinbezogen:

- **Ischämische Herzkrankheiten**
- **Schlafstörungen**
- **Belästigungen**

⁵ Die DW sind die Umrechnungsfaktoren, welche verwendet werden, um die Zahl der Krankheitsfälle in DALY umzurechnen.

Beim Eisenbahnlärm wird auf die Berechnung der ischämischen Herzkrankheiten verzichtet, da es dazu keine Studie gibt, welche den Qualitätsansprüchen der WHO genügt und es somit keine Belastungs-Wirkungs-Beziehung gibt. Dies heisst jedoch nicht, dass es keine ischämischen Herzkrankheiten aufgrund von Eisenbahnlärm gibt, sondern lediglich, dass in diesem Bereich robuste Studien fehlen.

In WHO (2018) werden noch weitere Krankheitsbilder untersucht, die im vorliegenden Bericht jedoch vernachlässigt 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** (S. 35f, 52f und 65f) und für die **Lernschwierigkeiten bei Kindern** (S. 40, 55 und 69f) werden in WHO (2018⁶) lediglich mehrere Studienresultate erwähnt, aber keine konkreten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen genannt. Folglich werden Bluthochdruck und Lernschwierigkeiten bei Kindern in den Berechnungen **vernachlässigt**. In der Vorgängerversion⁷ des vorliegenden Berichtes wurden die Lernschwierigkeiten bei Kindern noch berücksichtigt und gemäss den Angaben in WHO (2011⁸) berechnet.

Bei den berücksichtigten Krankheitsbildern gilt es zu beachten, dass die Berechnung der DALY nicht immer einfach ist bzw. zum Teil mit grösseren **Unsicherheiten** verbunden ist. Daher werden in der vorliegenden Studie die Ergebnisse in Bandbreiten dargestellt:

- Bei **Schlafstörungen** und **Belästigungen** werden neben einer besten Schätzung für die „disability weights“ (DW) auch obere und untere Schätzwerte für die Berechnungen verwendet. Die oberen und unteren Werte stammen aus WHO (2011).⁹
- Bei den **ischämischen Herzkrankheiten** werden Bandbreiten berechnet, indem das 95%-Konfidenzintervall der Belastungs-Wirkungs-Beziehung verwendet wird (weil für ischämische Herzkrankheiten keine unterschiedlichen DW zur Verfügung stehen).

c) Lärmschwelle und Lärmarten

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. Der vorliegende Bericht geht grundsätzlich von einer Lärmschwelle von 40 dB(A) aus, die einzige Ausnahme bildet der Luftverkehr bei den ischämischen Herzkrankheiten.

⁶ WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region.

⁷ Ecoplan (2014), Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz.

⁸ WHO (2011), Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.

⁹ WHO (2011), Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.

ten, bei dem erst Belastungen ab 47 dB(A) miteinbezogen werden.¹⁰ Im vorliegenden Bericht werden deshalb die Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit ab einer Lärmschwelle von 40 dB(A) berechnet (unter diesem Wert liegen zudem keine Lärmdaten vor). Die Belastungs-Wirkungs-Beziehung für ischämische Herzkrankheiten im Luftverkehr ist jedoch für Lärmbelastungen unter 47 dB(A) nicht definiert (keine niedrigeren Pegel in zugrundeliegenden Studien), so dass diese Schwelle verwendet wird.

Abbildung 2-2 zeigt zusammenfassend die im vorliegenden Bericht verwendeten Krankheitsbilder und die entsprechenden Lärmdaten und Lärmschwellen.

Abbildung 2-2: Verwendete Krankheitsbilder, Lärmdaten und Lärmschwellen

Krankheitsbild	Verwendete Lärmdaten	Lärmschwelle
Ischämische Herzkrankheiten	Tages-, Abend- und Nachtlärm L_{den}	ab 40 dB(A) (Strasse) bzw. ab 47 dB(A) (Luftverkehr) *
Schlafstörungen	Nachtlärm L_{night}	ab 40 dB(A)
Belästigung	Tages-, Abend- und Nachtlärm L_{den}	ab 40 dB(A)

* Bahnlärm wurde nicht berechnet, da keine wissenschaftlich ausreichend belastbare Expositions-Wirkungsbeziehung verfügbar ist.

2.3 Datengrundlage

a) Lärmexposition der Bevölkerung

Für die Berechnung der Krankheitseffekte werden die folgenden Lärmdaten verwendet (vgl. Abbildung 2-2).

