

Arbeitsgruppe Strategie Lärmschutz Empfehlungen für den Lärmschutz bei der Bahn nach 2025

Autor(en)	Hafner Michael (I-NAT-FW-TAFB-SFB)
Status	freigegeben
Version	V10
Letzte Änderung	18. Juni 2024
Letzte Änderung durch	Hafner Michael (I-NAT-BT-FB-SFB)
Urheberrecht	Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Jegliche kommerzielle Nutzung bedarf einer vorgängigen, ausdrücklichen Genehmigung.
Ablage	https://sbb.sharepoint.com/sites/noise-vibration/Freigegebene Dokumente/BGLE 3/Strategie/Bericht/AGr_Strategie_Lärmschutz_nach_2025_Schlussbericht_v10.docx

Mitarbeit in der Arbeitsgruppe:

Franz Kuster (BAFU), Robert Attinger und Markus Ammann (BAV), Michael Hafner und Jakob Oertli (SBB)



SBB AG

Netzdesign, Anlagen und Technologie

System Fahrbahn

Hilfikerstrasse 3, 3000 Bern 65, Schweiz

Inhaltsverzeichnis

Management-Summary	5
1. Ausgangslage	10
1.1. Auftrag	10
1.2. Big Pictures	10
1.2.1. BAV	10
1.2.2. BAFU	10
1.2.3. SBB	11
1.3. Aktuelle Eisenbahnlärmprobleme	12
1.4. Interessenkonflikte und Gesamtkontext	12
1.5. Allgemeine Kosten-Nutzen Betrachtung	13
2. Zielsetzung und Vorgehen der Arbeitsgruppe	14
2.1. Zielformulierung	14
2.2. Vorgehen	15
3. Analyse von Lärmreduktionsmassnahmen	16
3.1. Massnahmenpriorisierung	16
3.2. Wirkungsanalysen mit Szenarien	17
3.3. Resultate der Szenarienberechnungen	19
3.3.1. Erwartete Restlärmbelastung 2035 (Szenario E0 und I0)	19
3.3.2. Auswirkung von Grenzwertverschärfungen (Szenario I4)	20
3.3.3. Einfluss Rad- und Schienenrauheit (E1-E3 und E9)	22
3.3.4. Einfluss von Radschalldämpfern (E4-E6)	25
3.3.5. Kombinationen von Rauheitsreduktionen und Radschalldämpfern (E7-E8)	28
3.3.6. Betroffenheitsanalyse für Flachstellen bei Güterwagen (E10)	30
3.3.7. Wirkungsabschätzung hochdämpfende Zwischenlagen (E11 und I2)	31
3.3.8. Wirkungsabschätzung aktuell technisch möglicher Massnahmen an der Quelle (I3)	32
3.3.9. Schutzpotential von zusätzlichen Lärmschutzwänden	32
3.3.10. Betroffenheitsanalyse bei Abstellanlagen (P3)	35
3.3.11. Betroffenheitsanalyse bei Rangierbahnhöfen (P2)	37
3.3.12. Betroffenheitsanalyse optimiertes Schienenschleifen (P1)	38
3.3.13. Betroffenheitsanalyse optimierter Stahlschwellenoberbau (P4)	38
3.4. Übersicht zu den Restbelastungen der netzweiten Immissionsszenarien	40
4. Empfehlungen für einen effektiven Lärmschutz	41
4.1. Voraussetzungen und Rahmenbedingungen	41
4.2. Massnahmenkonzept	41
4.2.1. Basispaket	42
4.2.2. Folgepaket I:	43

4.2.3.	Folgepaket II:	44
5.	Finanzielle und regulatorische Umsetzungsmöglichkeiten	45
6.	Prozesse	45
6.1.	Forschungsprozess und Versuchsprozess	46
6.1.1.	Einordnung der Projekte	46
6.1.2.	Relevante Akteure	47
6.1.3.	Ablauf eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts	47
6.2.	Zielpfad (Szenarien)	48
6.3.	Verwaltungsprozess Überprüfung der Lärmschutzpflicht	49
7.	Synthese und Anträge	50
7.1.	Festgestellte Trends	50
7.2.	Mögliche Hebel	50
7.3.	Schlussfolgerungen und strategische Stossrichtungen	51
7.4.	Umsetzungskonzept mit Anträgen	53
7.4.1.	Umsetzbare Lärmreduktionsmassnahmen	54
7.4.2.	Pflege der unterstützenden Umgebung	55
7.4.3.	Aufträge für Forschung und Entwicklung	56
7.4.4.	Förderung eines angepassten Umgangs in lärmbelasteten Gebieten	58
A.	Anhänge	61
A1.	Empfohlene Massnahmen	61
A2.	Nicht empfohlene Massnahmen	64
A3.	Genereller Ablauf eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts	66
A4.	Organisation der Stakeholder	68
A5.	Grundlagen der Szenarienberechnungen	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Netzweite Emissions- und Immissionszenarien, sowie Potentialanalysen, welche im Rahmen der vorliegenden Untersuchung berechnet wurden.	18
Tabelle 2: Übersicht zu den berechneten Belastungszahlen der netzweiten Immissionszenarien. Neben den Hauptimmissionszenarien (I0-I5) wurden noch weitere 7 Szenarien zur besseren Differenzierung berechnet.	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenfassung der Systemelemente der Emissions- und Immissionsaspekte aus dem BigPicture der SBB.	11
Abbildung 2: Zeitplan der Arbeitsgruppe Strategie Lärmschutz.	16
Abbildung 3: Im Rahmen der Strategiegruppensitzungen erarbeitete Einordnung von möglichen Lärmschutzmassnahmen gemäss TR-Level.	17
Abbildung 4: Visualisierung der Anzahl Betroffener >IGW pro Hektometer Streckennetz. Viele Strecken weisen keine relevante Betroffenheit mehr auf. Das Histogramm umfasst nur die Hektometerabschnitte mit Betroffenen >IGW.	19
Abbildung 5: Anzahl Lärmbetroffene pro dB-Klasse entlang des Normalspannetzes für das Referenzszenario 2035. Lesebeispiel: Im Bereich knapp unter dem IGW (bis -1dB unterhalb des Grenzwertes) befinden sich ca. 5'000 Anwohnende.	20
Abbildung 6: Visualisierung der Anzahl Betroffener >IGW pro Hektometer Streckennetz. Die meisten Strecken weisen mit den angenommenen Verschärfungen im Lärmrecht (ES 3 als ES 2 beurteilt, keine K1-Pegelkorrektur) Grenzwertüberschreitungen auf. Das Histogramm umfasst nur die Hektometerabschnitte mit Betroffenen >IGW.	21

Abbildung 7: Anzahl Lärmbetroffene pro dB-Klasse entlang des Normalspurnetzes unter Annahme eines verschärften Lärmrechts mit Grenzwerten der ES II auch für die ES III Gebiete und einem Verzicht auf die K1 Pegelkorrektur. Lesebeispiel: Im Bereich knapp unter dem IGW (bis -1dB unterhalb des Grenzwertes) befinden sich ca. 27'500 Anwohnende. Die Klasse mit >10 dB Überschreitungen beinhaltet ca. 6'000 Anwohnende.	21
Abbildung 8: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für unterschiedlich gepflegte Schienenoberflächen (E1). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für mittelraue (average) und glatte (smooth) Schienen mit Hilfe von sonRAIL. Die Reduktionen betragen bis zu 3.3 dB sind im Mittel aber bei ca. 1.5 dB.....	22
Abbildung 9: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für einen Komplettersatz von Klotzbremsen mit Scheibenbremsen bei Güterwagen (E2). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für K-Sohlen (mittelraue Radflächen) und Disc-Bremsen (glatte Radflächen) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Reduktionen betragen bis zu 2.3 dB sind im Mittel aber kleiner als 0.5 dB.	23
Abbildung 10: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für einen Komplettersatz von Klotzbremsen mit Scheibenbremsen bei Güterwagen (E3). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für K-Sohlen (mittelraue Radflächen) und Disc-Bremsen (glatte Radflächen) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer glatten Schiene (smooth). Die Reduktionen betragen bis zu 4.4 dB sind im Mittel aber bei ca. 2 dB.	23
Abbildung 11: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für die Annahme ausschliesslich leise Güterzug-Lokomotiven mit einer Radrauheit der Re460 (E9). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für laute Loks (Fahrzeug id_02) und leise Loks (Fahrzeug id_01) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind nie grösser als 1dB und in den meisten Fällen kleiner 0.5 dB.	24
Abbildung 12: Terzspektrum der Schalldruckpegel in 7.5 m Abstand vom Gleis für Reisezugwagen ohne Radschalldämpfer (oben links) und mit RSD (oben rechts), sowie für Güterwagen ohne RSD (unten links) und mit RSD (unten rechts). Die höheren Frequenzen (1.5 – 2 kHz) werden durch die RSD um ca. 5 dB im Gesamtlärm gesenkt (rote Kurve). Der isolierte Radlärm (grün) nimmt in diesem Frequenzbereich um fast 10 dB ab.	26
Abbildung 13: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen mit (hitzebeständigen) Radschallabsorbieren ausgerüstet sind (E4). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind kaum grösser als 1dB und in den meisten Fällen kleiner 0.2 dB.....	27
Abbildung 14: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbieren ausgerüstet sind (E5). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind selten grösser als 1.5dB und in den meisten Fällen kleiner 0.2 dB. Die Reduktionen sind dort gross, wo der Personenverkehr im Vergleich zum Güterverkehr dominierend ist.	27
Abbildung 15: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbieren ausgerüstet sind (E6). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind selten grösser als 1.5 dB und in den meisten Fällen kleiner 1.0 dB. Durch die Kombination von Szenario E4 und E5 wird die Lärmreduktion auf vielen Streckenabschnitten wahrnehmbar.	28
Abbildung 16: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbieren ausgerüstet sind und alle Güterwagen eine geringe Radrauheit aufweisen. Dies kann z.B. mit Scheibenbremsen erreicht werden (E7). sonRAIL Berechnung unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind auf ca. 50% der Streckenabschnitte grösser als 1.0 dB und auf ca. 12% der Strecken grösser als 2 dB.....	29
Abbildung 17: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbieren ausgerüstet sind und alle Güterwagen eine geringe Radrauheit aufweisen. Dies kann z.B. mit Scheibenbremsen erreicht werden. Zusätzlich ist die Schienenrauheit stark reduziert (E8). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer glatten Schiene (smooth). Die Emissionsabnahmen sind auf ca. 85% der Streckenabschnitte grösser als 1.0 dB und auf ca. 40% der Strecken grösser als 3.0 dB.	29
Abbildung 18: Streckennetz mit mehr als zwei Güterzügen pro Nachtzeitraum (22-06 Uhr) im Jahresmittel (Horizont AS2035). Entlang dieser Strecken wohnen ca. 46'000 Personen in einem Belastungsbereich grösser IGW -5 dB.	31
Abbildung 19: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Die Gesamtlänge beträgt ca. 2 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 1'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.	33
Abbildung 20: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Unter der Bedingung, dass auch Wohnzonen der Empfindlichkeitsstufe 3 nach den Grenzwerten der ES2 beurteilt werden. Die Gesamtlänge beträgt ca. 9 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 4'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.	34
Abbildung 21: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Unter der Bedingung, dass einerseits Wohnzonen der Empfindlichkeitsstufe 3 nach den Grenzwerten der ES2 beurteilt werden und keine K1-Pegelkorrektur angewendet wird. Die Gesamtlänge beträgt ca. 49 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 20'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.	35
Abbildung 22: Untersuchte 81 Abstellorte mit gesamt 862 Abstellgleisen. Innerhalb eines Buffers von 75 m um die Abstellgleise befinden sich ca. 117'000 Anwohner. Innerhalb eines Buffers von 30 m sind es noch ca. 30'000 Anwohner. Je grösser die Punkte, desto mehr potenziell betroffene Anwohner.	36
Abbildung 24: Bahnstrecken mit Stahlschwellenoberbau (rot). Auf vielen weniger stark befahrenen Strecken wird dieser Oberbautyp eingesetzt.....	39
Abbildung 25: Massnahmenpakete im Gesamtkontext von unterstützender Umgebung (methodisch & technisch, sowie finanziell & regulativ) und Forschungserkenntnissen.	42
Abbildung 26: Visualisierung des Prozesses eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts im Kontext der verschiedenen Akteure.	48
Abbildung 27: Zur Erreichung einer geringeren Lärmbetroffenheit in der Zukunft unabhängig einer generellen Verbesserung der Komponenten aufgrund des Stands der Technik muss einerseits verhindert werden, dass unerwünschte Lärmzunahmen im Betrieb erfolgen und andererseits müssen zusätzliche Massnahmen gefördert werden, welche noch nicht dem Stand der Technik entsprechen.	49
Abbildung 28: Visualisierung der 4 Hebel zur Reduktion der Störwirkung durch Eisenbahnlärm.	51
Abbildung 29: Zeitschiene der im Rahmen der Anträge formulierten Projekte inkl. Herkunft der Finanzierungsmittel.	60
Abbildung 30: Visualisierung des Prozesses eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts.	66
Abbildung 31: Für Berechnung der Szenarien wurden in einer GIS-Umgebung (G-Noise) ein Emissions- (sonRAIL) und Immissionsmodell (SEMIBEL) implementiert und mit den entsprechenden Emissions- und Immissionsparametern unterlegt.	70

Management-Summary

Ausgangslage:

Im Rahmen des Bundesgesetzes über die Lärmsanierung bei den Eisenbahnen (BGLE) wurden alle Streckenabschnitte lärmsaniert. Wegen verbleibenden Grenzwertüberschreitungen, erwarteten Verkehrszunahmen und Verschärfungen des Lärmrechts sind weitere Lärmschutzmassnahmen erforderlich.

Das Spezialgesetz BGLE läuft Ende 2028 aus und Massnahmen in diesem Rahmen sind auf Ende 2025 befristet. Darum werden zukünftige Lärmschutzmassnahmen unter den Vorgaben des Umweltschutzgesetzes (USG) und der Lärmschutzverordnung (LSV) umgesetzt werden müssen. Lärmschutz ist dabei als Daueraufgabe zu verstehen.

In den letzten zwanzig Jahren konnten die Lärmimmissionen durch verbessertes Rollmaterial, eine bessere Gleispflege, mehrere 100 km Lärmschutzwände und mehrere 10-tausend Schallschutzfenster markant reduziert werden. Neben sehr lokalen Lärmstörungen durch abgestellte Züge, Bogengeräusche, Weichenschläge und laute Brücken bilden insbesondere einzelne laute Güterzüge einen wesentlichen Anteil an den nächtlichen Lärmbelastungen. Dadurch kann insbesondere die Schlafqualität beeinträchtigt werden. Auch in der Umgebung von Rangierbahnhöfen führen nächtliche Kreischgeräusche zu Ruhestörungen.

