

**sonBASE – Potential verschiedener Strassenlärmassnahmen**

**Abschlussbericht vom 18.12.2017**

**Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>4</b>
1.1	Belastung durch Strassenlärm.....	4
1.2	Auftrag.....	4
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Massnahmen</b> .....	<b>6</b>
2.1	Szenario <i>lärmarme Beläge</i> .....	6
2.2	Szenario <i>Elektromotoren</i> .....	7
2.3	Szenario <i>lärmarme Reifen</i> .....	8
2.4	Szenario <i>Temporeduktion</i> .....	8
2.5	Szenario <i>Tempo 30 innerorts</i> .....	8
2.6	Kombination von lärmarmen Belägen und lärmarmen Reifen .....	9
2.7	Kombination von lärmarmen Belägen und Temporeduktion .....	9
2.8	Kombination von Elektromotoren PW und LKW und Temporeduktion .....	9
2.9	Kombination von Elektromotoren PW und Temporeduktion.....	9
<b>3</b>	<b>Durchführung</b> .....	<b>10</b>
3.1	Einzelne Schritte .....	10
3.2	Auswertung.....	10
3.3	Basis-Szenario.....	11
<b>4</b>	<b>Resultate</b> .....	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Interpretation</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Validierung</b> .....	<b>15</b>
	<b>Anhang: Grundlegenden sonBASE</b> .....	<b>16</b>

## **Impressum**

**Auftraggeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Lärm und NIS, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

**Auftragnehmer:** n-Sphere AG, Räfelstrasse 29, 8045 Zürich

**Autor:** Manuel Habermacher

**Begleitung BAFU:** Evelyn Mayer, Andreas Catillaz, Dominique Schneuwly, Michael Gerber

**Hinweis:** Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## 1 Ausgangslage

### 1.1 Belastung durch Strassenlärm

Tagsüber ist in der Schweiz jeder fünfte Einwohner (1,6 Millionen Menschen) schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm ausgesetzt, während der Nacht jeder sechste (1,4 Millionen Personen)<sup>1</sup>. Dabei fallen jährlich externe Kosten von 1.5 Milliarden CHF<sup>2</sup> an. Strassenverkehr ist bei weitem die grösste Lärmquelle, wobei hauptsächlich Wohnlagen in den Städten und Agglomerationen betroffen sind: 85 % der vom Strassenlärm betroffenen Personen leben in Städten und Agglomerationen. In den Zentren von Agglomerationen ist sogar jede dritte Person von übermässigem Strassenlärm betroffen (am Tag und in der Nacht).

### 1.2 Auftrag

Im Auftrag des BAFU wurden verschiedene Massnahmen zur Bekämpfung des Strassenlärms hinsichtlich ihres Potentials schweizweit geprüft. Bei den berechneten Szenarien handelt es sich somit nicht um mögliche Zukunftsszenarien sondern es soll lediglich das Potential einzelner Massnahmen aufgezeigt werden. Es wurden ausschliesslich Massnahmen an der Quelle untersucht, da diese laut Umweltschutzgesetz gegenüber Massnahmen auf dem Ausbreitungsweg oder Massnahmen an Gebäuden vorzuziehen sind (Emissionsbegrenzungen, Art. 11 Abs. 1 USG<sup>3</sup>).

Basierend auf den Grundlagendaten und Resultaten der nationalen Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014<sup>4</sup> wurden unterschiedliche Szenarien erstellt, welche jeweils eine einzelne Massnahme enthalten:

- a) Einführung von lärmarmen Belägen auf dem schweizweiten Strassennetz
- b) Verwendung von Elektromotoren für leichte wie auch für schwere Fahrzeuge
- c) Einführung lärmarter Reifen für alle Fahrzeugkategorien
- d) Temporeduktion um 20 km/h (bis zu einem Minimum von 30 km/h) bei allen Strassentypen
- e) Nächtliche Temporeduktion um 20 km/h (bis zu einem Minimum von 30 km/h) bei allen Strassentypen
- f) Tempo 30 km/h auf allen Strassen innerorts

Zusätzlich wurden in vier Szenarien Kombinationen der oben gelisteten Massnahmen geprüft:

- Kombination von lärmarmen Belägen und lärmarmen Reifen (Szenarien a und c kombiniert)
- Kombination von lärmarmen Belägen und einer Temporeduktion von 20 km/h (Szenarien a und d kombiniert)
- Kombination von Elektromotoren und einer Temporeduktion von 20 km/h (Szenarien b und d kombiniert)
- Kombination von Elektromotoren bei leichten Fahrzeugen bei einer gleichzeitigen Temporeduktion von 20 km/h (Szenario b modifiziert und mit d kombiniert)

<sup>1</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (2014): Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz, Zweite nationale Lärmberechnung, Stand 2012.

<sup>2</sup> Bundesamt für Raumentwicklung ARE: Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz, 2016

<sup>3</sup> Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz, SR 814.01

<sup>4</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (2014): Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz, Zweite nationale Lärmberechnung, Stand 2012.

Als Resultat soll jeweils pro Massnahme ausgegeben werden, wie viele Lärmbetroffene in der Schweiz zu erwarten sind, wenn die Massnahmen auf dem schweizweiten Strassennetz flächendeckend umgesetzt würden.

## 2 Beschreibung der Massnahmen

Sämtliche berechneten Massnahmen sind emissionsseitige Massnahmen. Es wurden keine immissionsseitige Massnahmen oder Massnahmen auf dem Ausbreitungsweg betrachtet.