- Für den Strassen- und Bahnlärm liegen die Daten für den Nachtlärm (L_{night}) und den Tages-, Abend- und Nachtlärm (L_{den}) ab 40 dB(A) in 1 dB(A)-Klassen vor.¹¹ Die Lärmdaten für den Strassen- und Schienenverkehr beruhen auf dem nationalen Lärmmonitoring sonBASE¹² des Bundes für das Jahr 2015 (aktuellstes verfügbares Jahr).
- Beim Flugverkehr konzentrieren wir uns auf die Flughäfen Zürich und Genf. Für diese liegen ebenfalls Daten für den Nachtlärm (L_{night}) sowie den durchschnittlichen Tages-, Abend- und Nachtlärm (L_{den}) ab 40 dB(A) in 1 dB(A)-Klassen vor.¹³ Für den Fluglärm des Flughafens Basel und der Regionalflugplätze sind jedoch keine Daten in vergleichbarer Qualität verfügbar, so dass dieser Lärm hier in Absprache mit dem Auftraggeber nicht miteinbezogen wird.

¹⁰ WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region, S. 33, 40, 41, 55, 56, 64, 69 und 70.

¹¹ L_{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. Eigentlich liegen nur Daten zum Tages- und Nachtlärm vor. Unter der Annahme, dass der Abendlärm gleich ist wie der Tageslärm wird daraus aber auch der L_{den} berechnet. Dies gilt auch für den Flugverkehrslärm.

¹² Zum nationalen Lärmmonitoring sonBASE siehe BAFU (Hrsg.) 2018: Lärmbelastung der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings sonBASE, Stand 2015 und BAFU (2018), GIS-Lärmdatenbank sonBASE.

¹³ Die Daten für die Flughäfen Zürich und Genf im Jahr 2015 stammen direkt von den Flughäfen.

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

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 auf den "Evidence Reviews", die den WHO-Empfehlungen zugrunde liegen.¹⁴

c) Häufigkeit von Krankheits- und Todesfällen

Für die Berechnung der verlorenen Lebensjahre und der zusätzlichen Krankheitsfälle durch ischämische Herzkrankheiten werden neben den Belastungs-Wirkungs-Beziehungen auch die Häufigkeiten der Krankheits- und Todesfälle in der Schweiz verwendet.

- Für die Todesfälle steht uns die Todesursachenstatistik des BFS differenziert nach 1-Jahres-Altersklassen und nach Geschlecht zur Verfügung.¹⁵ Die Berechnung der verlorenen Lebensjahre erfolgt analog zum Bericht zu den externen Effekten des Verkehrs¹⁶ und ermöglicht die Ermittlung des genauen zeitlichen Anfalls der verlorenen Lebensjahre. Dazu wird der Umfang der im Jahr 2015 lebenden Bevölkerung (nach Jahrgängen gegliedert) aufgrund von Sterbewahrscheinlichkeiten über die nächsten 105 Jahre berechnet – einmal mit den heutigen Sterberaten und einmal mit Sterberaten, die im Jahr 2015 verringert werden unter der Annahme, dass kein Verkehrslärm auftritt. Die Differenz dieser beiden Berechnungen zeigt die verlorenen Lebensjahre aufgrund des Lärms im Jahr 2015.¹⁷
- Die Anzahl Krankheitsfälle wird anhand der Anzahl (stationären) Spitaleintritte berechnet.¹⁸ Als Datenquelle dient die medizinische Statistik der Krankenhäuser 2015 des BFS.

¹⁴ WHO (2018), Environmental Noise Guidelines for the European Region und Grundlagenstudien dazu: Basner und McGuire (2018), WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep S. 22) bzw. https://www.mdpi.com/journal/ijerph/special_issues/WHO_reviews.

¹⁵ Diese Daten wurden uns vom BfS zur Verfügung gestellt.

¹⁶ Ecoplan, Infrac (2014), Externe Effekte des Verkehrs 2010, Kapitel 8.3 und Infrac, Ecoplan (2018), Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015.

¹⁷ Dabei werden künftige verlorene Lebensjahre diskontiert. 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 wird eine reale Diskontrate von 2% verwendet (vgl. SN 641 821).

¹⁸ 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.

3 Ischämische Herzkrankheiten

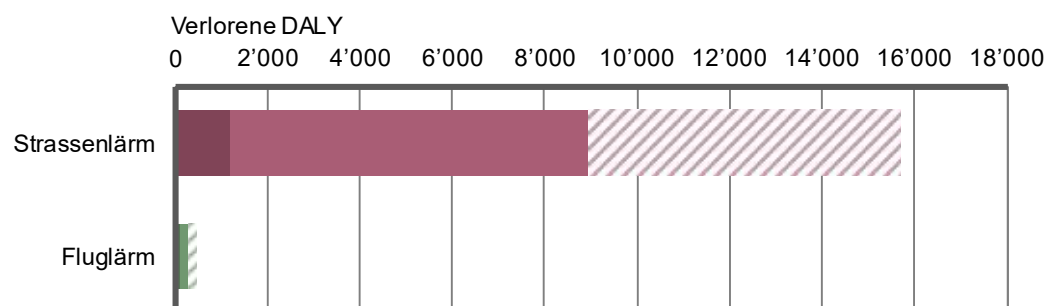
In verschiedenen epidemiologischen Studien wurde gezeigt, dass der Stress, welcher durch Verkehrslärm ausgelöst wird, das Risiko für ischämische Herzkrankheiten erhöht.