Diese Störungen können negative gesundheitliche Auswirkungen haben. Der Eisenbahnlärm ist im Vergleich zur Gesamtbeeinträchtigung der Gesundheit in der Gesellschaft zwar kein dominierendes Problem, dennoch ist die Lärmstörung das wohl grösste Umweltproblem der Eisenbahn. Insbesondere für die Akzeptanz von weiteren Verkehrszunahmen ist eine Minimierung der Lärmemissionen deshalb notwendig. Lärmschutz muss dabei als Teil eines gesamtheitlichen Gesundheitsschutzes verstanden werden und die Gesundheitsstrategie ist im Kontext der anderen gesellschaftlichen Entwicklungen zu betrachten. Die Lärmstrategie im Rahmen dieser Arbeitsgruppe ist somit unvollständig, da ein Trade-off zwischen den Strategien zu Gesundheit, Mobilität, Klima, Raumplanung und Bevölkerungsentwicklung gesucht werden müsste.

Eine Analyse von in der Fachwelt diskutierten Lärmschutzmassnahmen zeigt, dass weitere Massnahmen mit netzweiter Wirkung (noch) kaum in adäquater Umsetzungsreife zur Verfügung stehen. Der zukünftige Lärmschutz kann sich deshalb nicht auf die Umsetzung von etablierten Massnahmen beschränken. Zusätzlich muss ein Umfeld gepflegt und geschaffen werden, welches die methodischen und technischen sowie finanziellen und regulativen Grundlagen zur Verfügung stellt, damit effektive Massnahmen überhaupt entwickelt werden können. Um die Umsetzungsreife der Massnahmen zu erhöhen, ist der Fokus in einem ersten Schritt auf die Erarbeitung von Forschungs- und Entwicklungsmassnahmen zu legen. Da die notwendigen Eingriffe in das Bahnsystem teilweise gross sind, muss die Gesamtoptimierung im Auge behalten werden, welche neben dem Lärmschutz auch den Erschütterungsschutz und die LCC der Fahrbahn berücksichtigt. Dabei muss die Sicherheit des Systems immer gewährleistet werden. Auf einer übergeordneten Ebene soll die Konkurrenzfähigkeit der Bahn als klimafreundliches Transportmittel nicht gefährdet werden.

Im Zusammenspiel von aktuellen Mess- und Berechnungsgrundlagen, einem verbesserten Systemverständnis und sinnvollen Anreizsystemen können Massnahmenpakete umgesetzt werden, welche sicherstellen, dass einerseits der Stand der Technik ausgereizt wird, um die Lärmemissionen so gering wie möglich zu halten, und andererseits, dass sich Komponenten und Prozesse etablieren, welche eine zusätzliche Emissionsreduktion ermöglichen.

Die Arbeitsgruppe empfiehlt folgende strategische Stossrichtungen:

- Der Lärmschutz der Bahn ist eine Daueraufgabe.
- Technische Entwicklung und Forschung werden unterstützt und aktiv gefördert.
- Nur erprobte, umsetzungsreife und wirksame Massnahmen werden umgesetzt.
- Massnahmen gegen Lärm tragen bei zur Gesamtoptimierung des Systems (Verfügbarkeit, Pünktlichkeit, LCC, ...).
- Der Aufwand für Bewilligungsverfahren wird klein gehalten.
- Massnahmen an der Quelle mit netzweiter Wirkung werden bevorzugt.
- Die Schiene hat eine geringe akustische Rauheit (optimierter Unterhalt).
- Die Radflächen haben eine geringe Rauheit. Dies wird durch einen optimierten Unterhalt und verbesserte Bremssysteme (z.B. Scheibenbremsen) erreicht.
- Die Schwingungseigenschaften des Oberbaus und der Räder werden optimiert (Dämpfungs-komponenten, Radschalldämpfer).
- Die Bogenfahrt wird durch geeignete Massnahmen lärmoptimiert (Trassengeometrie, Reibungs-modifikation).
- Impulshaltige oder tonale Geräusche bei Weichenüberfahrten und im Bereich von Rangierbahnhöfen werden minimiert.
- Der Lärm in der Abstellung wird bei Bestandesfahrzeugen weiter optimiert, bei Neufahrzeugen im Beschaffungsprozess minimiert. Dieses Ziel wird durch privilegierte Abstellvorgaben für leise Fahrzeuge unterstützt.
- Bei Einzonungen und Baubewilligungen in lärmvorbelasteten Gebieten werden die raumplanerischen und architektonischen Möglichkeiten zur Verbesserung der akustischen Wohnqualität ausgeschöpft. Vorgaben und Planungshilfen sollen dieses Ziel unterstützen.

Die Arbeitsgruppe schlägt drei Massnahmenpakete vor:

Erstens ein **Basispaket**, welches Lärmschutzwände, hochdämpfende Zwischenlagen und Schallschutzfenster im Rahmen und ausserhalb von Ausbauprojekten und Fahrbahnerneuerungen beinhaltet. Zusätzlich sollen bei Fahrzeugbeschaffungen Anforderungen an Fahrärm unterhalb der TSI-Grenzwerte ein relevantes Gewicht haben.

Zweitens sollen innerhalb eines **Folgepakets I** bei Güterwagen Flachstellen verhindert werden und eine permanente Überwachung von Radfehlern soll eine zeitnahe Beseitigung derselben gewährleisten. Zusätzlich soll eine optimale Oberbaukonfiguration gewährleistet werden, um ungewöhnlich laute (Beton-)Oberbauten zu verhindern. Insbesondere soll das Verständnis für die Ursache der Lautheit eines Stahloberbaus als Basis für akustische Verbesserungen modellbasiert erhöht werden. Und schliesslich muss die Schienenpflege so gewährleistet werden, dass durch die Schienenrauheit kein wesentlicher Anteil an der Lärmemission erfolgt.

Drittens sind im Rahmen eines **Folgepakets II** verschiedene Optimierungen auf Fahrzeugseite in Angriff zu nehmen. Dies beinhaltet glattere Radflächen bei Güterwagen (bspw. durch Scheibenbremsen), den breiten Einsatz von Radschallabsorbieren oder die Verwendung von Resilient Wheels. Auch soll ein Fokus auf die Minimierung von Aggregatsgeräuschen bei Lokomotiven und Triebzügen in der Fahrt und in der Abstellung gelegt werden. Schliesslich sollen eine optimierte Bogentrassierung und das Aufbringen von Reibungsmodifikatoren durch Fahrzeuge (on-board) Kurvengeräusche reduzieren. Und die Kreischereignisse in grösseren Rangieranlage sind mit geeigneten Mitteln weiter zu minimieren.

Da sich die Lärmschutzmassnahmen weiter entwickeln werden, sollen die Massnahmenpakete periodisch überprüft und aktualisiert werden.

Umgang mit erhöhten Lärmbelastungen:

Auch mit optimalen Entwicklungsfortschritten sind emissionsseitig nur noch Lärmreduktionen von wenigen Dezibel (<5dB) erreichbar. Das heisst, das Wohnen in lärmbelasteten Gebieten wird in Anbetracht der angestrebten Raumplanung und Siedlungsentwicklung (verdichtetes Bauen und Mobilitätsnähe) unumgänglich sein. Bei der architektonischen Siedlungsgestaltung kommt diesem Aspekt deshalb eine hohe Bedeutung zu. Ein effektiver Lärmschutz darf deshalb nicht nur die Emissionsreduktion im Fokus haben. Er muss sich auch um die Befähigung (Empowerment) zur Anpassung der Anwohnenden an bestehende Lärmbelastungen kümmern.

Umsetzung der Lärmstrategie:

Die Umsetzung der Strategie wird durch zwölf Anträge konkretisiert (vgl. Kap. 7, Synthese und Anträge). Diese umfassen umsetzbare Lärmreduktionsmassnahmen als auch Massnahmen zur Pflege der unterstützenden Umgebung. Weiter sind konkrete Forschungsaufträge formuliert und es sollen Hilfsmittel für einen angepassten Umgang in lärmbelasteten Gebieten erarbeitet werden.

Die Anträge umfassen nur erforderliche Aktivitäten, welche nicht schon im Rahmen laufender nationaler und internationaler Projekte bearbeitet werden. Für die initialen Schritte wurden Kosten von insgesamt ca. 2 Mio. CHF abgeschätzt.

Antrag		Ziel	Nächster Schritt
[1]	Lärmschutzwände	Effektiver Lärmschutz von ca. 10 dB mit Lärmschutzwänden im Bereich von Empfindlichkeitsstufen 2.	Analysebericht zum Mengengerüst Kosten: 200 kCHF, Lead: BAV
[2]	Retrofit hochdämpfende Zwischenlage	Effizienter Lärmschutz von ca. 1 - 2 dB (oder evtl. mehr) durch eine Optimierung der Schienenschwingung mit hochdämpfenden Zwischenlagen im Bereich von Grenzwertüberschreitungen.	Analysebericht zum Mengengerüst Kosten: 100 kCHF, Lead: BAV
[3]	Überwachungs- und Interventionssystem Radfehler (Flachstellen)	Kenntnis des Radzustandes im laufenden Betrieb zur Optimierung der Unterhaltskonzepte und Verbesserung der Emissionsmodelle.	Entwicklung Prototyp Kosten: 300 kCHF, Lead: BAV
[4]	Validierte Berechnungsgrundlagen	Belastbare Grundlage für die Lärmbeurteilung und die darauf aufbauenden Massnahmenpriorisierungen.	Vorhaltung/Pflege der Grundlagen Kosten: 50 kCHF/Jahr Lead:BAV/BAFU
[5]	Permanenter Runder Tisch der relevanten Stakeholder	Gemeinsames Verständnis der Ursachen, der Randbedingungen, der Bedürfnisse und der Möglichkeiten zur Stärkung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.	Organisation Runder Tisch Kosten: 10 kCHF/Jahr, Lead: BAV
[6]	Modellbasierte Entwicklung lärmoptimierter Oberbaukomponenten	Lärmoptimierte Oberbaukomponenten insbesondere in einem ersten Schritt betreffend dem Stahlschwellenoberbau.	Optimierung des Stahloberbaus Kosten: 100 kCHF, Lead: BAFU
[7]	Entwicklung umweltfreundlicher Reibungsmodifikatoren	Verbesserter Rad-Schienen-Kontakt zur Schonung der Berührflächen und Verminderung von dadurch induzierten erhöhten Lärmemissionen.	Produktentwicklung Kosten: 600 kCHF, Lead: BAFU
[8]	Lärmarter Rangierbahnhof	Verhinderung von unangenehmen und weit wahrnehmbaren tonalen Emissionen aus dem Rangierbereich und Erhöhung der Akzeptanz der nächtlichen Güterverkehrsabwicklung im Siedlungsbereich.	Messanalyse und getestete Optimierungsvorschläge Kosten: 200 kCHF, Lead: BAFU
[9]	Angepasste Raumgestaltung und optimierte Architektur	Handbuch für lärmoptimiertes Bauen und Wohnen im Lärmereich der Bahn zur Verhinderung einer Ohnmachtssituation bei den Lärmbetroffenen.	Erstellung Handbuch Kosten: 50 kCHF, Lead: ARE
[10]	Angepasste Siedlungsstruktur und Verhaltensweisen	Handbuch mit konkreten Empfehlungen für Anpassungen der Strukturen und Verhaltensweisen zur Minimierung der Störwirkung insbesondere in bahnlärmbelasteten Gebieten. Dokumentation der Ergebnisse in einem Handbuch für Behörden, Planer und die interessierte Öffentlichkeit mit Hilfsmitteln für die Unterstützung angepasster Siedlungsstrukturen und Lebensgewohnheiten.	Erstellung Handbuch Kosten: 100 kCHF, Lead: ARE
[11]	Pilotprojekt: Ruheinsel	Konkretes Umsetzungsprojekt einer Ruheinsel, welche die Wirksamkeit einer solchen Massnahme dokumentiert.	Bericht Umsetzungsmöglichkeiten Kosten: 100 kCHF, Lead: BAFU
[12]	Pilotprojekt: Klangraum	Konkretes Umsetzungsprojekt einer Klangraumgestaltung, welche die Wirksamkeit einer solchen Massnahme dokumentiert.	Bericht Umsetzungsmöglichkeiten Kosten: 100 kCHF, Lead: BAFU

Periodische Aktualisierung der Lärmstrategie:

Das Lärmrecht wird zurzeit überarbeitet. Die vorliegende Lärmstrategie ist deshalb als generelle Lärmstrategie zu verstehen, welche in der Folge der Anpassungen des Lärmrechts zu aktualisieren und weiter zu konkretisieren ist. Dieses Update wird voraussichtlich ab 2026 vorzunehmen sein.