Alle weiteren Grundlagendaten zur Berechnung der Emissionen, Ausbreitung und der Gebäudeimmissionen, sowie die Personenstatistiken zur Beurteilung der Anzahl belasteter Personen werden von der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 übernommen. Die damals verwendeten Grundlagendaten sind im Anhang aufgelistet.

### 2.1 Szenario lärmarme Beläge

In diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass auf dem gesamten Strassennetz der Schweiz lärmarme Beläge eingebaut werden. Die Pegeländerung der Gesamtemissionen (Antriebs- und Rollgeräusch) durch den lärmarmen Belag wird unabhängig von der Verkehrszusammensetzung, des Strassentyps und der Steigung wie folgt festgelegt:

Wirkung lärmarme Beläge	signalisierte Geschwindigkeit < 80 km/h	signalisierte Geschwindigkeit ≥ 80 km/h
mittlere Höhe der Strasse < 800 m.ü.M	<b>-5 dBA</b> (mittlere Wirkung)	<b>-3 dBA</b> (mittlere Wirkung)
mittlere Höhe der Strasse ≥ 800 m.ü.M	<b>-3 dBA</b> (mittlere Wirkung)	<b>-3 dBA</b> (mittlere Wirkung)

Im Allgemeinen sind die Strassenlärmemissionen unmittelbar nach dem Einbau am leisesten und werden mit dem Lauf der Zeit sowie in Abhängigkeit der Anzahl der Überfahrten und der Achslasten lauter. Die in der obigen Tabelle angegebenen Pegeländerungen sind jeweils als mittlere akustische Wirkungen zu verstehen und somit weder als Pegeländerung nach Einbau des Belags noch als Pegeländerung am Ende der akustischen Gebrauchsdauer im Sinne eines Belagkennwertes nach Anhang 1b des Leitfadens Strassenlärm<sup>5</sup>.

Die Pegeländerung bezieht sich auf das Strassenlärmrechnungsmodell StL86+ und dessen Referenzbelag mit 0 dBA akustischer Belagsgüte. Die Pegeländerung von -3 dBA bedeutet somit einen um 3 dBA leiseren Belag gegenüber diesem Referenzbelag. Ein Standardbelag vom Typ "dichter Asphaltbelag" weist am Ende seiner akustischen Lebensdauer je nach Geschwindigkeitsbereich einen Belagskennwert von +1 dBA resp. +2 dBA auf.

Offenporige Drainbeläge (PA-Beläge) beispielsweise weisen gemäss Anhang 1b<sup>6</sup> zum Leitfaden Strassenlärm einen Belagskennwert von -1 dBA bei Geschwindigkeiten < 60 km/h und von -3 dBA bei Geschwindigkeiten > 90 km/h auf (jeweils Endwert)<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Bundesamt für Strassen ASTRA und Bundesamt für Umwelt (2013): Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1b, Belagskennwerte - Anwendungshilfe für die Belagsakustik

<sup>6</sup> Bundesamt für Strassen ASTRA und Bundesamt für Umwelt (2013): Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1b, Belagskennwerte - Anwendungshilfe für die Belagsakustik

<sup>7</sup> Durch die geringere mechanische Belastbarkeit gegenüber Standardbelägen ohne lärmreduzierende Wirkung verkürzt sich die Lebensdauer der lärmarmen PA-Beläge (offenporiges Asphaltmischgut gemäss SN EN 13108-7). Bei PA-Drainbelägen wird mit einer Lebensdauer von 10 Jahren und bei Betonbelägen mit 25 Jahren gerechnet.

Eine lärmindernde Wirkung bei lärmarmen Belägen von -3 dBA wird gemäss Schweizer Regel SNR 640 425<sup>8</sup>, Tab. 1, bezüglich Stand der Technik als "Vision" eingestuft (höchste Kategorie, *Kategorie III*).

Die angenommenen, lärmreduzierenden Wirkungen basieren insbesondere auf den kantonalen, erfolgreichen Erfahrungen mit lärmarmen Belägen, welche in der Best-Practice-Liste zu lärmarmen Belägen<sup>9</sup> zusammengetragen sind.

Bei der in der oben stehenden Tabelle angegebenen lärmreduzierenden Wirkung von -5 dBA für mittlere Höhen unterhalb 800 m.ü.M und niedrige Geschwindigkeiten unter 80 km/h handelt es sich um akustisch hochwirksame Beläge, welche zurzeit nicht dem Stand der Technik entsprechen, sondern einer zukünftigen Entwicklung der Technik entsprechen könnten.

Im Lärmberechnungsmodell wurden die lärmreduzierenden Wirkungen der lärmarmen Beläge auf dem gesamten Streckennetz eingesetzt. Bei der Realisierung einer solchen Massnahme kann der Belagsersatz selbstredend auf Streckenabschnitte mit Grenzwertüberschreitungen an den Immissionsorten beschränkt werden. Somit ist insbesondere bei geringen Verkehrsmengen (z.B. Quartierstrassen) oder im höheren Geschwindigkeitsbereich ausserhalb von Siedlungen (z.B. Überlandstrassen, Nationalstrassen durch dünn besiedeltes Gebiet) kein Belagswechsel zu lärmarmen Beläge erforderlich.

## 2.2 Szenario Elektromotoren

Für dieses Szenario wurde hypothetisch angenommen, dass sämtliche Fahrzeuge (sowohl leichte als auch schwere Fahrzeuge) des schweizerischen Fahrzeugparks rein elektrisch und nicht mit einem konventionellen Verbrennungsmotor angetrieben werden.