Die WHO (2018, S. 33 und 64) hat Belastungs-Wirkungs-Beziehungen für den Strassen- und Luftverkehr hergeleitet. Für den Schienenverkehr sind jedoch gemäss WHO (2018, S. 49) keine Studien verfügbar, weshalb kein Zusammenhang berechnet werden kann. Die von der WHO (2018, S. 33 und 64) hergeleiteten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen gelten ab einer Lärmbelastung von 40 dB(A) (Strasse) bzw. 47 dB(A) (Luftverkehr).

Durch ischämische Herzkrankheiten gehen schweizweit gut 9'200 beschwerdefreie Lebensjahre (DALY) verloren (davon rund 80% durch Todesfälle und rund 20% durch Krankheitsfälle). Der grösste Anteil der DALY entfällt dabei auf den Strassenverkehrslärm (97%). Der Fluglärm hat mit 3% bei dieser Krankheit nur eine geringe Bedeutung (vgl. Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2).

Die Berechnungen der verlorenen DALY durch ischämische Herzkrankheiten unterliegen einer Unsicherheit. Über die 95%-Konfidenzintervalle der Belastungs-Wirkungs-Beziehungen wird die Bandbreite der DALY abgeschätzt. Die verlorenen DALY liegen zwischen 1'300 und 16'200.

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- und Fluglärm

Verlorene DALY durch Ischämische Herzkrankheiten	Strassenlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Total	1'201	8'947	15'699	133	286	454	1'333	9'233	16'153
Anteil am Verkehrslärm	96.9%			3.1%			100.0%		

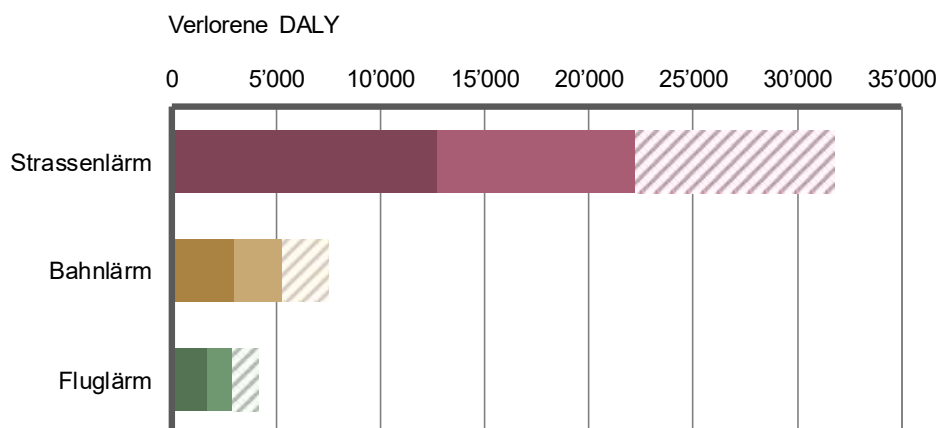
4 Schlafstörungen

Lärmbedingte Schlafstörungen 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 (Highly Sleep Disturbed HSD) erfolgt basierend auf den in Basner und McGuire (2018, S. 22) aufgeführten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen,¹⁹ welche nach Verkehrsträger (Strassen-, Bahn- und Luftverkehr) differenziert sind und für einen Bereich zwischen 40 dB(A) und 65 dB(A) definiert sind.²⁰ Anschliessend werden die lärmbelasteten Personen zur Berechnung der DALY mit einem DW von 0.07 gewichtet (WHO 2011, S. 60-61).

Die Berechnungen zeigen, dass in der Schweiz rund 435'000 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. 318'000 Personen Schlafstörungen, Bahnlärm bei 75'000 Personen und Fluglärm bei 42'000 Personen. Die Schlafstörungen führen insgesamt zu einem Verlust von rund 30'500 DALY. Davon sind knapp 22'300 DALY (73%) auf Strassenlärm, 5'300 DALY (17%) auf Bahnlärm und 2'900 DALY (10%) auf Fluglärm zurückzuführen (vgl. Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2).