Abkürzungen und Glossar

AS2035	Genehmigter und geplanter Ausbauschnitt 2035 der Bahninfrastruktur
AW	Alarmwert für Lärmimmissionen, Pflicht für Ersatzmassnahmen (zB SSF) bei notwendigen Erleichterungen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BGLE	Bundesgesetz zur Lärmsanierung der Eisenbahnen
BIF	Bahninfrastrukturfonds
BIFG	Bahninfrastrukturfondsgesetz
EKLB	Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung.
ERJU	Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail)
G-NoiseS	Lärm-GIS der SBB (<u>G</u> eospatial <u>N</u> oise <u>E</u> valuation <u>S</u> ystem)
GüTV	Gütertransportverordnung
IGW	Immissionsgrenzwert für Lärm, Sanierungspflicht für bestehende Anlagen
ISB	Infrastrukturbetreiber
LAeq	Über den Jahreszeitraum energetisch gemittelter Stundenpegel
Lärmmasse	Das mathematische Produkt von Anzahl Anwohner über dem IGW multipliziert mit der jeweiligen Höhe der Grenzwertüberschreitung. [Personen*dB]
Lr	Aus dem LAeq abgeleiteter Lärmbeurteilungspegel
LSV	Lärmschutzverordnung
LSW	Lärmschutzwände
LV	Leistungsvereinbarung zwischen Bund und SBB (4-Jahresperiode)
PW	Planungswert für Lärm, Grenzwert für neue Anlagen
RFI	Request for Information, formelle Anfrage für Informationen zu Produkten
RSD	Radschalldämpfer
SSF	Schallschutzfenster
TR-Level	Technology Readiness Level (Reifegrad einer Technologie)
UIC	Internationaler Eisenbahnverband
USG	Umweltschutzgesetz
ZKE	Zugkontrollleinrichtung
Zw	Schienezwischenlage

1. Ausgangslage

Der Grossteil der Lärmschutzmassnahmen bei der Bahn wurden im Rahmen des Bundesgesetzes über die Lärmsanierung (BGLE) abgewickelt. Unter anderem wurden mehrere 100 km Lärmschutzwände erstellt und das Güterwagenrollmaterial lärmsaniert. Das BGLE ist eine spezialgesetzliche und befristete Rechtsgrundlage. Die Umsetzungsfrist für Massnahmen dauert bis Ende 2025. Um einen geordneten Abschluss aller Projekte und der entsprechenden Zahlungen sicherzustellen, läuft die Geltungsdauer des Gesetzes bis Ende 2028. Nach Auslaufen des Gesetzes müssen künftig wieder alle Lärmschutzmassnahmen unter den Vorgaben des Umweltschutzgesetzes (USG) und der Lärmschutzverordnung (LSV) umgesetzt werden. An der Sitzung vom 9.9.2021 unter Leitung des BAFU (Vizedirektor Paul Steffen) mit Beteiligung von BAV und SBB wurde entschieden, dass die Planung dieses Übergangs an die Hand genommen werden muss. Die Anwesenden waren sich darüber einig, dass:

- Der Lärmschutz für die Eisenbahnen zu einer Daueraufgabe und
- die Unterstützungsinstrumente „Ressortforschung“ und „Investitionsförderung“ über die befristete Geltungsdauer des BGLE hinaus weitergeführt werden sollen.

1.1. Auftrag

An der Folgesitzung vom 8. Dezember 2021 wurde entschieden, dass die Zukunft des Lärmschutzes bei den Bahnen (nach 2025) in zwei Arbeitsgruppen entwickelt wird. Einerseits soll bis Mitte 2022 ein Entwurf für die Überführung der Regulation von BGLE und VLE durch die Arbeitsgruppe Regulation unter dem Lead des BAV vorliegen. Andererseits ist im Rahmen der Arbeitsgruppe Strategie Lärmschutz unter dem Lead der SBB aufzuzeigen, in welcher Form in Zukunft eine weitere Reduktion der Lärmemissionen erreicht werden kann.

1.2. Big Pictures

Als Startpunkt für die gemeinsame Tätigkeit in der Arbeitsgruppe wurden die jeweiligen Big Pictures formuliert. Diese Gesamtschau zeigt die Zusammenhänge der relevanten Themenbereiche. Die wichtigsten Aspekte sind folgend zusammengefasst.

1.2.1. BAV

Die Vollzugsaufgaben gemäss LSV müssen durchgeführt werden. Dies umfasst das Festlegen der zulässigen Immissionen im Rahmen der Plangenehmigungsverfahren, eine Kontrolle der Einhaltung der zulässigen Immissionen und das Anordnen von Massnahmen.

Zur Dokumentation des Zustandes der Lärmsanierung diskutiert das BAV die Weiterentwicklung eines Netzzustandsberichtes. Für jeden Streckenabschnitt würde dabei eine «Akustische Globalbeurteilung» mit einer Note vorgenommen.

Als weitere wichtige Instrumente für den zukünftigen Lärmschutz diskutiert das BAV die Anpassung eines Lärmbonus beim Trassenpreis und die finanzielle Unterstützung von Forschung und Innovation.

1.2.2. BAFU

Das BAFU macht folgende Trends aus: Verkehrszunahmen, Geschwindigkeitszunahmen, Modernisierung Güterverkehr, strengere Grenzwerte, weiterhin fehlende Massnahmen mit grossem Lärmreduktionspotential.

Das BAFU sieht folgende Probleme: Veraltete Technik im Güterverkehr, geringe Akzeptanz von Misserfolgen behindert Innovationen, Out-of-the-Box-Denken ist nicht Teil der Bahn-DNA, der Systemgedanke Rad-Schiene wird zu wenig gelebt.

Auch das BAFU sieht im Lärmbonus ein Potential für den Anreiz zu lärmreduzierten Fahrzeugen. Insbesondere sieht das BAFU noch Potential bei den Lokomotiven und Ausstattung von Güterwagen mit Scheibenbremsen, sowie bei der Vermeidung von Flachstellen mit einem besseren Gleitschutz. Auch können neue Drehgestelle zu leiserem Güterverkehr führen.

Bei der Infrastruktur sieht das BAFU Potential bei den Zwischenlagen und der Schienenrauheit. Die Optimierung des Gesamtsystems der Oberbaukomponenten wird ebenfalls als erfolgversprechend betrachtet.

Auch Lärmschutzwände können eine wichtige Massnahme bleiben. Zusätzlich sind betriebliche Massnahmen wie Geschwindigkeitsreduktionen bei lauten Kurvengeräuschen denkbar.

1.2.3. SBB

Das technische System Oberbau und Rollmaterial ist so zu gestalten, dass im Rahmen einer Gesamtoptimierung von Lärm, Erschütterungen, Kosten und Sicherheit die Störung auf der menschlichen Immissionsseite minimiert wird. Dabei darf der Bahnbetrieb nicht beeinträchtigt oder gefährdet werden. Die Immissionsseite soll in ihrem Gesamtkontext berücksichtigt werden, da die Störung bei Anwohnenden nur teilweise durch die Grenzwerte bestimmt wird.

Nicht nur der netzweite Lärmreduktionsgedanke soll verfolgt werden. Auch die Lärmoptimierung von Hot-spots muss möglich sein, ohne dass dadurch präjudizielle Nachteile für den ISB entstehen.

Da kaum mehr Massnahmen mit relevantem und wirtschaftlichem Lärmreduktionspotential in ausreichender Umsetzungsreife zur Verfügung stehen, ist die Kooperation in erfolgversprechenden Projekten zur technischen Entwicklung und Forschung wichtig.

Aus obigen Gründen soll der Lärmschutz als Daueraufgabe ohne zeitliche Befristung betrachtet werden.

Sowohl die Entwicklung weiterer Lärmschutzmassnahmen als auch die Umsetzung solcher Massnahmen erfordern eine gesicherte Finanzierung über die LV oder eine Sonderfinanzierung.

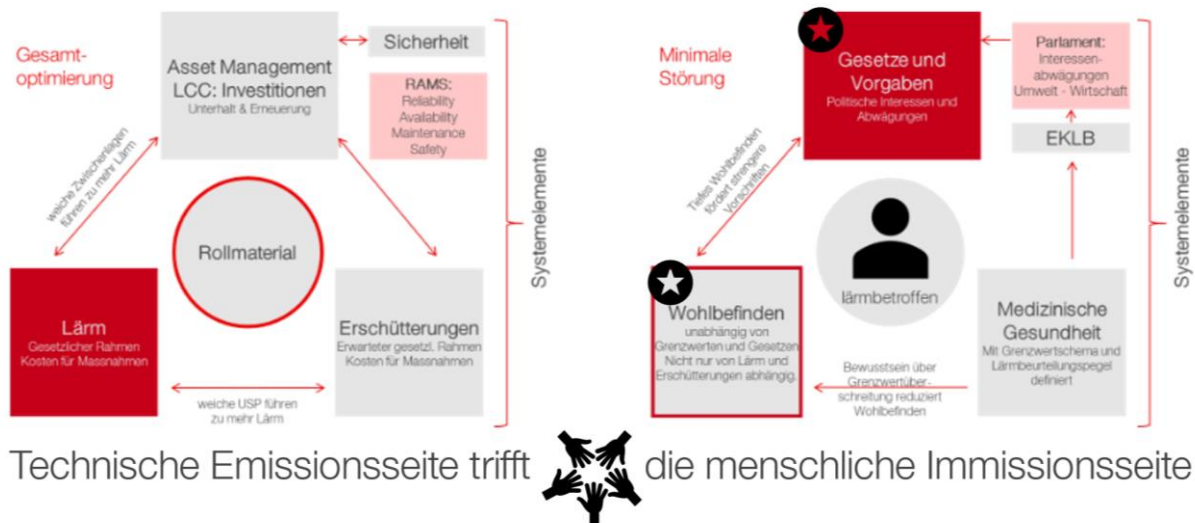


Abbildung 1: Zusammenfassung der Systemelemente der Emissions- und Immissionsaspekte aus dem BigPicture der SBB.

1.3. Aktuelle Eisenbahnlärmprobleme

Das Eisenbahnrollgeräusch hat durch die Umrüstung der Bremssysteme bei den Güterwagen und die intensivierte Schienenpflege abgenommen. Auch konnten durch die Erstellung von mehreren 100 km Lärmschutzwänden Zehntausende Anwohnende vor übermässigem Lärm geschützt werden. Dennoch verbleiben Grenzwertüberschreitungen und die Zunahme des Verkehrs führt in der Regel immer auch zu einem Anstieg der generellen Lärmimmissionen.

Die Störmeldungen durch Anwohnende haben sich in den letzten Jahren mehr auf situative Lärmauswirkungen fokussiert. Insbesondere wurden mehrere aufsichtsrechtliche Beschwerden wegen Stillstand- und Abstelllärm in Bahnhöfen und Abstellanlagen ausgelöst. Auch Bogengeräusche, sowie Weichen und Schienenschosse oder laute Brücken führen immer wieder lokal zu heftigen Reklamationen.

Durch die generelle Lärmreduktion beim Güterverkehr werden Radfehler (bspw. Flachstellen) deutlicher wahrnehmbar. Einzelne laute Güterzüge bilden einen wesentlichen Anteil an den nächtlichen Lärmbelastungen, welche insbesondere die Schlafqualität beeinträchtigen können. Auch in der Umgebung von Rangierbahnhöfen führen insbesondere nächtliche Kreischgeräusche zu Ruhestörungen.

Aufgrund der grossen Belastung des Schienennetzes müssen Fahrbahnpflegemassnahmen und periodische Fahrbahnerneuerungen intensiviert werden. Akustische Veränderungen aufgrund neuer Oberbaudynamiken (Elastizitäten) und veränderter Schienenrauheit lösen immer wieder Irritationen bei AnwohnerInnen aus. Und schliesslich führen grössere Ausbauten teilweise zu starken Veränderungen in der Lärmbelastung. Auch neues Rollmaterial führt wegen einer veränderten akustischen Wahrnehmung vereinzelt zu Beschwerden.

Viele dieser oben beschriebenen Lärmwirkungen sind vor allem lokal und situativ störend. Die netzweite Lärmreduktion durch eine bestimmte Massnahme wird dadurch schwieriger. Lokale Spezialitäten erfordern zukünftig deshalb ein kleinräumigeres Vorgehen bei der Massnahmenplanung.

Dennoch darf nicht vergessen gehen, dass der nächtliche Güterverkehr nach wie vor die dominante Quelle für die übermässige Lärmbelastung der Anwohnenden darstellt. Die Sanierung der Güterwagen hat diese Dominanz zwar deutlich reduziert, aber dennoch nicht eliminiert. Auch hat eine leichte Verschiebung des Güterverkehrs in den Tagzeitraum die Lärmbelastung etwas entschärft. Güterzüge sind jedoch nach wie vor lauter als Personenzüge und insbesondere die Güterzüge, welche in der Nacht verkehren und so erst den sogenannten «Nachtsprung» ermöglichen (Güter werden über Nacht an den Zielort geliefert), können den gesundheitlich wichtigen Schlaf beeinträchtigen. Es bleibt deshalb prioritär, die nächtlichen Lärmemissionen des Güterverkehrs weiter zu reduzieren. Entweder durch weitere Sanierungsmassnahmen an den Fahrzeugen oder durch einen Ersatz der Wagenflotten mit modernen noch leiseren Fahrzeugen.

Der im Lärmrecht vorgesehene Beurteilungspegel wird der nächtlichen Problematik von Aufweckereignissen durch kurzzeitige Maximalpegel vermutlich zu wenig gerecht. Daran ändern auch die aktuell diskutierten Grenzwertverschärfungen wenig. Die gemittelten Lärmpegel können mit den zur Verfügung stehenden Massnahmen kaum mehr reduziert werden. Die Verhinderung lauter Einzelereignisse erhält aufgrund der Gesetzgebung möglicherweise zu wenig Priorität.

1.4. Interessenkonflikte und Gesamtkontext

Das berechtigte öffentliche Interesse an einem Lärmschutz, welcher die Erhaltung der Gesundheit der AnwohnerInnen an Eisenbahnanlagen im Fokus hat, kollidiert teilweise mit anderen öffentlichen Interessen. Besonders zu erwähnen sind die Interessen der Raumplanung, welche eine verdichtete Bauweise, die nahe bei den Verkehrsträgern situiert ist, fördern will. Durch diese Entwicklung und die Bevölkerungszunahme werden in Zukunft mehr Menschen in lärmbelasteten Gebieten wohnen. Zusätzlich erschwert dies in Zukunft Infrastrukturausbauprojekte.

Diese Ausbauprojekte sind Resultat eines weiteren öffentlichen Interesses einer erhöhten Mobilität. Die Zunahme der Mobilität ist dabei nicht nur Folge der generellen Mobilitätsbedürfnisse, sondern auch der Absicht, einen grösseren Teil des Verkehrs auf der Schiene abzuwickeln, um die Klimaziele erreichen zu können. Es scheint aus heutiger Sicht unausweichlich, dass die Ziele des Lärmschutzes, der Begrenzung der Bauzonen, der Mobilitätzunahme und der Klimaneutralität sich teilweise lokal widersprechen. Eine Möglichkeit zur Klärung solcher Interessenkonflikte können Ausgleichsmassnahmen sein. Für den Lärmschutz würde dies bedeuten, dass entweder als Ersatz für nicht realisierbaren Lärmschutz an anderer Stelle Ruheinseln geschaffen werden oder dass andere Massnahmen zur Gesundheitsförderung umgesetzt werden. Wichtig ist, den Lärmschutz als Teil eines gesamtheitlichen Gesundheitsschutzes zu verstehen und die Gesundheitsstrategie im Kontext der anderen gesellschaftlichen Entwicklungen zu betrachten. Die Lärmstrategie im Rahmen dieser Arbeitsgruppe ist somit unvollständig, da ein übergeordneter Trade-off zwischen den Strategien zu Gesundheit, Mobilität, Klima, Raumplanung und Bevölkerungsentwicklung gesucht werden müsste.