Studien zeigten, dass bei rein elektrisch angetriebenen PWs das Antriebsgeräusch<sup>10</sup> unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit rund 12 dBA leiser ist als das Antriebsgeräusch bei konventionellen Verbrennungsmotoren<sup>11</sup>. Für das Szenario *Elektromotoren* wird demnach angenommen, dass das Antriebsgeräusch bei allen Fahrzeugen (leichte und schwere Fahrzeuge) unhörbar und somit vernachlässigbar ist. Das Rollgeräusch bestimmt dadurch die Emission.

In der vorliegenden Untersuchung wird durchgehend das sonROAD-Emissionsmodell<sup>12</sup> zur Strassenlärmbe-rechnung verwendet. In sonROAD werden die Emissionen als Antriebs- und Roll-Geräusch modelliert und getrennt berechnet. Die beiden Lärmquellen werden separat berechnet und danach energetisch addiert, daraus resultiert die Gesamtemission. Durch diese getrennte Berechnung war es für dieses Szenario technisch möglich und einfach umsetzbar, nur die Rollgeräuschkomponente zu berechnen und die Komponente für das Antriebsgeräusch auf null zu setzen.

<sup>8</sup> Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS Zürich (2013): SNR 640 425 "Lärmindernde Decken, Grundlagen".

<sup>9</sup> vgl. [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch), "Liste der besten leisen Beläge innerorts in der Schweiz 4mm-6mm" und "Liste der besten leisen Beläge innerorts in der Schweiz 8mm-11mm" jeweils Stand 01.11.2016

<sup>10</sup> Das Antriebsgeräusch setzt sich zusammen aus Motorengeräusch und Geräusch des Antriebsstrangs.

<sup>11</sup> Pallas et al. (2014): FOREVER Projekt (Future Operational Impacts of Electric Vehicles on national European Roads).

<sup>12</sup> Siehe auch Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2004): sonROAD - Berechnungsmodell für Strassenlärm, Schriftenreihe Umwelt Nr. 366, Seite 28.

### 2.3 Szenario *lärmarme Reifen*

Die Reifen werden anhand der in der EU-Verordnung Nr. 661/2009 festgelegten Grenzwerte (LV) in drei Klassen eingeteilt:

- 1. Klasse:** Messwert für das externe Rollgeräusch hält die Grenzwerte der EG-RL 2001/43 ein
- 2. Klasse:** Messwert für das externe Rollgeräusch hält die verschärften Grenzwerte der EU-Verordnung EG/661/2009 ein (gültig ab 2016)
- 3. Klasse:** Messwert für das externe Rollgeräusch ist mindestens 3 dB leiser als die verschärften Grenzwerte der EG 661/2009 (gültig ab 2016)

Bezüglich Lärmemission unterscheiden sich Reifen innerhalb der gleichen Dimension um ca. 4 dB. Es kann davon ausgegangen werden, dass derzeit ein Mix aus lauten und leisen Reifen unterwegs ist. Bei leichten Fahrzeugen wird das Rollgeräusch, für welches der Reifen massgebend ist, bereits ab ca. 25 km/h dominant, bei LKW bei ca. 60 km/h. Im Szenario *lärmarme Reifen* wird davon ausgegangen, dass alle Fahrzeuge auf den Schweizer Strassen mit lärmarmen Reifen verkehren. Dabei wurden folgende Korrekturen auf das Rollgeräusch angewendet:

Leichte Fahrzeuge	-2 dBA
Schwere Fahrzeuge	-1 dBA
Motorräder	0 dBA

### 2.4 Szenario *Temporeduktion*

Die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten wurden auf dem gesamten Strassennetz unabhängig vom Strassentyp mit einer signalisierten Geschwindigkeit von > 50 km/h um 20 km/h verringert. Bei Strassen mit signalisierten Geschwindigkeiten zwischen 30 km/h und 50 km/h wird die erlaubte Geschwindigkeit auf 30 km/h beschränkt. Signalisierte Geschwindigkeiten unter 30 km/h wurden nicht reduziert. Die folgende Tabelle zeigt die bestehenden Geschwindigkeitsbegrenzungen und die für das Szenario *Temporeduktion* verwendeten:

bestehende Geschwindigkeitsbegrenzung [km/h]	20	30	40	50	60	80	100	120
Reduktion [km/h]	0	0	10	20	20	20	20	20
Geschwindigkeitsbegrenzung für Szenario <i>Temporeduktion</i> [km/h]	20	30	30	30	40	60	80	100

Im Lärmberechnungsmodell wurden die Temporeduktionen auf dem gesamten Streckennetz angewandt. Im Rahmen einer allfälligen (Teil-)Umsetzung einer solchen Massnahme könnte die Temporeduktionen auf Streckenabschnitte mit Grenzwertüberschreitungen an den Immissionsorten beschränkt werden. Somit wäre insbesondere bei geringen Verkehrsmengen (z.B. Quartierstrassen) oder im höheren Geschwindigkeitsbereich ausserhalb von Siedlungen (z.B. Überlandstrassen, Nationalstrassen durch dünn besiedeltes Gebiet) keine Temporeduktion aus Lärmschutzgründen erforderlich.