Abbildung 4-1: 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.

¹⁹ Diese Belastungs-Wirkungs-Beziehungen stimmen prinzipiell mit den Angaben in WHO (2018) überein, weichen im Detail aber leicht davon ab.

²⁰ In Absprache mit dem Auftraggeber schreiben wir die Belastungs-Wirkungs-Beziehung auch für Lärmniveaus über 65 dB(A) fort.

Abbildung 4-2: Verlorene DALY durch Schlafstörungen für Strassen-, Bahn- und Fluglärm

Verlorene DALY durch Schlafstörungen	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Total	12'717	22'254	31'792	3'022	5'288	7'555	1'664	2'912	4'161	17'403	30'455	43'507
Anteil am Verkehrslärm	73.1%			17.4%			9.6%			100.0%		

Die Sensitivität der Ergebnisse wurde analog WHO (2011²¹) unter der Verwendung von verschiedenen DWs dargestellt (vgl. Abbildung 4-1 und Abbildung 4-2): Statt einem DW von 0.07 wurde auch mit einem DW von 0.04 und 0.10 gerechnet. Entsprechend gehen 17'400 oder 43'500 DALY verloren. Die Anteile der verschiedenen Verkehrsträger bleiben dabei konstant.

5 Belästigung

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

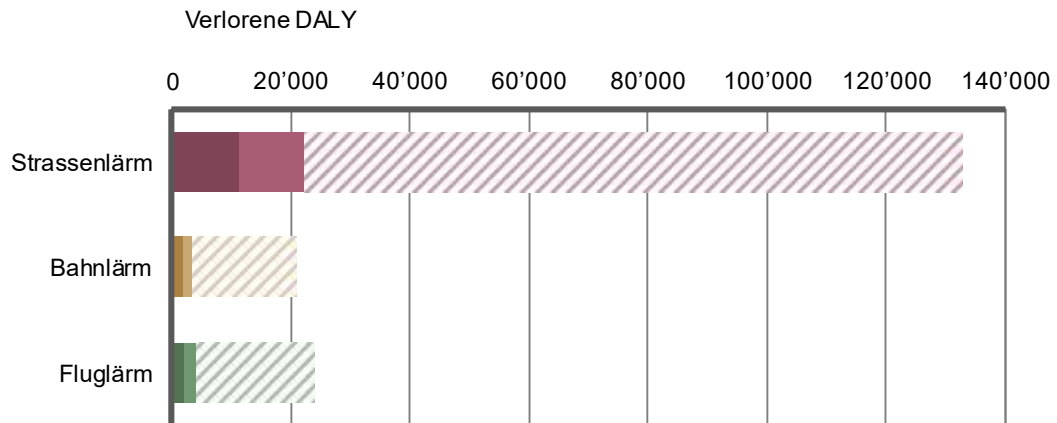
Für die Berechnung werden die nach den drei Verkehrsträgern differenzierten Belastungs-Wirkungs-Beziehungen der WHO (2018, S. 38, 55 und 69) basierend auf L_{den} ab 40 dB(A) verwendet. Bezüglich der Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch lärminduzierte Belästigung herrscht grosse Unsicherheit. Deshalb ist es schwierig, den DW zu bestimmen. Die WHO (2011, 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 1.48 Millionen Personen durch Verkehrslärm belästigt, was zu rund 29'600 verlorenen DALY führt. Strassenlärm bewirkt auch bei der Belästigung den grössten Verlust an DALY (75%), während Bahn- und Fluglärm zu deutlich weniger verlorenen DALY führen (12% resp. 14%, vgl. Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2).

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse schwankt die Zahl der verlorenen DALY zwischen 14'800 und 177'700.

²¹ WHO (2011), Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe.

Abbildung 5-1: 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 5-2: Verlorene DALY durch Belästigung für Strassen-, Bahn- und Fluglärm

Verlorene DALY durch Belästigung	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Total	11'058	22'116	132'698	1'745	3'491	20'944	2'001	4'003	24'017	14'805	29'610	177'659
Anteil am Verkehrslärm	74.7%			11.8%			13.5%			100.0%		

6 Zusammenfassung

Insgesamt gehen in der Schweiz aufgrund von Verkehrslärm (Strasse, Bahn, Flugverkehr) und den damit verbundenen negativen Gesundheitseffekten rund 69'300 beschwerdefreie Lebensjahre (DALY) verloren (vgl. Abbildung 6-1).