1.5. Allgemeine Kosten-Nutzen Betrachtung

Die Lärmschutzbemühungen werden dadurch gerechtfertigt, dass durch die übermässige Lärmbelastung Menschen in ihrer Gesundheit und in ihrem Wohlbefinden beeinträchtigt werden. Diese Gesundheitskosten sind einerseits in den Kontext anderer Beeinträchtigungen des Wohlbefindens einzuordnen und andererseits den Kosten der Lärmverhinderung gegenüberzustellen.

Eine Einordnung der Gesundheitskosten kann beispielsweise über die DALYs¹ (disease-adjusted life years, verlorene gesunde Lebensjahre) erfolgen. In der Untersuchung «Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit» im Auftrag des BAFU wurden die DALY für Eisenbahnlärm in der Schweiz berechnet². Der Wert wird für den Verkehrslärm auf 46'400 geschätzt, wovon 5'568 (12%) auf den Eisenbahnlärm entfallen. Die Basis der Gesamtwohnbevölkerung der Studie dürfte ca. 8 Mio. Einwohner betragen. Damit ist die Krankheitslast durch Eisenbahnlärm in der Schweiz ungefähr 70 je 100'000 Einwohner. Der grösste Teil der Gesundheitslast verteilt sich dabei auf das Krankheitsbild «Schlafstörungen». Gemäss einer Studie des Robert-Koch-Instituts ist die Gesamtzahl der DALYs in Deutschland 14'584 je 100'000 Einwohner³, dieser ist in der gleichen Grössenordnung wie der entsprechende Wert der weltweiten Global Burden of Disease Studie (GBD, 14'813)⁴. Für die Schweiz existiert unseres Wissens keine aktuelle Berechnung der DALY für die Gesamtgesundheitslast. Entweder trifft man die Annahme, dass die Zahlen aus Deutschland (ca. 15k) auch für die Schweiz repräsentativ sind oder man verwendet den Wert aus der GDB-Studie für die Schweiz (ca. 10k), welcher aber nur statistisch geschätzt ist. Je nach verwendeter Referenz macht der Eisenbahnlärm dann zwischen 0.5% und 0.7% der Gesamtgesundheitslast in der Schweiz aus. Dies entspricht ca. $\frac{1}{15}$ der Gesundheitsbelastung durch «alkoholbezogene Störungen» oder «Nackenschmerzen», ca. $\frac{1}{5}$ der

¹ Englische Abkürzung für Disability Adjusted Life Years (Behinderungsbereinigtes Lebensjahr). Die DALY setzen sich zusammen aus den verlorenen Lebensjahren durch vorzeitigen Tod (YLL) und mit Behinderung gelebte Lebensjahre (YLD)

² Ecoplan, Auswirkungen des Verkehrslärms auf die Gesundheit. Berechnung von DALY für die Schweiz (Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt), Schlussbericht 22.04.2014

³ Krankheitslast in Deutschland und seinen Regionen, Ergebnisse zu den „disability-adjusted life years“ (DALY) aus der Studie BURDEN 2020, DOI: 10.3238/arztebl.m2022.0314

⁴ Global burden of 369 diseases and injuries, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Vgl. auch <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>

Gesundheitsbelastung durch Migräne⁵ und ca. $\frac{1}{2}$ der Gesundheitsbelastung durch Verkehrsunfälle. Eisenbahnlärm entspricht damit ungefähr der Gesundheitsbelastung durch «Eisenarmut» oder «Hautpilzerkrankungen». Die Ermittlung von DALYs ist jedoch mit grosser Unsicherheit verbunden. Generell lässt sich aber vermutlich sagen, dass die Gesundheitsbelastung durch Eisenbahnlärm für die Gesamtbevölkerung eher ein untergeordnetes Gesundheitsproblem darstellt. Was aber selbstverständlich nicht bedeutet, dass die Verhinderung von Lärm aus gesundheitlicher Perspektive unnötig ist. Es zeigt nur, dass die Gesundheit durch viele andere Aspekte weit mehr gefährdet ist.

Die unmittelbaren Gesundheitsbelastungen haben die direkten Anwohner der Eisenbahnlinien zu tragen. Dadurch erhöhte Gesundheitskosten werden teilweise über das Prämiensystem auf die Gesamtbevölkerung verteilt. Arbeitsausfälle werden u.a. durch die Arbeitgeber aufgefangen und wieder auf Löhne und Preise abgewälzt. Die Kosten zur Vermeidung der Lärmbelastung müssen i.d.R. durch den Bund finanziert werden. Dieser kann entweder die Kosten über Steuern ausgleichen oder durch eine geringere Subventionierung des Eisenbahnverkehrs. Im ersten Fall erfolgt eine Verteilung der Kosten auf die Gesamtbevölkerung im Sinn der Finanzsolidarität, im zweiten Fall werden die fehlenden Kostenbeiträge des Bundes durch die Erhöhung der Fahrpreise und Transportpreise oder die Reduzierung des Fahrangebots durch den Bahnkunden getragen.

Fraglich ist, inwiefern Kosten durch Wertverminderungen von Liegenschaften miteinbezogen werden sollen. Häufig ist das Bauen in der Nähe der Bahn gewollt und kann in vielen Fällen architektonisch auch so gelöst werden, dass die Belastung für die Schlafräume erträglich ist. Durch einen guten Mobilitätszugang (Nähe zu einem Bahnhof) erfährt die Liegenschaft auch eine Aufwertung. Dies müsste ebenfalls berücksichtigt werden.

Wenn die Kosten zur Lärmvermeidung zu einer Umlagerung des Schienenverkehrs auf die Strasse führen, wird auch die Lärmbelastung durch den Strassenverkehr erhöht und es werden wiederum Gesundheitskosten generiert. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass zusätzliche Klimakosten entstehen, welche wiederum die Gesundheitskosten und die Kosten zur Abwendung der Klimaerhitzung erhöhen. Eine solche Umverteilung der Kosten ist weder volkswirtschaftlich noch gesundheitspolitisch sinnvoll. Wenn Güterverkehr in der Nacht als relevanteste Lärmquelle auf dem Schienennetz aus lärmrechtlichen Gründen limitiert wird, kann dieser nicht zwingend am Tag abgewickelt werden. Diese Einschränkung der Transportkapazitäten und des sogenannten Nachtsprungs führt ebenfalls zu volkswirtschaftlichen Kosten.

Weiter ist zu bedenken, dass aufgrund limitierter Ressourcen i.d.R. nicht alle denkbaren und möglichen Vorkehrungen zum Gesundheitsschutz durch den Staat getroffen werden können. Lärmschutz steht deshalb immer auch in Konkurrenz zu anderen Gesundheitszielen (vgl. Bemerkungen zu Gesamtgesundheitslast). Die Interessenabwägung erfolgt auf einer gesellschaftspolitischen Ebene im Kontext der medizinischen Empfehlungen, politischen Prioritäten und der technischen und betrieblichen Umsetzungsmöglichkeiten.

2. Zielsetzung und Vorgehen der Arbeitsgruppe

2.1. Zielformulierung

Abgeleitet aus den Big Pictures (s.o.) können folgende Ziele formuliert werden.

- Der zukünftige Lärmschutz folgt einer Gesamtoptimierung. Auf der Ebene des Systems Bahn werden neben dem Lärmschutz auch der Erschütterungsschutz und die LCC der Fahrbahn berücksichtigt. Dabei muss die Sicherheit des Systems immer gewährleistet werden. Auf einer übergeordneten Ebene soll die Konkurrenzfähigkeit der Bahn als klimafreundliches Transportmittel nicht gefährdet werden.

⁵ Migräne und Spannungskopfschmerz in Deutschland. Prävalenz und Erkrankungsschwere im Rahmen der Krankheitslast-Studie BURDEN 2020, DOI: 10.25646/6988.2

- Aus diesem globalen Ziel werden folgende Unterziele und Absichten abgeleitet:
 - Der Lärmschutz der Bahn wird als Daueraufgabe betrachtet. Auf diese Weise können immer die aktuellen technischen Entwicklungen berücksichtigt werden und die Bahn kann stetig leiser gestaltet werden.
 - Die technische Entwicklung wird aktiv gefördert, damit das Portfolio an möglichen Massnahmen immer grösser wird. Die Bahn ist dabei kein Forschungsinstitut, begleitet und unterstützt aber Forschungsprojekte.
 - Neben der technischen Entwicklung kommen auch Anreizsysteme (z.B. für leises Rollmaterial) oder nicht-akustische Massnahmen (Nachbarschaftspflege) in Frage.
 - Um die Sicherheit und Betriebsstabilität zu gewährleisten und um teure Korrekturen zu vermeiden, werden nur erprobte, umsetzungsreife und wirksame Massnahmen umgesetzt.
 - Damit neue Massnahmen rascher umgesetzt werden können, werden Versuchs-, Einbau- und Bewilligungsprozesse definiert.
 - Der Verfahrensaufwand soll klein gehalten werden und stattdessen soll die Aufmerksamkeit der Förderung einer leisen Bahn gelten.
 - In besonders störenden Situationen sollen spezielle Massnahmen möglich sein, ohne dass dies eine präjudiziale Wirkung hat.
 - Der aktuelle Stand zum Lärmschutz und die erwartete Entwicklung wird pro Streckenabschnitt dokumentiert.

Die Ziele werden durch alle drei Stakeholder (BAV, BAFU, SBB) unterstützt. Die Gewichtung einzelner Aspekte ist unterschiedlich. Grössere Widersprüchlichkeiten wurden in der Diskussion aber nicht ausgemacht.

2.2. Vorgehen

Da keine grösseren Interessenkonflikte und Differenzen ersichtlich sind, wurde die Entwicklung einer gemeinsamen Lärmschutz-Strategie angestrebt.

Die Entwicklung der Strategie erfolgte unter dem Lead der SBB. In periodischen Sitzungen wurden die Massnahmenvorschläge und Prozessschritte konkretisiert und bereinigt. Die Hauptarbeit erfolgte ausserhalb der Sitzungen in der Formulierung von konkreten Vorschlägen.

In periodischen Sitzungen wurde ein gemeinsames Verständnis sichergestellt. Mit Entscheidprotokollen wurden die Sitzungsergebnisse dokumentiert.

Zur Dokumentation der Diskussion und der für die Lärmschutz Strategie wichtigen Elemente dienten folgende Listen: Stolpersteine, Erkenntnisse, Ziele und Interessen, Massnahmenliste, Offene Punkte.

Die Erarbeitung der Massnahmenbewertungen erfolgte auf Basis von Szenarien-Rechnungen der potenziellen Lärmbelastungen unter anderem mit Hilfe des Lärm-GIS der SBB (G-NoiseS).

Aufbauend auf den Listen und Diskussionen in der Arbeitsgruppe wurde parallel der vorliegende Bericht zur Empfehlung für den zukünftigen Lärmschutz bei der Bahn erstellt. Er enthält auch eine Liste der möglichen Massnahmen mit einer Bewertung. Die detaillierte Beurteilung des Nutzens und der Kosten, sowie die notwendigen nächsten Schritte (abhängig von der Massnahme und dem Technologie-Reifegrad (TR-Level)⁶: Prestudies, Tests, Literaturrecherche, Potentialanalyse, ...) müssen für konkrete Massnahmen in einem separaten Prozess ermittelt werden. Die vorliegende Empfehlung zeigt nur auf einer übergeordneten Ebene die

⁶ Raumfahrttechnik - Definition des Technologie-Reifegrades (TRL) und der Beurteilungskriterien (ISO 16290:2013, modifiziert); Deutsche Fassung EN 16603-11:2019

Auswirkungen von Massnahmen mit Szenarienberechnungen auf, um Grundlagen für strategische Entschiede zur schaffen.

Die Erarbeitung der vorliegenden Empfehlung erfolgte gemäss Zeitrahmen in Abbildung 2.

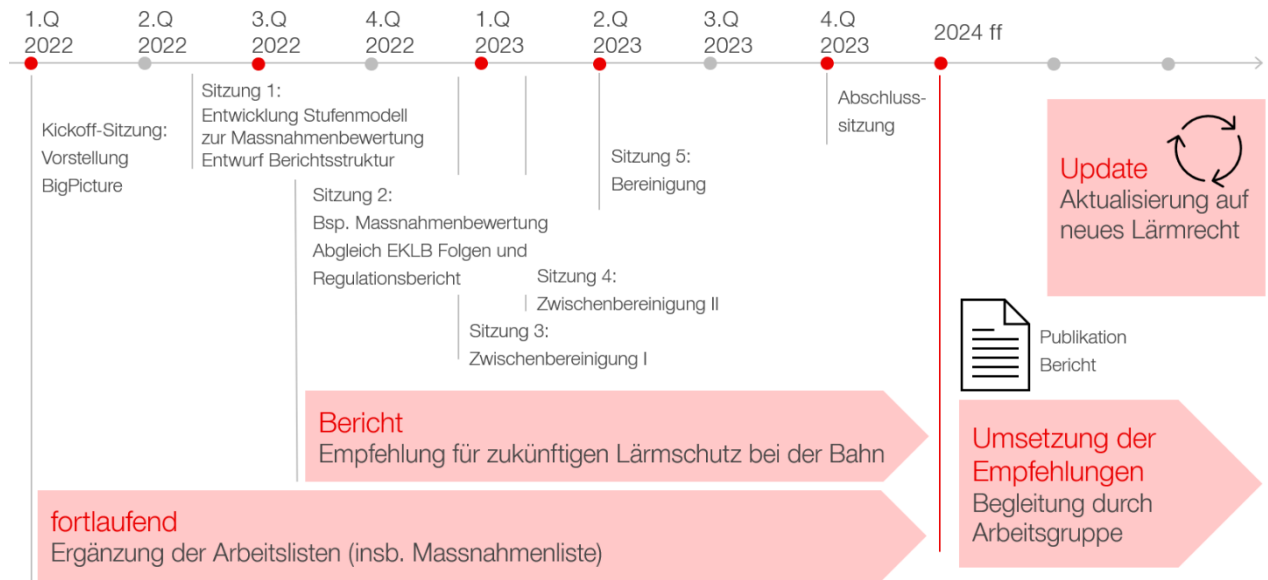


Abbildung 2: Zeitplan der Arbeitsgruppe Strategie Lärmschutz.

3. Analyse von Lärmreduktionsmassnahmen

Im fachlichen Austausch unter den Lärmexperten von BAV, BAFU und SBB wurden die erfolgversprechendsten Massnahmen zur Lärmreduktion auf Basis von Expertenmeinungen und Literaturkenntnissen erfasst und dokumentiert (Anhang A1 und A2). Die Liste umfasst einerseits konkrete technische Massnahmen an Rollmaterial und Infrastruktur und andererseits auch Massnahmen zur Verbesserung des Systemverständnisses, welches die Grundlage für die Entwicklung weiterer Lärmschutzmassnahmen ist. Auch reine Steuerungs- und Überwachungsmassnahmen wurden behandelt, welche es erlauben, die effektivsten Massnahmen zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort zu ergreifen. Zusätzlich wurden Massnahmen erfasst, welche die Lärmwirkung reduzieren können, ohne dass die Lärmimmissionen effektiv gesenkt werden.