### 2.5 Szenario *Tempo 30 innerorts*

Bei allen Strassenabschnitte, welche innerorts verlaufen, wurden die Emissionen anhand einer signalisierten Geschwindigkeit von maximal 30 km/h berechnet. Lediglich Autobahnen und Autostrassen wurden von dieser Massnahme ausgenommen. Die folgende Tabelle zeigt die bestehenden und die für das Szenario *Tempo 30 innerorts* verwendeten Geschwindigkeitsbegrenzungen:



bestehende Geschwindigkeitsbegrenzung [km/h]	20	30	40	50	60	80	100	120
Reduktion [km/h]	0	0	10	20	30	0	0	0
Geschwindigkeitsbegrenzung für Szenario <i>Tempo 30 innerorts</i> [km/h]	20	30	30	30	30	80	100	120

Ein Strassenabschnitt verläuft dabei innerorts, wenn die Strasse ein Siedlungsgebiet schneidet. Die dazugehörigen Siedlungsgebiete wurden dem Datensatz *Siedlungsgebiet 06* des ARE entnommen.

## 2.6 Kombination von lärmarmen Belägen und lärmarmen Reifen

Die in Abschnitt 2.1 und 2.3 erläuterten Massnahmen wurden kombiniert. Dabei wurde angenommen, dass die akustische Wirkung der beiden Massnahmen kumuliert werden kann.

## 2.7 Kombination von lärmarmen Belägen und Temporeduktion

Die in Abschnitt 2.1 und 2.4 erläuterten Massnahmen wurden kombiniert. Dabei wurde angenommen, dass die akustische Wirkung der beiden Massnahmen kumuliert werden kann. Es liegen nur sehr wenige Untersuchungen vor, welche die kombinierte Wirkung von Lärmschutzmassnahmen prüften. Die Resultate einer aktuellen Messkampagne<sup>13</sup>, welche von der Stadt Zürich und dem Kanton Aargau initiiert wurde und in der die kombinierte lärmreduzierende Wirkung eines lärmarmen Belags und einer Temporeduktion messtechnisch untersucht wurde, bestätigen weitgehend diese Annahme.

## 2.8 Kombination von Elektromotoren PW und LKW und Temporeduktion

Die in Abschnitt 2.2 und 2.4 erläuterten Massnahmen wurden kombiniert. Die Elektrifizierung des Antriebs bezieht sich in diesem Szenario sowohl auf leichte wie auch auf schwere Fahrzeuge. Wie in Abschnitt 2.2 beschrieben wurden mit Hilfe des Strassenlärmmodells sonROAD die Emissionen für das Antriebs- und das Roll-Geräusch separat berechnet. Durch diese getrennte Modellierung ist eine physikalisch resp. akustisch korrekte Berechnung der kombinierten Wirkung eines elektrifizierten Antriebs mit einer Temporeduktion möglich: Die Komponente für das Antriebsgeräusch wird dabei auf null gesetzt und die Komponente für das Rollgeräusch wird mit der erforderlichen Höchstgeschwindigkeit berechnet. Die übrigen Eingangsparameter wie beispielsweise die Verkehrsmenge bleiben unverändert (wie im Ausgangszustand).

## 2.9 Kombination von Elektromotoren PW und Temporeduktion

Dieses Szenario entspricht dem Szenario wie in Abschnitt 2.8 beschrieben, jedoch wird der Antrieb nur für leichte Fahrzeuge (PWs, Teilverkehrsmenge N1 gemäss LSV<sup>14</sup>) auf Elektromotoren umgestellt. Schwere Fahrzeuge (LKWs und Motorräder, Teilverkehrsmenge N2) fahren weiterhin mit konventionellen Verbrennungsmotoren.

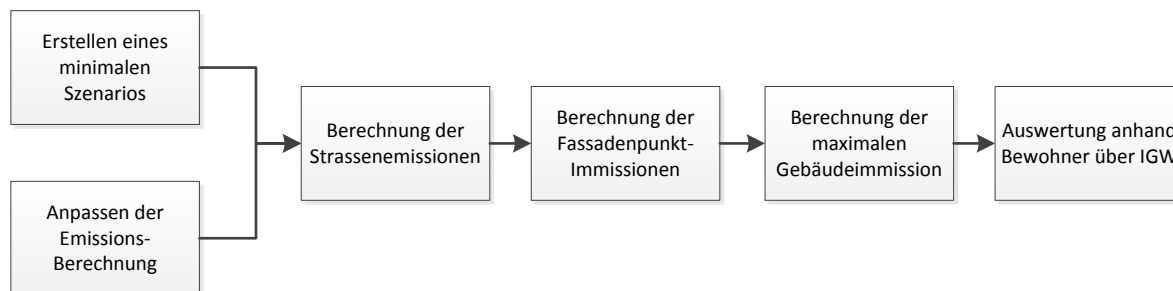
<sup>13</sup> Grolimund + Partner AG (2015): Studie "Potential von Temporeduktionen innerorts als Lärmschutzmassnahme", Bericht Nr. A4398.

<sup>14</sup> Aufteilung der Teilverkehrsmengen gemäss Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, SR 814.41, Anhang 3, Ziffer 32

### 3 Durchführung

#### 3.1 Einzelne Schritte

Der Prozess bis zur Auswertung liess sich für jedes Szenario in die folgenden Schritte unterteilen:



Die Fassadenpunkt-Immissionen konnten anhand der bereits in der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 ermittelten Dämpfungen berechnet werden. Da sämtliche Szenarien an der Quelle wirken und auf dem Ausbreitungsweg keine Veränderungen vorgenommen wurden, mussten lediglich die Emissionswerte für die verschiedenen zu berechnenden Szenarien angepasst werden. Das bedeutet insbesondere, dass die bereits im Rahmen der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 ermittelten Dämpfungen auf dem Ausbreitungsweg<sup>15</sup> übernommen werden konnten. Ein erneutes, langwieriges Berechnen der Ausbreitungsdämpfung mit Hilfe der Lärmberechnungssoftware war somit nicht notwendig.