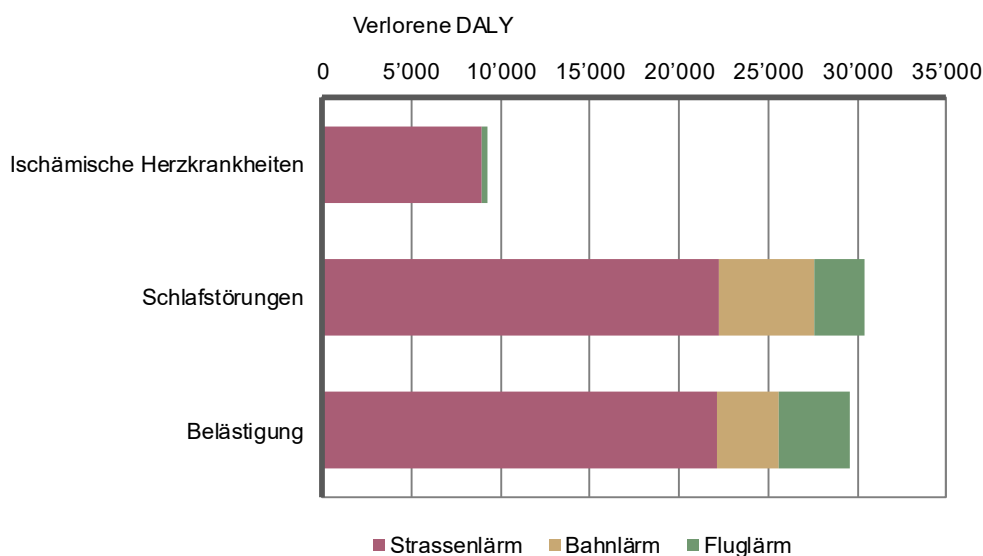
Abbildung 6-1: Verlorene DALY durch Strassen-, Bahn- und Fluglärm

Krankheitsbild	Strassenlärm			Bahnlärm			Fluglärm			Verkehrslärm = Total		
	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Ischämische Herzkrankheiten	1'201	8'947	15'699	-	-	-	133	286	454	1'333	9'233	16'153
Schlafstörungen	12'717	22'254	31'792	3'022	5'288	7'555	1'664	2'912	4'161	17'403	30'455	43'507
Belästigung	11'058	22'116	132'698	1'745	3'491	20'944	2'001	4'003	24'017	14'805	29'610	177'659
Total	24'976	53'318	180'189	4'767	8'779	28'499	3'798	7'201	28'632	33'541	69'298	237'319
Anteil am Verkehrslärm	74.5%	76.9%	75.9%	14.2%	12.7%	12.0%	11.3%	10.4%	12.1%	100.0%	100.0%	100.0%

a) Verteilung auf die Krankheitsbilder

Die Abbildung 6-2 zeigt die Verteilung der verlorenen DALY auf die einzelnen Krankheitsbilder. Der grösste Anteil verlorene DALY ist zu beinahe gleichen Teilen auf verkehrslärmbedingte Schlafstörungen (44%) und verkehrslärmbedingte Belästigung (43%) zurückzuführen. Die Bedeutung der durch Verkehrslärm verursachten ischämischen Herzkrankheiten ist mit rund 13% vergleichsweise gering.²²

Abbildung 6-2: Lärmbedingte verlorene DALY differenziert nach Krankheitsbild



b) Verteilung auf die Verkehrsträger

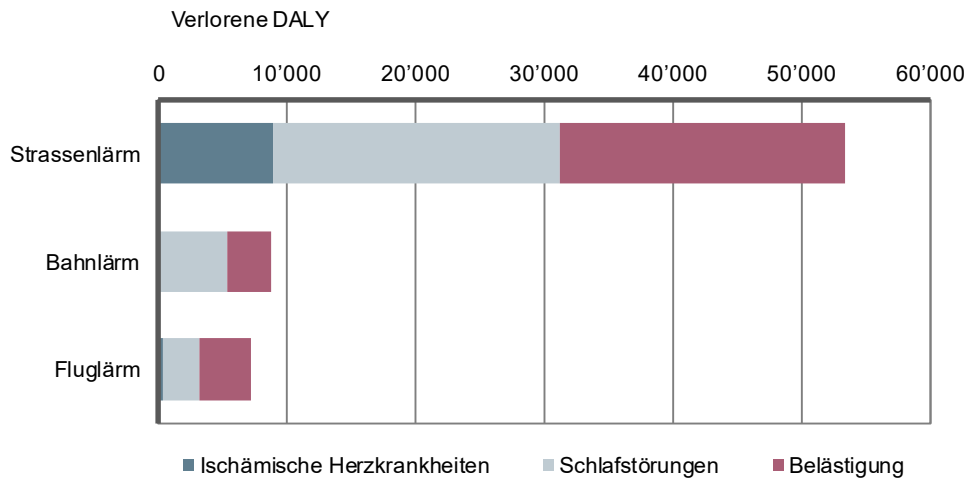
Die Abbildung 6-3 zeigt deutlich, dass der Strassenlärm für die meisten verlorenen DALY verantwortlich ist (77%), gefolgt vom Bahnlärm und Fluglärm mit 13% bzw. 10%. Die Anteile der jeweiligen Krankheitsbilder unterscheiden sich innerhalb der Verkehrsträger (vgl. Abbildung 6-3):