3.1. Massnahmenpriorisierung

Alle Massnahmen wurden hinsichtlich ihrer Machbarkeit, Wirksamkeit und Effizienz bewertet (Abbildung 3). Einfach umsetzbare technische Massnahmen stehen kaum mehr zur Verfügung, um einen effektiven weiteren Lärmschutz nach der Rollmaterialsanierung und der Erstellung von über 300 km Lärmschutzwänden zu gewährleisten. Prioritär sind deshalb Massnahmen aus dem Bereich von Forschung und Entwicklung zu ergreifen, um die Grundlagen für weitere Optimierungen zu schaffen.

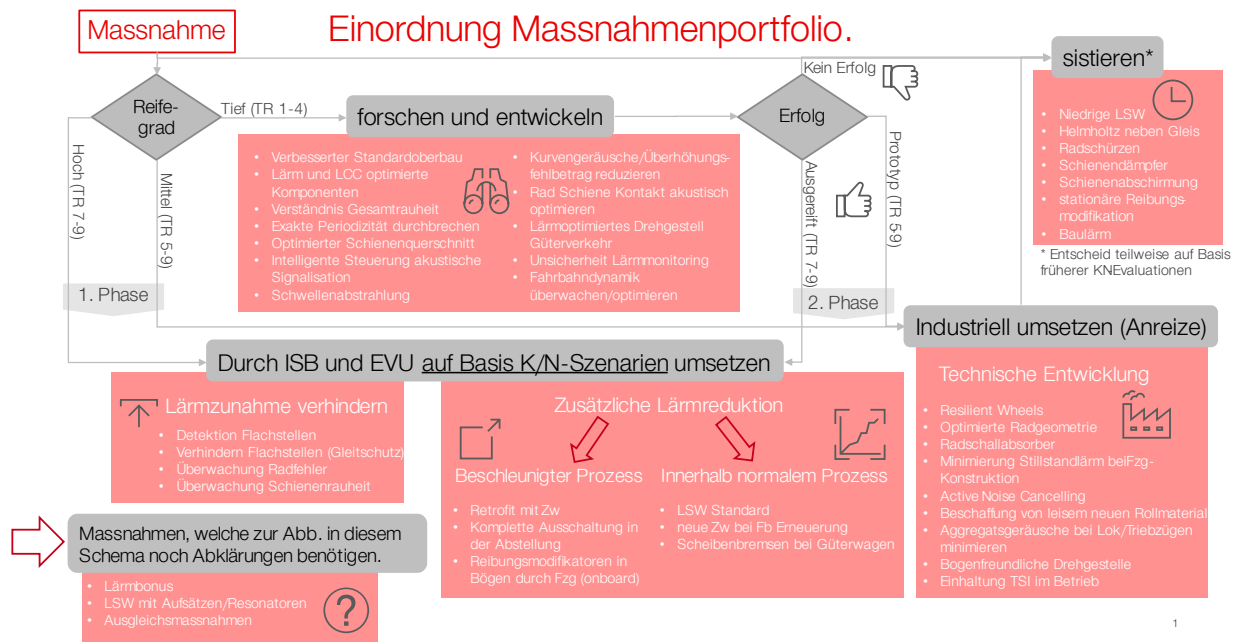


Abbildung 3: Im Rahmen der Strategiegruppensitzungen erarbeitete Einordnung von möglichen Lärmschutzmassnahmen gemäss TR-Level.

In einem weiteren Schritt konnten die sinnvollsten Massnahmen zu Paketen geschnürt werden (Kap. 4.2 Massnahmenkonzept)

Die Massnahmen, welche zur weiteren Bearbeitung prioritär empfohlen und in den Massnahmenpaketen integriert wurden, sind im Anhang aufgeführt (A1).

3.2. Wirkungsanalysen mit Szenarien

Damit die Wirkung von Massnahmen beurteilt werden kann, wurden Szenarienberechnungen durchgeführt. Die Beurteilung erfolgt für den Horizont 2035. Damit wird sichergestellt, dass sich geplante Verkehrszunahmen und Anpassungen im Rollmaterialmix auswirken. Die Veränderungen beinhalten dabei nicht nur Zunahmen, sondern auch Verschiebungen im Tag/Nacht-Anteil.

Für die Beurteilung des akustischen Nutzens kann einerseits die zu erwartende Emissionsreduktion auf spezifischen Streckenabschnitten rechnerisch ermittelt werden und andererseits sind netzweite Belastungsstudien auf Basis von Immissionsberechnungen möglich.

Die reine Betrachtung der Emissionsseite zeigt die Wirksamkeit einer einzelnen Massnahme an der Quelle im Kontext der Gesamtemission. Beispiele dafür sind Massnahmen, welche die Schienenrauheit oder die Radrauheit betreffen. Aus dieser Betrachtung kann eine Priorisierung von Einzelmassnahmen vorgenommen werden.

Mit der deutlich aufwendigeren Lärmbelastungsanalyse (Anzahl betroffene Personen) kann der Einfluss von Emissionsszenarien auf die Lärmbelastung in der Bevölkerung übertragen werden. Diese Szenarien machen insbesondere dann Sinn, wenn die zu erwartende Emissionsveränderung gross genug ist, um eine relevante Belastungsreduktion erwarten zu dürfen.

Die berechneten Szenarien basieren auf der Lärmbeurteilung gemäss LAeq. Dieser Wert kann die Lästigkeit bspw. aufgrund von Flachstellen oder Kreischereignissen nicht gut abbilden. Massnahmen, welche in diesem Bereich wirken, müssen mit anderen Abklärungen bewertet werden.

Neben quantitativen kann die Wirkung von Massnahmen auch mit qualitativen Szenarien beurteilt werden.. Insbesondere die Entwicklung von Emissionen auf Basis von Verkehrsprognosen und die Entwicklung von Lärmbetroffenen auf Basis der Bevölkerungsentwicklung und der raumplanerischen Änderungen sind nicht exakt ermittelbar, dennoch dürfen diese Aspekte nicht vergessen gehen.

Massnahmen, welche einerseits keine grossräumigen und netzweiten Auswirkungen und andererseits keinen definierten Impact auf die Emissionsmodelle haben, können nicht mit Standardemissions- und Immissionsberechnungen auf ihre potenzielle Wirkung hin überprüft werden. Es sind anderen Analysen notwendig, Z.B. über eine Abschätzung der potenziell gestörten Anwohnenden.

Die Tabelle 1 zeigt die berechneten Szenarien. Die Resultate werden im folgenden Kapitel dargestellt und diskutiert.

Tabelle 1: Netzweite Emissions- und Immissionsszenarien, sowie Potentialanalysen, welche im Rahmen der vorliegenden Untersuchung berechnet wurden.

Nr.	Emissionsszenarien (Anlagensicht):
E0	Referenz-Szenario: AS2035 mit durchschnittlicher (average) Schienenrauheit und Oberbau Stand 2021
E1	Gewährleistung von glatten Schienen (smooth statt average)
E2	Güterwagen mit Scheibenbremsen (tiefe Radrauheit) mit durchschnittlicher Schienenrauheit
E3	Güterwagen mit Scheibenbremsen auf glatten Schienen
E4	Güterwagen mit (hitzebeständigen) Radschallabsorbern auf durchschnittlich rauhen Schienen
E5	Reisezugwagen mit Radschallabsorbern (RSD) auf durchschnittlich rauhen Schienen
E6	Güter- und Reisezugwagen mit Radschallabsorbern (RSD) auf durchschnittlich rauhen Schienen
E7	Güterwagen mit Scheibenbremsen und alle Züge mit RSD auf durchschnittlich rauhen Schienen
E8	Güterwagen mit Scheibenbremsen und alle Züge mit RSD auf glatten Schienen
E9	Alle Güterzug-Lokomotiven leise wie eine Re460
Nr.	Immissionsszenarien (Lärmbetroffenheitsanalysen):
I0	Referenz AS35
I1	Lärmschutzwände (mit Randbedingung zur Wirtschaftlichkeit)
I2	Hochdämpfende Zwischenlagen
I3	Hochdämpfende Zwischenlagen plus E8: Leuchtturm-Szenario für Massnahmen an der Quelle
I4	Referenz AS2035 mit verschärftem Lärmrecht (ES II, kein K1)
I5	Lärmschutzwände mit Basis der ES II Grenzwerte (mit Randbedingung zur Wirtschaftlichkeit)
Nr.	Potentialanalysen der Lärmbetroffenheit:
P1	Güterwagen ohne Flachstellen
P2	Störungsoptimiertes Schienenschleifen
P3	Störungsoptimierte Rangieranlagen (kreischfrei)
P4	Störungsoptimierte Fahrzeugabstellung
P5	Lärmoptimierter Stahlschwellenoberbau

3.3. Resultate der Szenarienberechnungen

3.3.1. Erwartete Restlärmbelastung 2035 (Szenario E0 und I0)

Mit den aktuellen effektiven Geschwindigkeiten (Horizont 2021) und dem aktuell vorliegenden Oberbau wurden unter Berücksichtigung des geplanten Rollmaterialmix und Verkehrsaufkommen AS35 (genehmigter Ausbauschnitt 2035) eine Emissionsprognose 2035 erstellt (E0). Auf dieser Basis wurde eine netzweite Immissionsberechnung durchgeführt (I0) und pro Hektometer Streckennetz die Anzahl Personen über dem Immissionsgrenzwert ermittelt (gemäss aktuellem Lärmrecht, Stand 2023). Die Empfindlichkeitsstufen wurden aus den harmonisierten Bauzonen abgeleitet. Unter dieser Annahme verbleiben für den Horizont 2035 noch ca. 14'000 Lärmbetroffene über dem Immissionsgrenzwert. Die folgende Karte zeigt die Verteilung der Betroffenheit über das Streckennetz für dieses Referenzszenario. Die Restlärmbelastung verteilt sich über einen grossen Teil des insbesondere mit nächtlichem Güterverkehr belasteten Netzes (vgl. auch Abbildung 9). Das angefügte Histogramm in Abbildung 3 zeigt, dass die meisten Hektometerabschnitte mit Grenzwertüberschreitungen auf dem Streckennetz weniger als 20 Personen >IGW aufweisen. Die Wirtschaftlichkeit von stationären und kostenintensiven Massnahmen (bspw. Lärmschutzwände) ist aus obigen Gründen limitiert. Massnahmen, welche einen netzweiten Nutzen haben, erscheinen aus dieser Perspektive geeigneter.

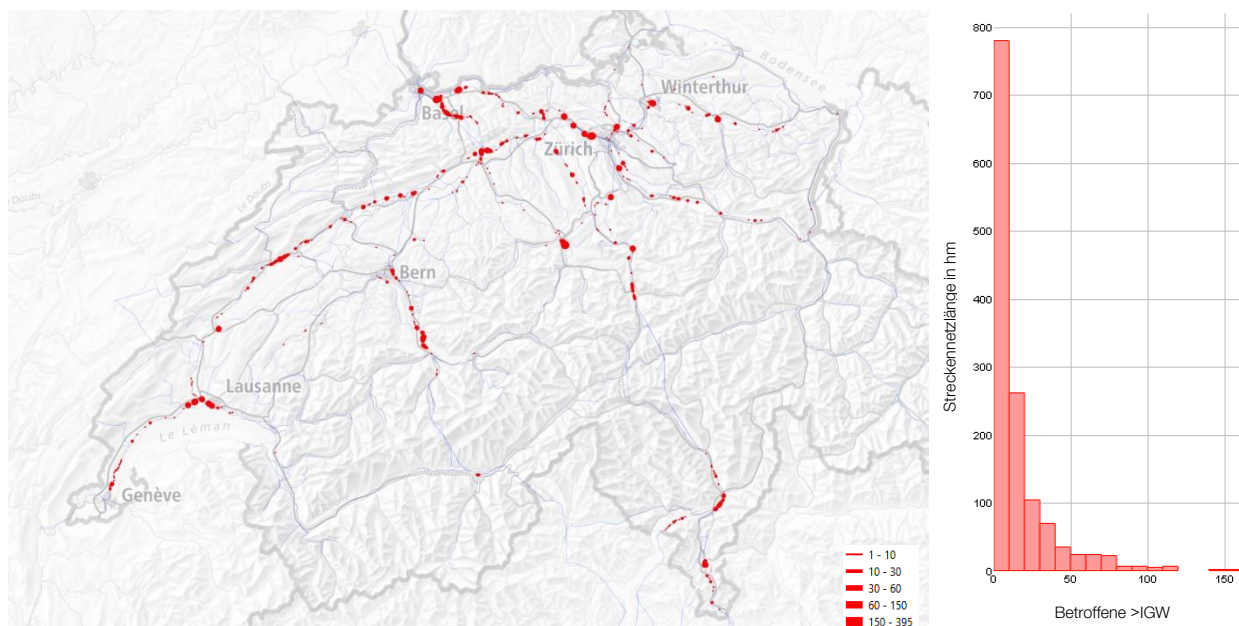


Abbildung 4: Visualisierung der Anzahl Betroffener >IGW pro Hektometer Streckennetz. Viele Strecken weisen keine relevante Betroffenheit mehr auf. Das Histogramm umfasst nur die Hektometerabschnitte mit Betroffenen >IGW.

Durch die zusätzliche Ermittlung und Betrachtung der Belastungszahlen unterhalb des IGW anhand von 1 dB Belastungsklassen (Abbildung 4), kann einerseits abgeschätzt werden, wie gross der Einfluss von Entwicklungen sind, welche die Lärmemissionen anwachsen lassen (unerwünschte Lärmzunahmen). Andererseits wird aus der Analyse auch ersichtlich, welchen Einfluss Grenzwertverschärfungen haben.

Es ist auffällig, dass durch eine Erhöhung der Emissionen um 2 dB (oder Verschärfung der Grenzwerte um denselben Wert) ca. 11'000 Anwohnende betroffen sind. Umgekehrt lassen sich durch Emissionsreduktionen von 2 dB aber nur ca. 4'500 Anwohnende unter den Grenzwert bringen. Diese asymmetrische

Verteilung der Belastungen führt dazu, dass Lärmerhöhungen oder Grenzwertverschärfungen lärmrechtlich stärker ins Gewicht fallen als Lärmreduktionen.