#### 3.2 Auswertung

Die Auswertungen wurden über die Lärmapplikation sonBASE erstellt. Für alle Szenarien konnten so automatisiert vergleichbare Auswertungsergebnisse ermittelt werden.

Dabei wurden folgende Kriterien für die Auswertungen festgelegt:

- Die Auswertungsergebnisse sollen pro Szenario ausdrücken, wieviele Personen prozentual von Lärmbelastungen über den Immissionsgrenzwerten gemäss Lärmschutzverordnung<sup>16</sup> betroffen sind.
- Die Auswertungen sollen anhand der maximalen Gebäudeimmission (Immissionspunkt mit dem höchsten Immissionswert pro Gebäude) erstellt werden.
- Ein Diagramm soll die Resultate nach Empfindlichkeitsstufe (ES) zusammenfassen.
- Bei Gebäuden ohne zugeordnete Empfindlichkeitsstufe (ES) soll die Empfindlichkeitsstufe ES III verwendet werden.
- Der Immissionsgrenzwert (IGW) gilt dann als überschritten, wenn folgendes gilt:  $L_{r_{\text{Gebäude}}} > \text{IGW}$ <sup>17</sup>.

<sup>15</sup> Die Dämpfung auf dem Ausbreitungsweg beschreibt die Abnahme der Lärmemissionen auf dem Weg zum Immissionsort beispielsweise durch die geometrische Dämpfung (Abnahme über die Distanz rein auf Grund der Geometrie der Lärmquelle), die Bodendämpfung (Absorption des Schalls am Boden) oder durch die Hindernisdämpfung (abschirmende Wirkung von Gebäuden, Stützmauern, Erdwällen, usw.).

<sup>16</sup> Immissionsgrenzwerte für die Tag- und Nachtphase gemäss Anhang 3, Ziffer 2, Lärmschutzverordnung.

<sup>17</sup> Lr: Beurteilungspegel gemäss Lärmschutzverordnung.

### 3.3 Basis-Szenario

Neben den bisher aufgelisteten, berechneten Szenarien wurde zusätzlich ein weiteres berechnet. Dabei handelt es sich um ein Basis-Szenario, bei dem die Strassen-Inputdaten derjenigen des sonBASE-Szenarios der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 entsprechen. Im Basis-Szenario sind nur die bestehenden Lärmschutzmassnahmen - soweit bekannt - enthalten<sup>18</sup>. Wie bei den anderen Szenarien wurden alle im Abschnitt 3.1 aufgelisteten Schritte ebenfalls durchgeführt.

Dies hat den Vorteil, dass die Resultate jedes in 3.1 dargestellten Schrittes in diesem Szenario direkt mit der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 verglichen werden können. Sind z.B. die neu berechneten Fasadepunkt-Immissionen gleich wie in der Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014, wurden alle bisherigen Schritte korrekt durchgeführt. Dadurch wird die Validation erheblich vereinfacht.

## 4 Resultate

Die Abbildung 1 zeigt das Potential der untersuchten Einzelmassnahmen (absteigend sortiert nach Potential nachts). Es wurden ausschliesslich - wie im Artikel 11 des Umweltschutzgesetzes gefordert - Massnahmen an der Quelle evaluiert. Die Y-Achse stellt den Anteil der Gesamtbevölkerung dar, der am Wohnort von schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm betroffen ist. Es handelt sich um den prozentualen Anteil der Personen, welche von einer Überschreitung der Immissionsgrenzwerte gemäss Lärmschutzverordnung LSV betroffen sind (100 % entspricht der Gesamtbevölkerung).

Als Basis-Szenario dient die gesamtschweizerische Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 und ist als Ist-Zustand zu verstehen (Stand 2010). In diesem Basis-Szenario wurden bestehende bauliche und betriebliche Lärmschutzmassnahmen - soweit bekannt - berücksichtigt. Gemäss dieser gesamtschweizerischen Strassenlärmrechnung sind tags 21 % und nachts 18 % der Gesamtbevölkerung von übermässigem Lärm betroffen. Für die Grafik wurde zur Vereinfachung der Darstellung auf einen für die Tag- und Nachtphase gemeinsamen Wert von 20 % gerundet.

Von diesem Basis-Szenario ausgehend zeigen die dunkel gefärbten, mit Pfeilen versehenen Balken das Reduktionspotential für jede untersuchte Einzelmassnahme auf. Lesebeispiel: Mit flächendeckenden Temporeduktionen innerorts auf 30 km/h könnten während der Tagesphase rund die Hälfte der Lärmbetroffenen geschützt werden (Abnahme der Lärmbetroffenen von gerundet 20 % auf 10 %).

---

<sup>18</sup> Insbesondere wurden Geschwindigkeitsreduktionen als signalisierte Höchstgeschwindigkeit und bauliche Massnahmen auf dem Ausbreitungsweg wie beispielsweise Lärmschutzwände berücksichtigt. Lärmarme Beläge sind kaum enthalten.