- Im Luftverkehr machen die verlorenen DALY durch Belästigung mit 56% den grössten Anteil an den gesamten, durch Fluglärm verlorenen DALY aus. Beim Strassen- und Bahnlärm beträgt der Anteil verlorener DALY durch Belästigung lediglich 41% respektive 40%.
- Der Anteil der durch Schlafstörungen verlorenen DALY ist beim Flug- und Strassenlärm (40% bzw. 42%) geringer als bei als beim Bahnlärm (60%), was auf das Nachtflugverbot, das Nachtfahrverbot der schweren Nutzfahrzeuge bzw. das erhöhte Güterverkehrsaufkommen auf der Schiene in der Nacht zurückzuführen ist.

²² Diese Anteile schwanken in der Sensitivitätsanalyse aber stark: Statt 44%, 43% und 13% (bei Schlafstörungen, Belästigung und ischämischen Herzkrankheiten) gilt bei den unteren Werten 52%, 44%, 4% und bei den oberen Werten 18%, 75%, 7% (DALY durch Belästigung bei oberen Werten um Faktor 6 höher als im mittleren Szenario).

- Ischämische Herzkrankheiten sind beim Strassenlärm für 17% und beim Fluglärm für lediglich 4% der verlorenen DALY verantwortlich. Für den Bahnlärm liegen keine Daten vor.

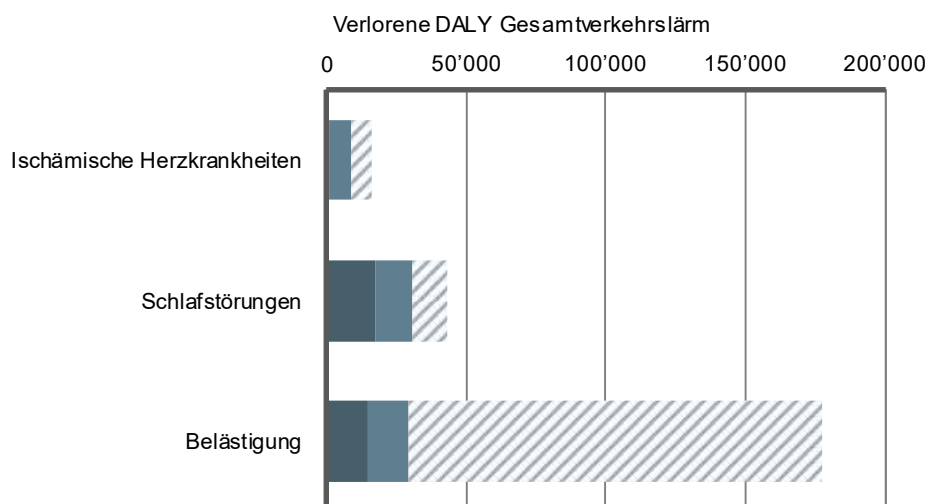
Abbildung 6-3: Lärmbedingte verlorene DALY differenziert nach Verkehrsträger



c) Sensitivitätsanalyse

Betrachtet man die Bandbreite der verlorenen Lebensjahre über alle Krankheitsbilder, zeigt sich folgendes Bild (vgl. Abbildung 6-4 und Abbildung 6-1):

Abbildung 6-4: 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.

- Die Bandbreite ist bei der Belästigung am grössten, weil die Unsicherheiten bezüglich der Schwere der gesundheitlichen Beeinträchtigung (DW) sehr gross sind (insbesondere die Unsicherheiten gegen oben).
- Diese Unsicherheit bezüglich der gesundheitlichen Beeinträchtigung besteht ebenfalls bei Schlafstörungen, wobei die Bandbreite bezüglich der verwendeten DW geringer und symmetrisch ist.
- Bei den ischämischen Herzkrankheiten beruht die Bandbreite auf dem 95%-Konfidenzintervall der Schätzung der Belastungs-Wirkungs-Beziehung. Bei der unteren Bandbreite gehen nur noch gut 1'300 DALY verloren.