Fazit: Nach dem aktuellen Lärmrecht ist damit zu rechnen, dass im Horizont Ausbauschnitt 2035 ca. 14'000 Anwohnende über den Immissionsgrenzwerten belastet sind. Mit einer Belastungsreduktion von 2 dB könnten im Referenzszenario ca. 4'500 Personen geschützt werden. Mit einer Belastungserhöhung (oder Grenzwertverschärfung) von 2 dB würden ca. 11'000 Personen zusätzlich über dem IGW belastet sein.

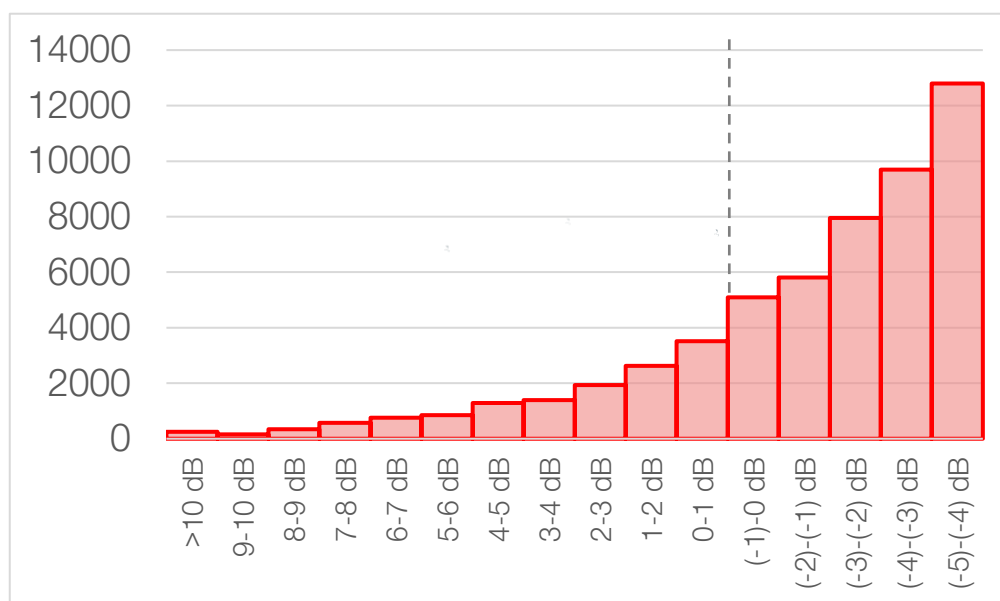


Abbildung 5: Anzahl Lärmbetroffene pro dB-Klasse entlang des Normalspurnetzes für das Referenzszenario 2035. Lesebeispiel: Im Bereich knapp unter dem IGW (bis -1 dB unterhalb des Grenzwertes) befinden sich ca. 5'000 Anwohnende.

3.3.2. Auswirkung von Grenzwertverschärfungen (Szenario I4)

Aktuell stehen verschiedene Verschärfungen des Lärmrechts zur Diskussion. Einerseits hat die EKLB empfohlen, dass auch Wohnnutzungen in einer Empfindlichkeitsstufe 3 gemäss den Grenzwerten der ES 2 beurteilt werden. Weiters wird ein genereller Verzicht auf die K1-Pegelkorrektur vorgeschlagen. Ob und wie genau eine Verschärfung in Zukunft umgesetzt wird, ist noch unklar. Im Sinne einer orientierenden Berechnung wurde aber ein Szenario für den Horizont 2035 untersucht, bei welchem die obigen Verschärfungen netzweit angewendet wurden. Wie die Abbildung 6 zeigt, würden solche Verschärfungen fast netzweit zu neuen IGW-Überschreitungen führen. Auch zeigt das Histogramm, dass die Betroffenheit pro 100m stark zunehmen würde. Damit würde eine übermässige Lärmbelastung nicht mehr zu einer situativen und lokalen Ausnahme, sondern zu einem grundsätzlichen Zustand entlang der Bahngleise.

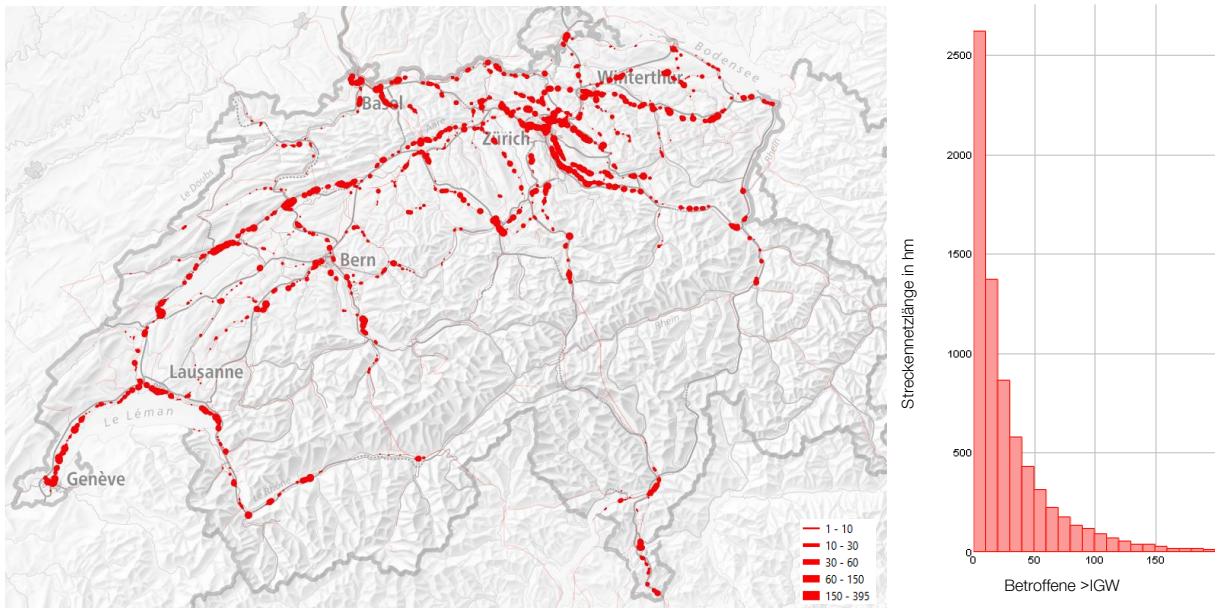


Abbildung 6: Visualisierung der Anzahl Betroffener >IGW pro Hektometer Streckennetz. Die meisten Strecken weisen mit den angenommenen Verschärfungen im Lärmrecht (ES 3 als ES 2 beurteilt, keine K1-Pegelkorrektur) Grenzwertüberschreitungen auf. Das Histogramm umfasst nur die Hektometerabschnitte mit Betroffenen >IGW.

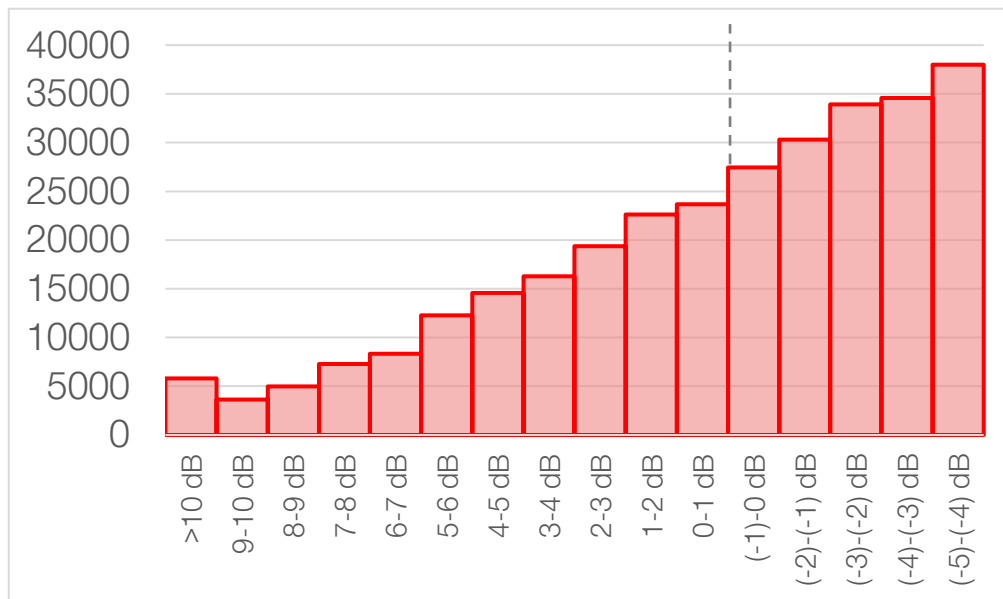


Abbildung 7: Anzahl Lärmbetroffene pro dB-Klasse entlang des Normalspurnetzes unter Annahme eines verschärften Lärmrechts mit Grenzwerten der ES II auch für die ES III Gebiete und einem Verzicht auf die K1 Pegelkorrektur. Lesebeispiel: Im Bereich knapp unter dem IGW (bis -1 dB unterhalb des Grenzwertes) befinden sich ca. 27'500 Anwohnende. Die Klasse mit >10 dB Überschreitungen beinhaltet ca. 6'000 Anwohnende.

Fazit: Würde das Lärmrecht so verschärft, dass auch Wohn- und Mischzonen mit einer Empfindlichkeitsstufe 3 gemäss Grenzwerten der ES 2 beurteilt werden (Empfehlung EKLB), ist damit zu rechnen, dass im Horizont Ausbausritt 2035 ca. 24'000 Anwohnende über den Immissionsgrenzwerten belastet sind. Würde zusätzlich auch auf die aktuelle Pegelkorrektur K1 verzichtet, wären voraussichtlich ca. 140'000 Anwohnende über IGW belastet. Dies entspricht einer Verzehnfachung der aktuellen Restlärmbelastung und sogar einer 12-fach höheren Lärmmasse. Es würde dazu führen, dass der aktuelle Schutzgrad von über 90% auf nur noch ca. 30% sinkt. Gleichzeitig würden die Anzahl stark (>10 dB über IGW, teilweise über Alarmwert) Betroffenen von ca. 250 auf ca. 6'000 ansteigen, womit sich 24-mal mehr Personen 10 dB über dem IGW befinden würden. Eine übermässige Lärmbelastung durch den Eisenbahnverkehr würde damit zum flächendeckenden Normalfall und keine lokale Ausnahme mehr bleiben.

3.3.3. Einfluss Rad- und Schienenrauheit (E1-E3 und E9)

In aktuellen Emissionsmodellen wie Cnossos und sonRAIL fließt die Gesamtrauheit als relevanter schwingungsanregender Parameter ein. Deshalb führt eine Reduktion der Rauheit im Modell zu einer Lärmreduktion. Dabei kann sowohl die Schiene als auch das Rad rauer und glatter sein. Die Modellanalysen zeigen, dass mit glatten Schienen im Unterschied zu durchschnittlich rauen Schienen bis zu 3.3 dB tiefere Emissionen resultieren. Im Mittel ist die Reduktion jedoch nur ca. 1.5 dB. Würde die Radrauheit bei den Güterwagen durch andere Bremssysteme reduziert, werden im Modell Reduktion von bis zu 2.3 dB und im Mittel ca. 0.5 dB berechnet. Eine Kombination von glatten Schienen und Rädern führt schliesslich zu einer Reduktion von bis zu 4.4 dB und im Mittel zu ca. 2 dB.

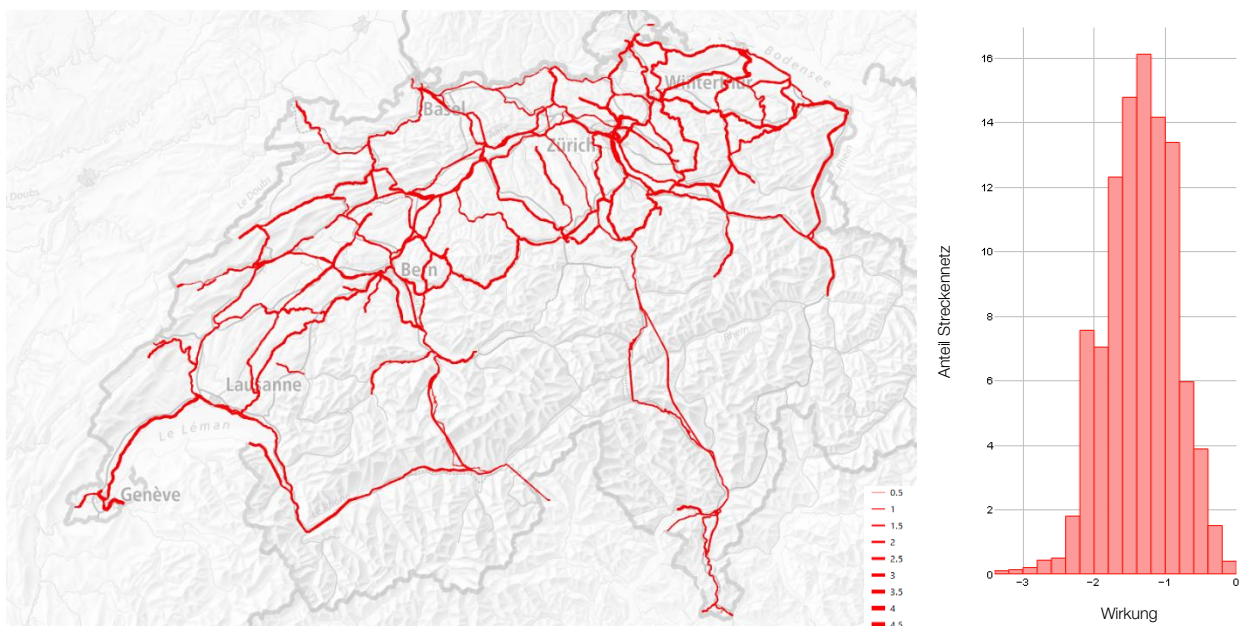


Abbildung 8: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für unterschiedlich gepflegte Schienenoberflächen (E1). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für mittelraue (average) und glatte (smooth) Schienen mit Hilfe von sonRAIL. Die Reduktionen betragen bis zu 3.3 dB sind im Mittel aber bei ca. 1.5 dB.