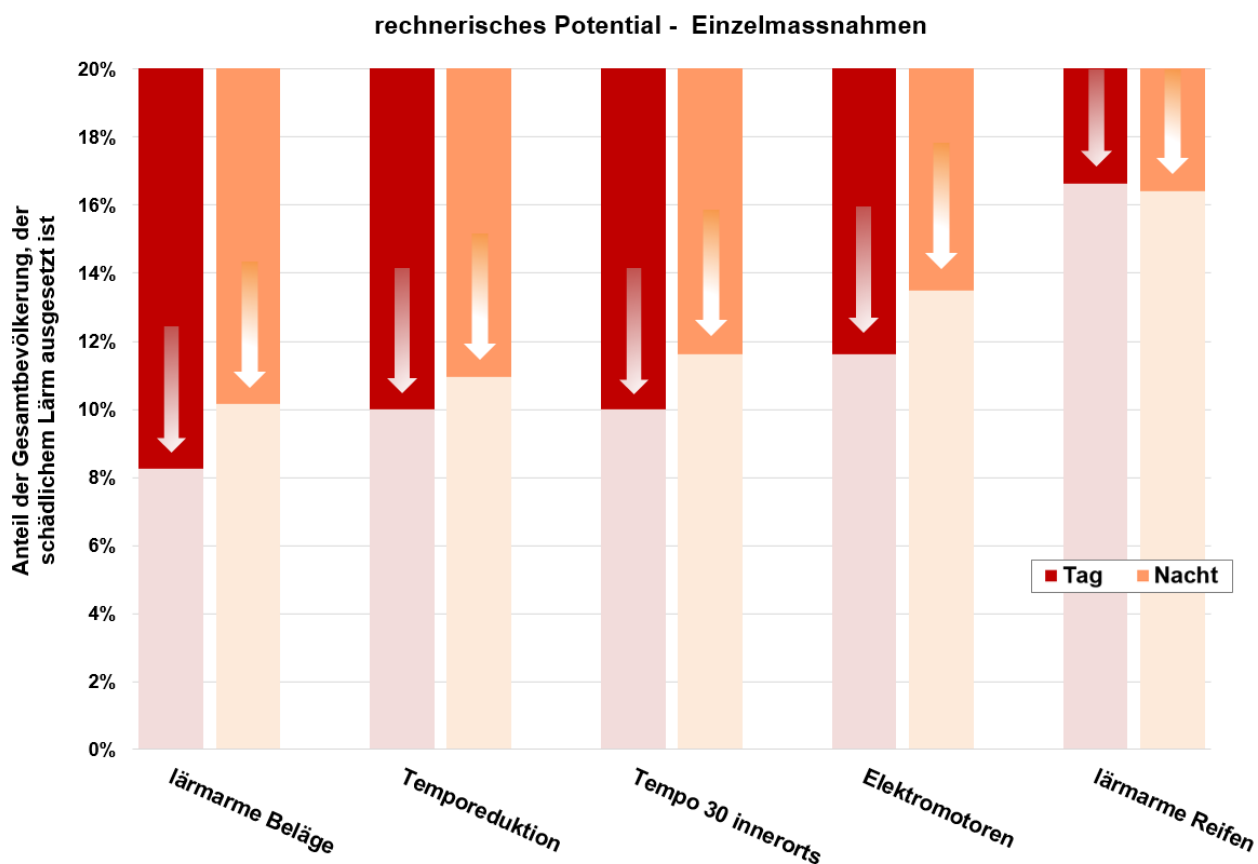


Abbildung 1: Potential der Einzelmassnahmen (absteigend sortiert nach Potential nachts). Die Y-Achse stellt den Anteil der Gesamtbevölkerung dar, der am Wohnort von schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm betroffen ist (Überschreitung der Immissionsgrenzwerte gemäss Lärmschutzverordnung LSV). Als Basis-Szenario dient die gesamtschweizerische Strassenlärmbeurteilung des BAFU von 2014 und ist als Ist-Zustand zu verstehen. Lesebeispiel: Mit flächendeckenden Temporeduktionen innerorts auf 30 km/h könnten während der Tagesphase rund die Hälfte der Lärmbetroffenen geschützt werden (Abnahme der Lärmbetroffenen von gerundet 20 % auf 10 %).

Die Abbildung 2 entspricht derselben Darstellung wie Abbildung 1; sie stellt jedoch die Wirkung der kombinierten Massnahmen dar. Die kombinierten Massnahmen wurden obenstehend in den Abschnitten 2.6 bis 2.9 beschrieben. Lesebeispiel: Mit elektrischen Antrieben bei sämtlichen PWs wie auch LKWs in Kombination mit flächendeckenden Temporeduktionen um 20 km/h verblieben für die Tagesphase rund 2 Prozent Lärmbetroffene (Abnahme der Lärmbetroffenen von gerundet 20 % auf 2 %).