7 Anhang: Lärmbelastung gemäss sonBASE

In diesem Anhang ist die Lärmbelastung im Jahr 2015 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_{day}), Nachtlärm (L_{night}) und Tag-Abend-Nacht-Lärm (L_{den}).

Abbildung 7-1: Anzahl lärmbelastete Personen durch Strassenlärm nach Lärmbelastungshöhe für verschiedene Lärmmasse 2015

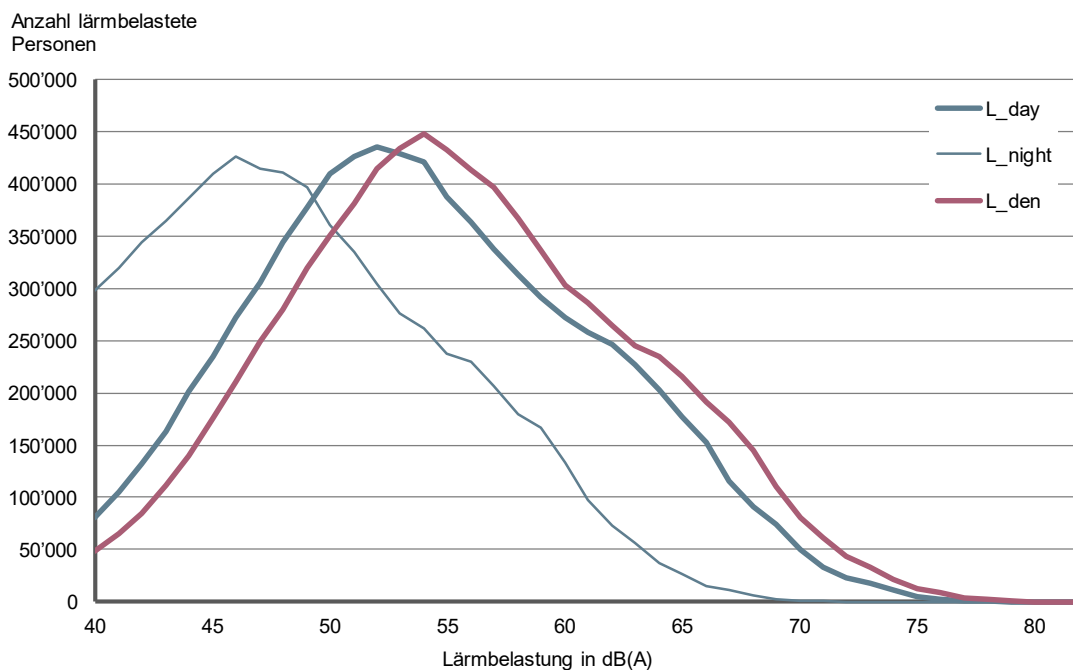


Abbildung 7-2: Anzahl lärmbelastete Personen durch Schienenlärm nach Lärmbelastungshöhe für verschiedene Lärmmasse 2015