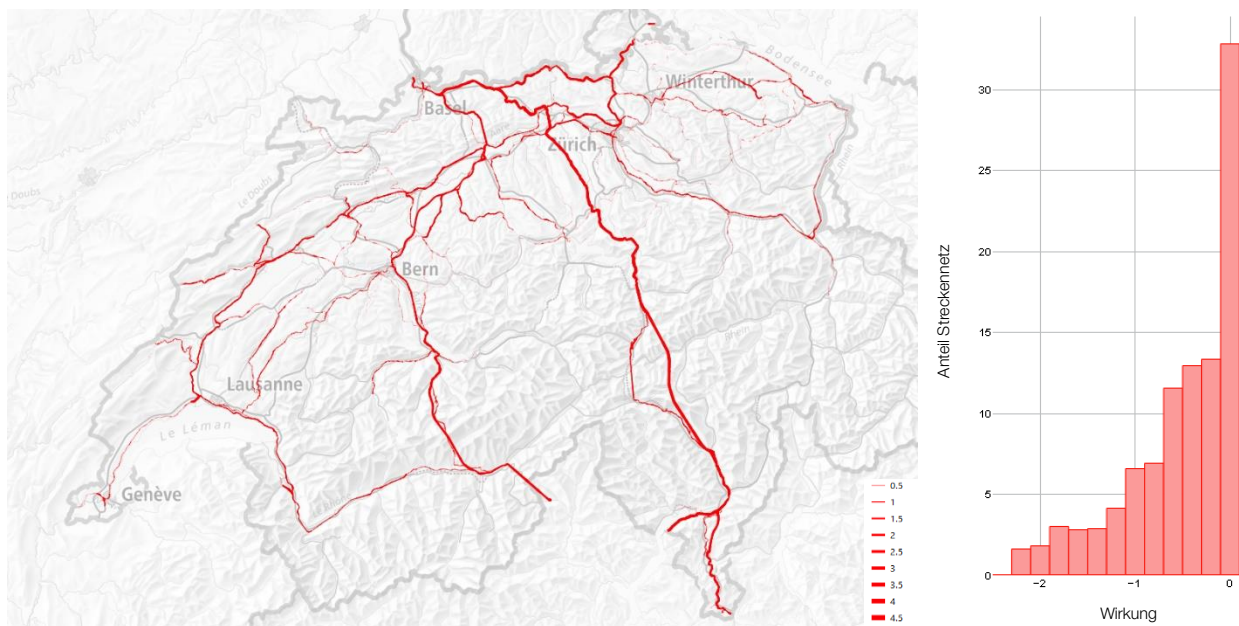


Abbildung 9: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für einen Komplettersatz von Klotzbremsen mit Scheibenbremsen bei Güterwagen (E2). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für K-Sohlen (mittelraue Radflächen) und Disc-Bremsen (glatte Radflächen) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Reduktionen betragen bis zu 2.3 dB sind im Mittel aber kleiner als 0.5 dB.

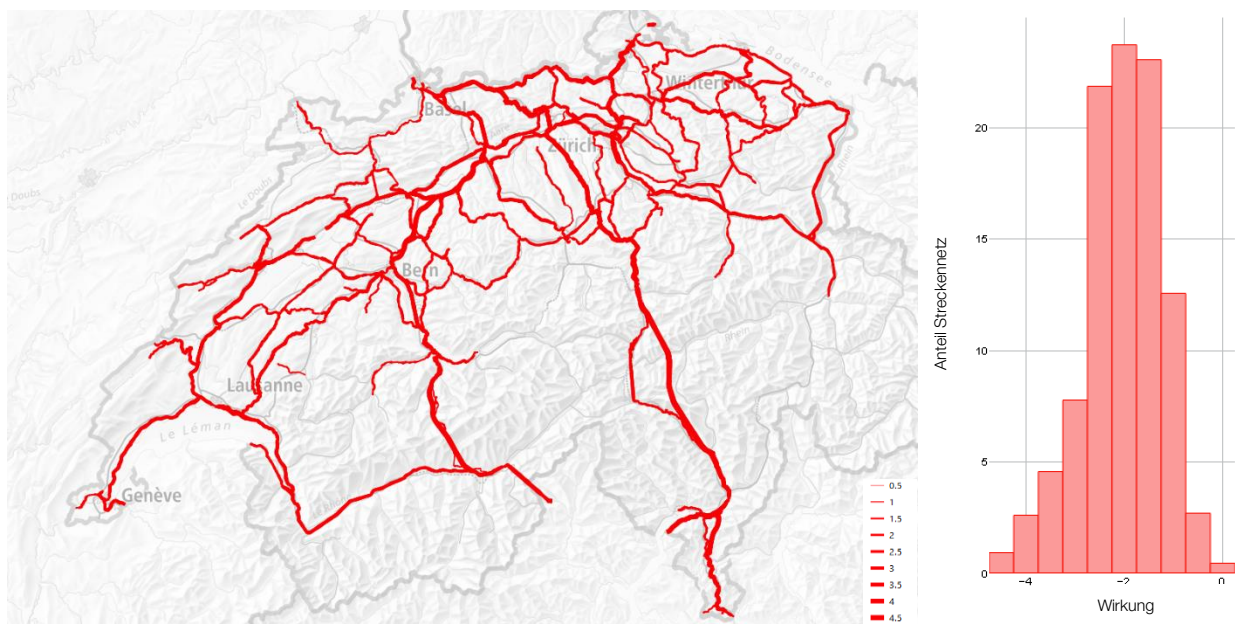


Abbildung 10: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für einen Komplettersatz von Klotzbremsen mit Scheibenbremsen bei Güterwagen (E3). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für K-Sohlen (mittelraue Radflächen) und Disc-Bremsen (glatte Radflächen) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer glatten Schiene (smooth). Die Reduktionen betragen bis zu 4.4 dB sind im Mittel aber bei ca. 2 dB.

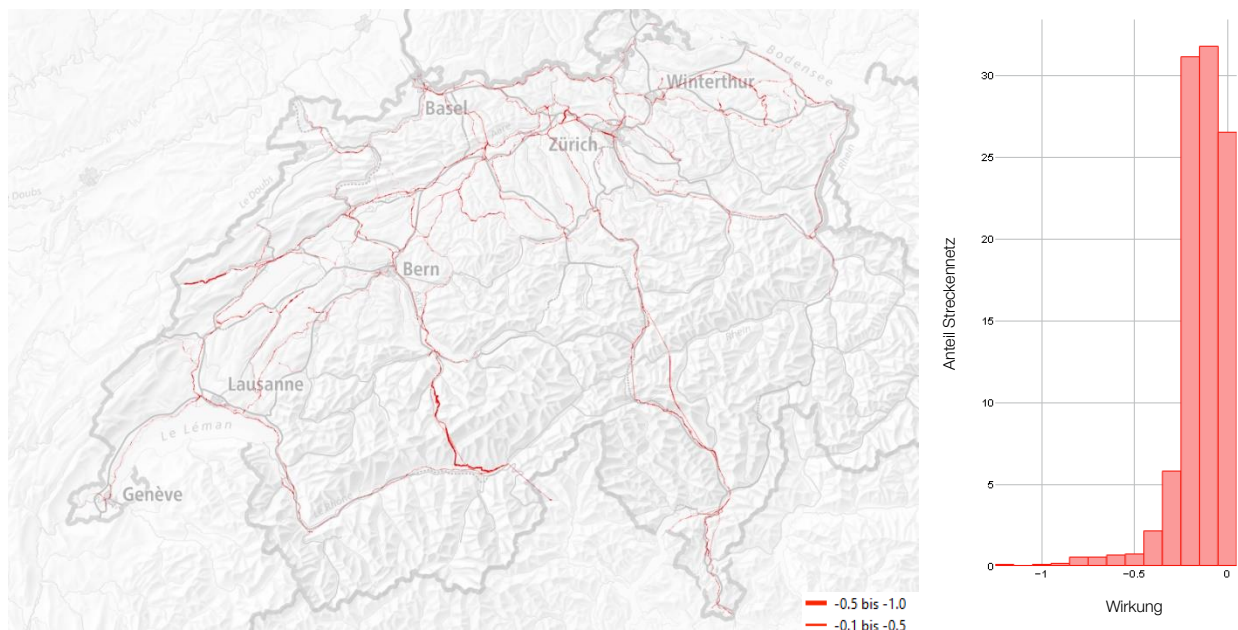


Abbildung 11: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum für die Annahme ausschliesslich leise Güterzug-Lokomotiven mit einer Radrauheit der Re460 (E9). Ermittelt aus einer Differenzrechnung der Emissionsparameter für laute Loks (Fahrzeug id_02) und leise Loks (Fahrzeug id_01) mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittlrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind nie grösser als 1dB und in den meisten Fällen kleiner 0.5 dB.

Auf dem SBB-Schienennetz wird aktuell eine präventive Schienenpflege vorgenommen, welche gemäss aus Stichprobenmessungen entwickelten, statistischen Modellen⁷ zu einer Schienenrauheit unterhalb der Rauheit sonRAIL-average und damit eher in den Bereich von sonRAIL-smooth führt. Dadurch wirkt sich eine Reduktion der Radrauheit real deutlich stärker aus als mit der Modellannahme sonRAIL-average.

Sobald die Radrauheit im Schnitt reduziert werden kann, sollte die aktuell gute Schienenpflege unbedingt weitergeführt werden. Denn ideal ist eine Kombination von guter Schienenpflege und glatten Rädern.

Die Disc-Bremsen zeichnen sich im sonRAIL-Modell durch ein glatteres Rad aus. Dies kann auch anders erreicht werden. Beispielsweise könnten vermutlich durch eine härtere Radlegierung und einen gezielt erhöhten Unterhalt ähnliche Wirkungen erreicht werden.

Leisere Güterzuglokomotiven zeichnen sich im sonRAIL-Modell durch eine akustisch bessere Radlauffläche aus. In der Gesamtemissionsbetrachtung des Verkehrsmix machen diese jedoch keine relevante Wirkung aus⁸. Die reine Betrachtung des durchschnittlichen Lärmbeurteilungspegels vermag aber der Störwirkung durch Maximalpegel nicht Rechnung zu tragen. Die Lokomotiven sind nach Untersuchungen in ca. 1/3 der Fälle bei Güterzügen für den Maximalpegel verantwortlich sind. Wenn Flachstellen bei Güterwagen wegfallen, wird die Lokomotive vermutlich noch in deutlich mehr Fällen den Maximalpegel verursachen. Leisere

⁷ Rauheit des SBB-Schienennetzes, Schlussbericht nach der dritten Iteration, Berner Fachhochschule – Technik und Informatik – Institut für Optimierung und Datenanalyse, Biel, Dezember 2022

⁸ Vgl. hierzu auch die Untersuchung von Empa und TUB im Auftrag des BAFU, welche zeigt, dass nur in 5.5% der Fälle die Lokomotive bei einem Güterzug die dominante Quelle ist. «Literaturstudie und Datenanalyse zum Lärm von Güterzuglokomotiven», 29.03.2023

Güterzug-Lokomotiven können deshalb vermutlich einen wahrnehmbaren Beitrag zu einer reduzierten nächtlichen Störung des Schlafs liefern. Die Minimierung von Maximalpegeln sind lärmrechtlich jedoch nicht vorgesehen.

Fazit: Eine weitere Verbesserung der Schienenrauheit macht nur dann Sinn, wenn auch die Radrauheiten deutlich reduziert werden. Mit der aktuellen präventiven Schienenpflege auf dem SBB-Streckennetz ist der Hebel bei der Qualität der Radlauffläche anzusetzen.

Für die Reduktion von Aufweckreaktionen beim Schlaf der Anwohnenden sind Massnahmen zur Lärmreduktion bei Güterlokomotiven prüfenswert. Für die Reduktion der Gesamtbelastung ist der Einfluss jedoch gering.

3.3.4. Einfluss von Radschalldämpfern (E4-E6)

Das Schwingungsverhalten der Radscheiben kann teilweise durch die Montage von Dämpferelementen verbessert werden. Für das Emissionsmodell Cnossos wurden Fahrzeugtransferfunktionen für Räder mit Radschalldämpfern ermittelt. Diese spektralen Dämpfungsterme wurden in sonRAIL übertragen. Es wurde dabei berücksichtigt, dass nicht alle Reisezüge mit RSD ausgerüstet werden können. Viele moderne Triebzüge weisen wegen Platzmangel in den Drehgestellen zwischen den Rädern (Antrieb, Niederflur) keine klassischen Scheibenbremsen, sondern Radscheibenbremsen auf. D.h. die Bremsscheiben befinden sich auf dem Radkörper. Ein Radschallabsorber ist nicht mehr möglich und wäre vermutlich auch nicht mehr effektiv.

Für Güterwagen ist es zwingend, dass hitzebeständige RSD verwendet würden, da beim Bremsvorgang hohe Temperaturen erreicht werden können.

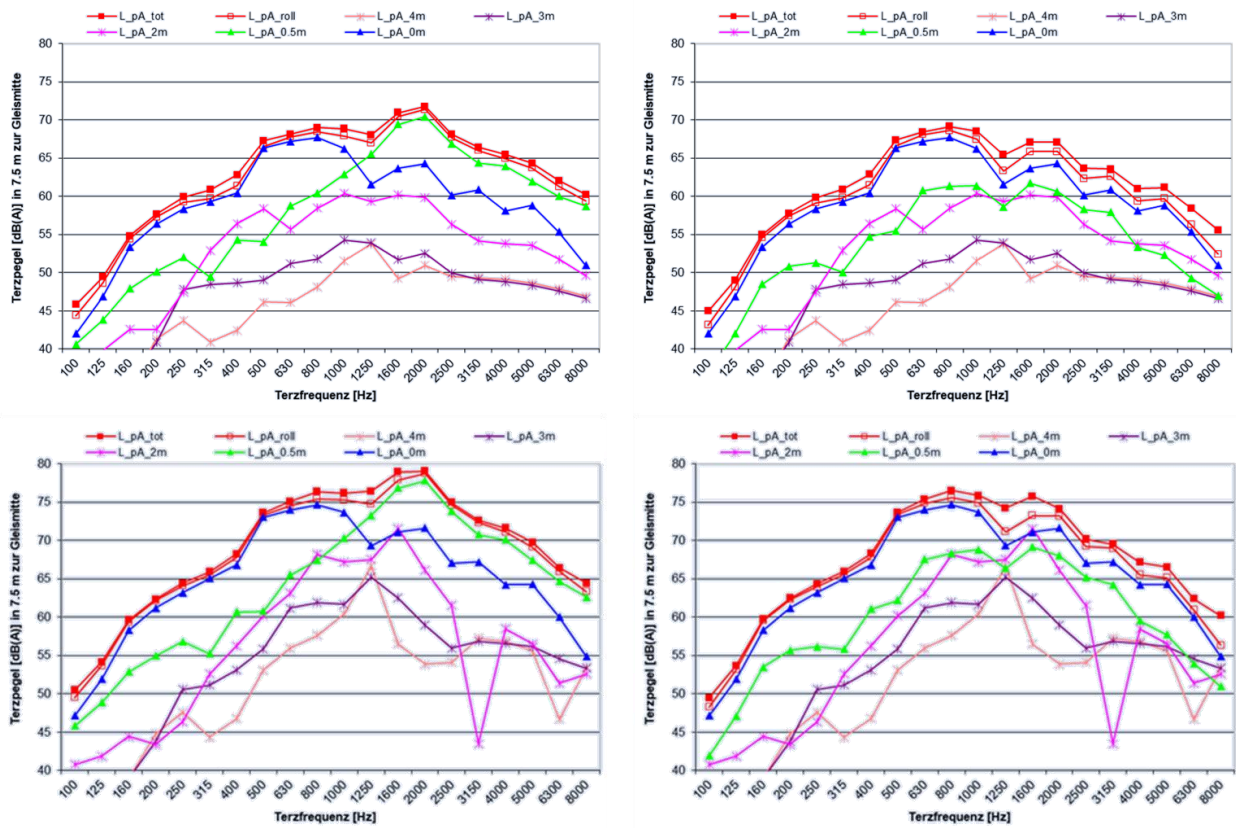


Abbildung 12: Terzspektrum der Schalldruckpegel in 7.5 m Abstand vom Gleis für Reisezugwagen ohne Radschall-dämpfer (oben links) und mit RSD (oben rechts), sowie für Güterwagen ohne RSD (unten links) und mit RSD (unten rechts). Die höheren Frequenzen (1.5 – 2 kHz) werden durch die RSD um ca. 5 dB im Gesamtlärm gesenkt (rote Kurve). Der isolierte Radlärm (grün) nimmt in diesem Frequenzbereich um fast 10 dB ab.