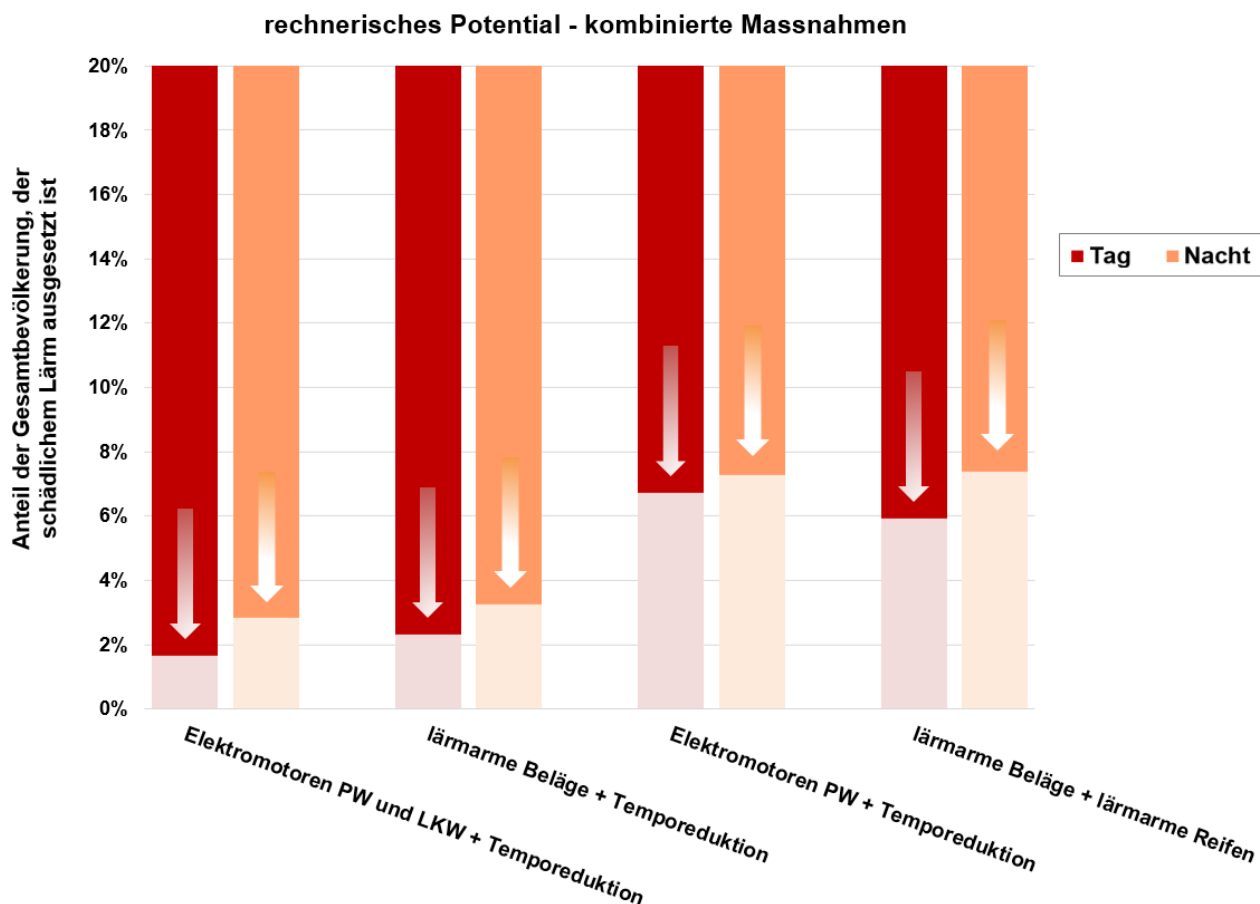


Abbildung 2: Potential der kombinierten Massnahmen (absteigend sortiert nach Potential nachts). Die Y-Achse stellt den Anteil der Gesamtbevölkerung dar, der am Wohnort von schädlichem oder lästigem Strassenverkehrslärm betroffen ist (Überschreitung der Immissionsgrenzwerte gemäss Lärmschutzverordnung LSV). Als Basis-Szenario dient die gesamtschweizerische Strassenlärmrechnung des BAFU von 2014 und ist als Ist-Zustand zu verstehen. Lesebeispiel: Mit elektrischen Antrieben bei sämtlichen PWs wie auch LKWs in Kombination mit flächendeckenden Temporeduktionen um 20 km/h verblieben für die Tagesphase rund 2 Prozent Lärmbetroffene (Abnahme der Lärmbetroffenen von gerundet 20 % auf 2 %).

## 5 Interpretation

Im Folgenden werden einige Schlussfolgerungen, die aus den Auswertungsergebnissen gezogen werden können, aufgelistet (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2):

- Das Potential zur Reduktion der Anzahl von Lärm betroffenen Personen einer generellen Temporeduktion um 20 km/h auf allen Strassen ist beinahe identisch zum Potential einer Temporeduktion auf 30 km/h innerorts und beträgt rund 50 %. Der Einfluss einer Temporeduktion bei Strassen ausserorts ist somit eher klein<sup>19</sup>.
- Anhand der getroffenen Annahmen könnten mit dem Einbau von lärmarmen Belägen auf den kritischen Strassenabschnitten mehr als 50 % der Personen, die gemäss der Strassenlärmrechnung 2014 von übermässigem Lärm betroffen waren, geschützt werden.
- Der Effekt von mehreren Massnahmen gleichzeitig hat einen weit deutlicheren Einfluss auf das Resultat gegenüber einzelnen Massnahmen: Eine einzelne Massnahme kann die Anzahl Lärmbetroffener halbieren, während zwei Massnahmen sie bereits auf einen Sechstel reduzieren können.
- Die Kombination von Elektromotoren und Temporeduktion zeigt sich als besonders effizient. Dies liegt daran, dass bei niedrigen Geschwindigkeiten das Antriebsgeräusch dominant ist, welches bei Elektromotoren wegfällt. Im Weiteren können von dieser Kombination vor allem die Siedlungszentren profitieren und dort können aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte viele Personen geschützt werden.
- Selbst wenn lediglich bei leichten Fahrzeugen (PWs, Lieferwagen) Elektromotoren verwendet werden und die schweren Fahrzeuge (u.a. Lastwagen, Sattelschlepper) weiterhin mit konventionellen Verbrennungsmotoren angetrieben werden, kann in einer Kombination mit einer Temporeduktion der Anteil der von schädlichem oder lästigem Strassenlärm betroffenen Personen auf rund 7 % reduziert werden.
- Lärmarme Reifen führen nur in Kombination mit anderen Massnahmen zu einer deutlich tieferen Lärmbelastung der Bevölkerung.