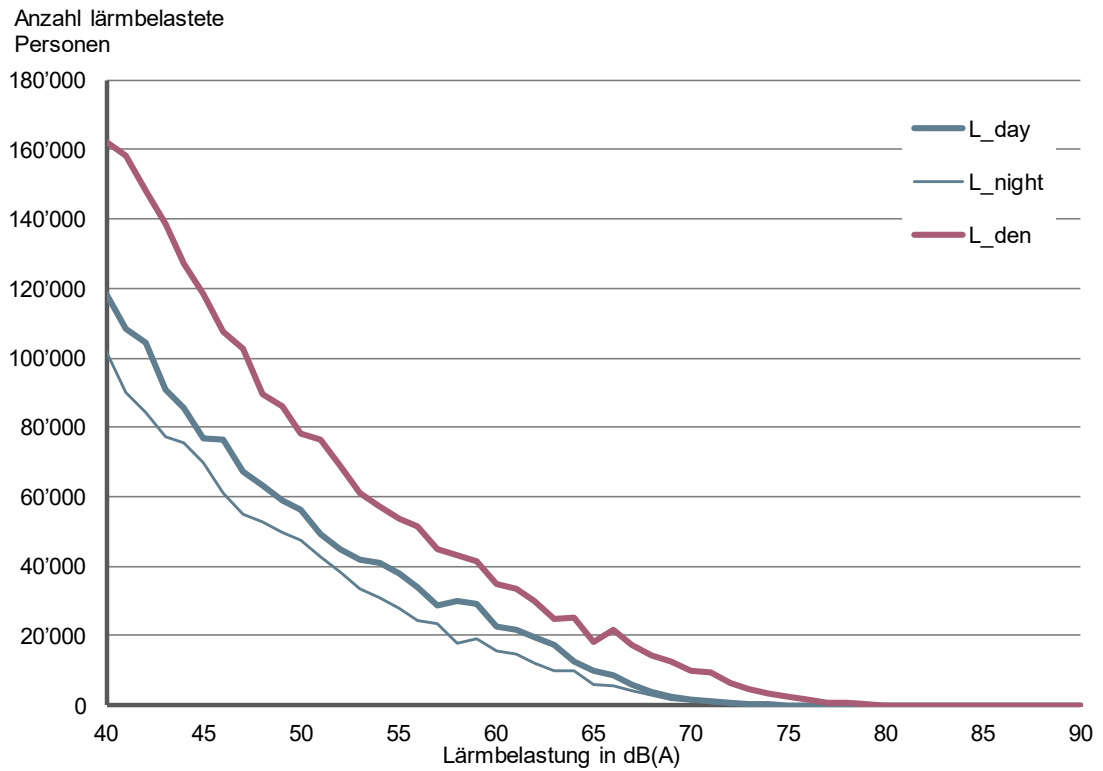
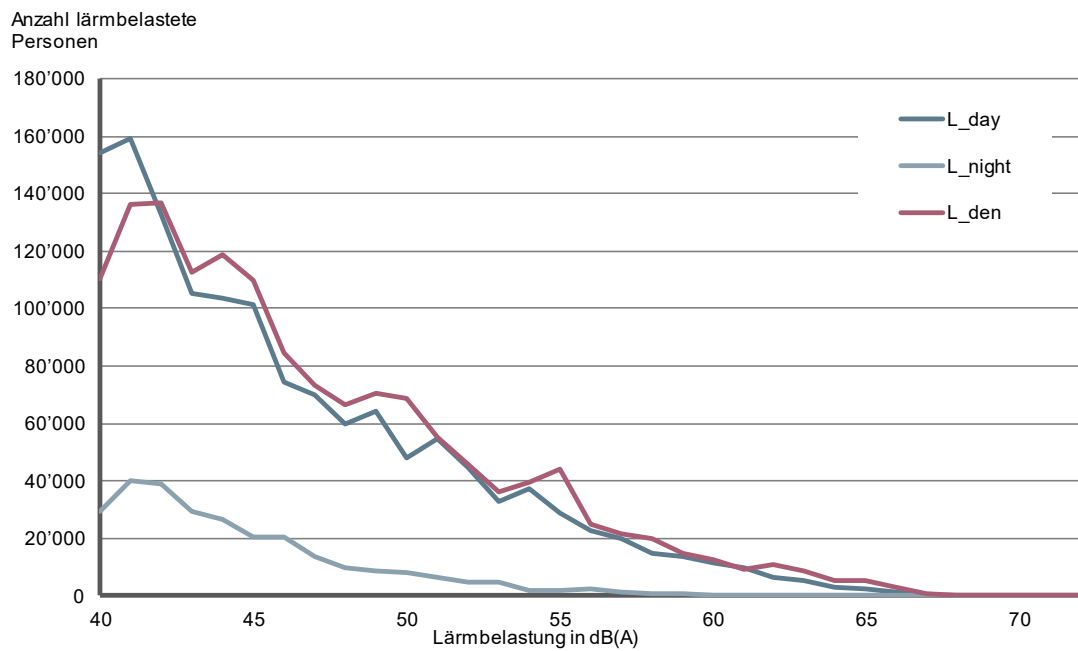


Abbildung 7-3: Anzahl lärmbelastete Personen durch Fluglärm nach Lärmbelastungshöhe für verschiedene Lärmmasse 2015



Literaturverzeichnis

Basner Mathias, McGuire Sarah (2018).

WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. In: International Journal of Environmental Research and Public Health, Volume 15, Issue 3, Article 519.

BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2018)

GIS-Lärmdatenbank sonBASE. Online im Internet:
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/zustand/gis-laermdatenbank-sonbase.html> (19.12.2018).

BAFU (Hrsg.) (Bundesamt für Umwelt) (2018)

Lärmbelastung der Schweiz. Ergebnisse des nationalen Lärmmonitorings sonBASE, Stand 2015. Umwelt-Zustand Nr. 1820: 30 S. Bern.

Ecoplan (2014)

Auswirkung des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz. Studie im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Bern und Altdorf.

Ecoplan, Infrac (2014)

Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern, Zürich und Altdorf.

Infrac, Ecoplan (2018)

Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung. Bern Zürich und Altdorf.

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/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf (20.12.2018).

WHO World Health Organization (2018)

Environmental Noise Guidelines for the European Region. Kopenhagen. Online im Internet: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf?ua=1 (11.12.2018)