---

<sup>19</sup> Diese Aussage stimmt gut überein mit der im Bericht "Lärmbelastung durch Strassenverkehr in der Schweiz, Zweite nationale Lärmberechnung, Stand 2012 (BAFU 2014)" veröffentlichten Angabe von tagsüber ca. 10 % und nachts ca. 7 % im Siedlungstyp "ländlicher Raum" von übermässigem Lärm betroffenen Personen.

## 6 Validierung

Die Emissionen aller Szenarien wurden anhand von Stichproben überprüft. Die im Abschnitt 3.1 aufgezählten Schritte für alle Szenarien waren identisch, es wurde speziell darauf geachtet, dass alle gewählten Einstellungen für alle durchgeführten Schritte korrekt waren. Anhand des Basis-Szenarios konnte schnell überprüft werden, dass die Berechnung nahezu identisch ist wie in der ursprünglichen Strassenlärmrechnung von 2014. Weitere szenario-spezifische Validierungen der Resultate waren somit nicht mehr notwendig.

## Anhang: Grundlagendaten sonBASE

Bezeichnung des Datensatzes	Verwendung des Datensatzes in der zweiten Strassenverkehlärberechnung	Bemerkungen	Jahr	Quelle
Verkehrsmodell UVEK (VM-UVEK)	Gefahrenre Geschwindigkeiten, Schwerverkehrsanteil	Bei Datenlücken wurden Standardwerte in Abhängigkeit des Strassentyps verwendet	2008	ARE
VM-UVEK 2008, ergänzt durch Arendt Consulting / Cutty GIS	DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr), Strassentypen	Das Verkehrsmodell UVEK wurde mit Hilfe von Volks- und Betriebszählungsdaten ergänzt	2011	ARE
Digitales Landschaftsmodell V25 (VECTOR25)	Strassengeometrien, Brücken, Tunnels und Galerien	Aus dem auf der Landeskarte 1:25'000 basierenden Landschaftsmodell wurden die Strassengeometrien, sowie die Lagen von Brücken, Tunnels und Galerien übernommen. In Tunnels wurden keine Emissionen gerechnet	2008	swisstopo
Schweizerische Strassenverkehrszählung (SSVZ)	Tag-/Nachtverteilung Personenverkehr: Standardwerte pro Strassentyp aus SSVZ ermittelt, Motorrad- und Schwerverkehrsanteil	Personen-, Motorrad- und Schwerverkehr: Auswertung zur Generierung von Standardwerten Tag-/Nachtverteilung pro Strassentyp anhand von SSVZ-Daten. Die SSVZ-Werte stammen von Verkehrszählungen mit rund 450 Zählstellen	2005	ASTRA
Digitales Terrainmodell (DTM)	Strassensteigungen Gebäudehöhen Topologie und Geländedaten	Steigungen wurden auf allen Strassen berücksichtigt (ausgenommen Brücken) Gebäudehöhen wurden als Differenz aus DTM und DOM ermittelt	2010	swisstopo
Digitales Oberflächenmodell (DOM)	Brücken Gebäudehöhen Topologie und Geländedaten	Brücken wurden dreidimensional modelliert, aus VECTOR25 wird die genaue Lage entnommen	2010	swisstopo
Unterhaltspereimeter Nationalstrassen (UH-Peri) sowie LSW-Daten von Kantonen	Strassen-Lärmschutzwände	2500 Lärmschutzwände mit insgesamt 510km Länge wurden berücksichtigt	2010	ASTRA / Kantone
swissBUILDINGS <sup>3D</sup>	Gebäudegeometrien	Grundrisse der Gebäude wurden aus dem VECTOR25-Datensatz in ein dreidimensionales Modell übertragen. Insgesamt 1.81 Mio. Gebäude	2010	swisstopo
Bauzonendatensatz	Angaben zu den unterschiedlichen Bauzonen zur Herleitung der Empfindlichkeitsstufen	Den unterschiedlichen Bauzonentypen werden entsprechend der Nutzung Empfindlichkeitsstufen zugeordnet	2007	ARE



Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP)	Gebäudegenaue Bevölkerungsdaten	Gebäudegenaue Einwohnerdaten werden den Gebäuden zugewiesen. Insgesamt 7.87 Mio. Einwohner	2010	BFS
Betriebs- und Unternehmensregister (BUR)	Gebäudegenaue Statistikdaten zu Betrieben und Unternehmen	Gebäudegenaue Zahlen zu Betrieben, Unternehmen und Arbeitsplätzen werden den Gebäuden zugewiesen	2012	BFS
Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister (GWR)	Gebäudegenaue Statistikdaten zu Wohnungen	Gebäudegenaue Daten zu Anzahl Wohnungen werden den Gebäuden zugewiesen. Insgesamt 3.95 Mio. Wohnungen	2012	BFS