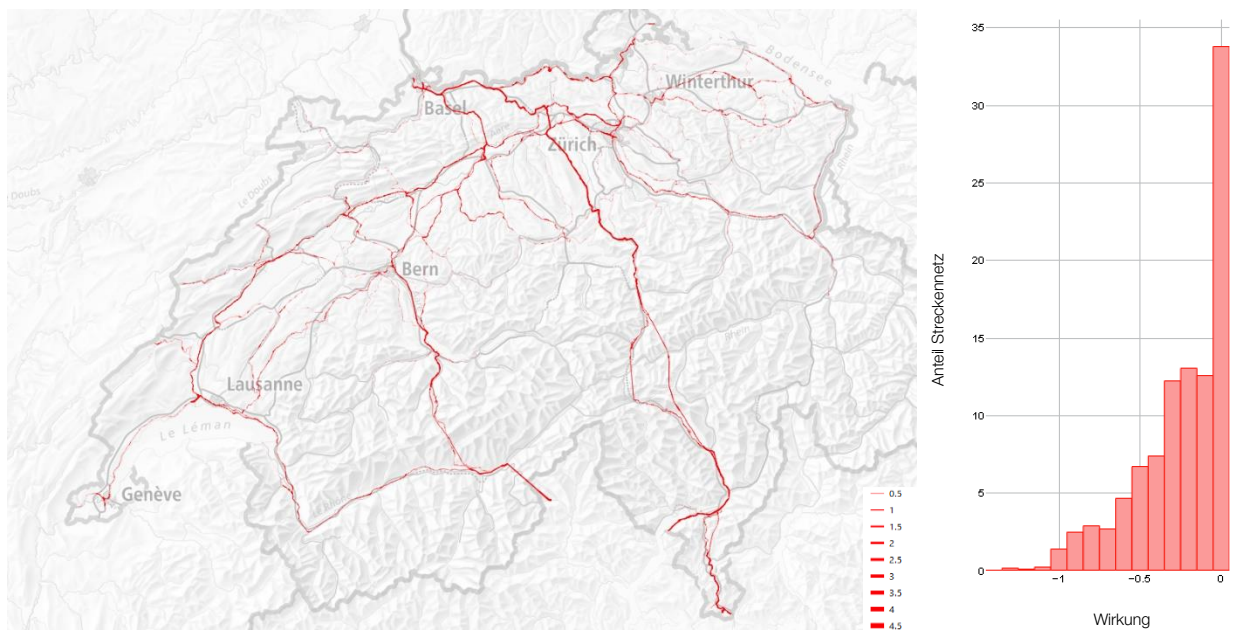


Abbildung 13: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen mit (hitzebeständigen) Radschallabsorbern ausgerüstet sind (E4). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind kaum grösser als 1dB und in den meisten Fällen kleiner 0.2 dB.

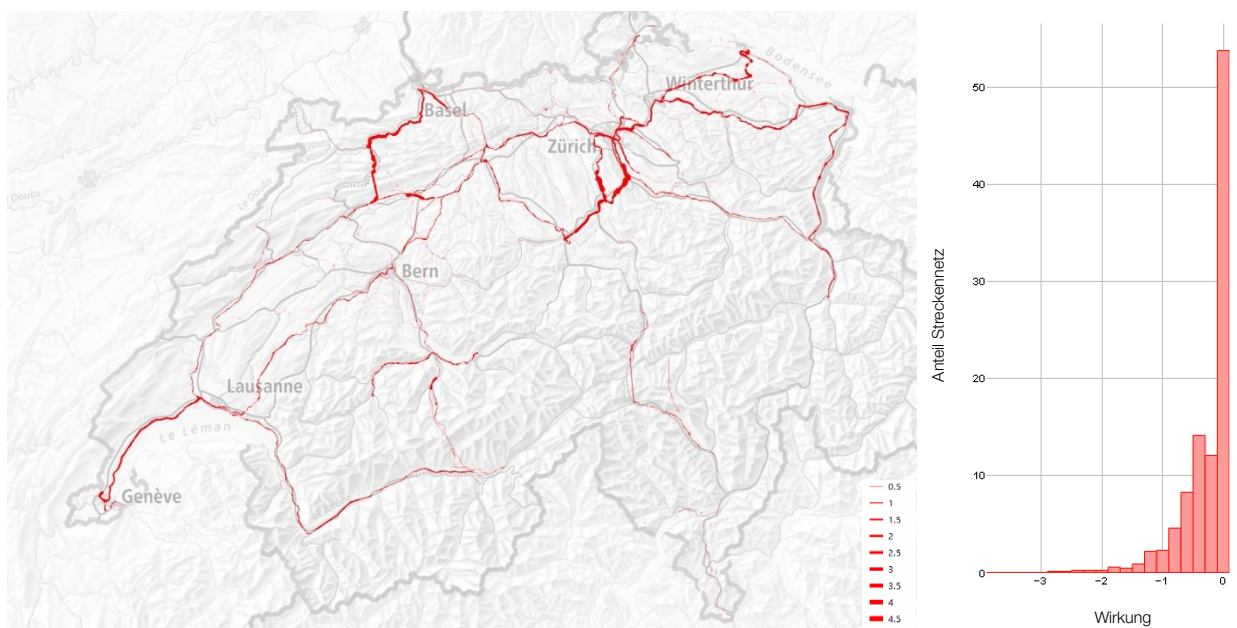


Abbildung 14: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbern ausgerüstet sind (E5). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind selten grösser als 1.5dB und in den meisten Fällen kleiner 0.2 dB. Die Reduktionen sind dort gross, wo der Personenverkehr im Vergleich zum Güterverkehr dominierend ist.

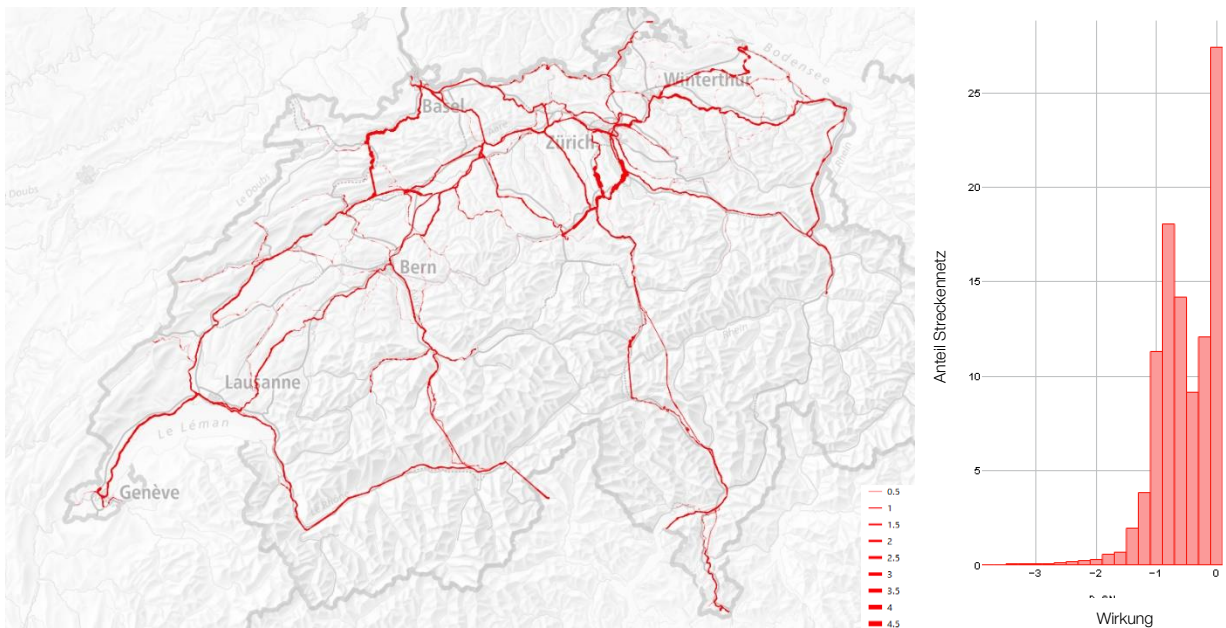


Abbildung 15: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbern ausgerüstet sind (E6). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer mittelrauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind selten grösser als 1.5 dB und in den meisten Fällen kleiner 1.0 dB. Durch die Kombination von Szenario E4 und E5 wird die Lärmreduktion auf vielen Streckenabschnitten wahrnehmbar.

Die unter diesen Annahmen berechneten Emissionen zeigen, dass RSD bei Güterwagen auf den meisten Streckenabschnitten zu Reduktionen kleiner 0.5 dB bis maximal 1 dB führen. Würden nur RSD bei Reisezugwagen vorgesehen sind Lärmreduktionen meistens auch nur im Bereich 0.5 dB zu erwarten, auf durch Personenzüge dominierten Strecken sind bis 1.5 dB realisierbar. Eine Ausrüstung von Güter- und Reisezugwagen mit RSD führt zu Reduktionen bis zu 2dB und in ca. 50% der Streckenabschnitte zu Reduktionen im Bereich von 1 dB.

Fazit: Erst durch eine möglichst vollständige Ausrüstung aller Wagen mit Radschalldämpfern (RSD) kann von einer netzweit wahrnehmbaren Lärmreduktionen ausgegangen werden. Zusätzlich führen RSD vermutlich zu einer wahrnehmbaren Reduktion der tonalen Komponenten im Bereich von 2 kHz. Dies könnte sich positiv auf die Störwirkung von Eisenbahnlärm auswirken.

3.3.5. Kombinationen von Rauheitsreduktionen und Radschalldämpfern (E7-E8)

Die Massnahmenszenarien zur Reduktion der Schienen- und Radrauheit lassen sich mit dem Einsatz von Radschalldämpfern kombinieren. Es wird erwartet, dass dadurch eine deutliche Lärmreduktion erreichbar ist.

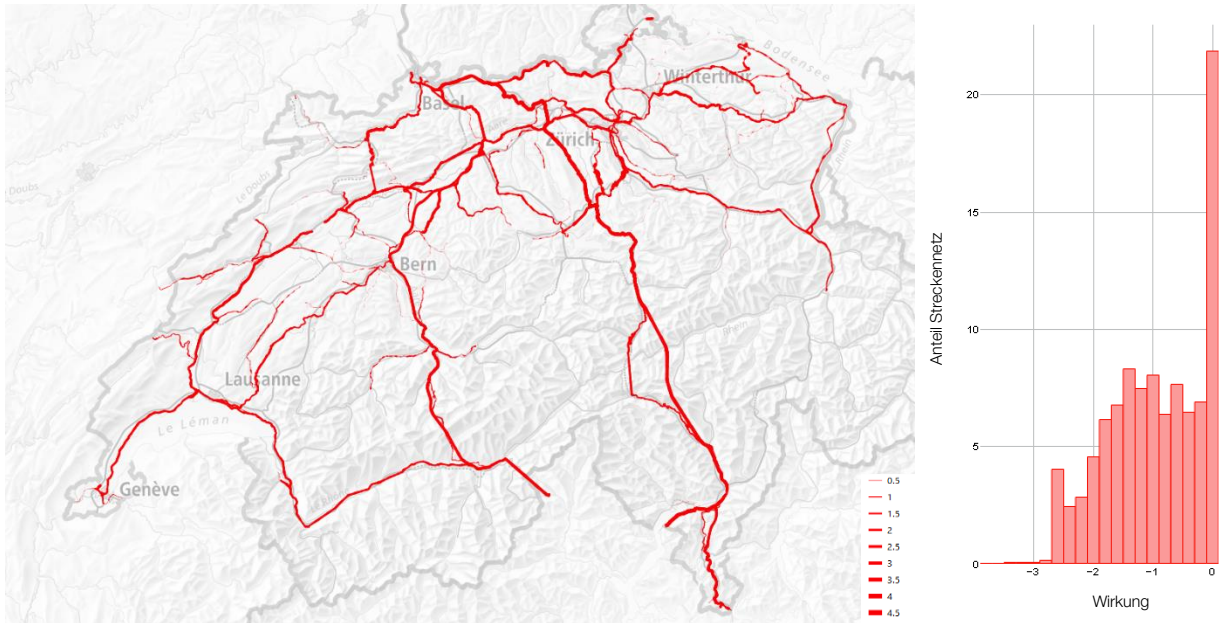


Abbildung 16: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbern ausgerüstet sind und alle Güterwagen eine geringe Radrauheit aufweisen. Dies kann z.B. mit Scheibenbremsen erreicht werden (E7). sonRAIL Berechnung unter Annahme einer mittlerauen Schiene (average). Die Emissionsabnahmen sind auf ca. 50% der Streckenabschnitte grösser als 1.0 dB und auf ca. 12% der Strecken grösser als 2 dB.

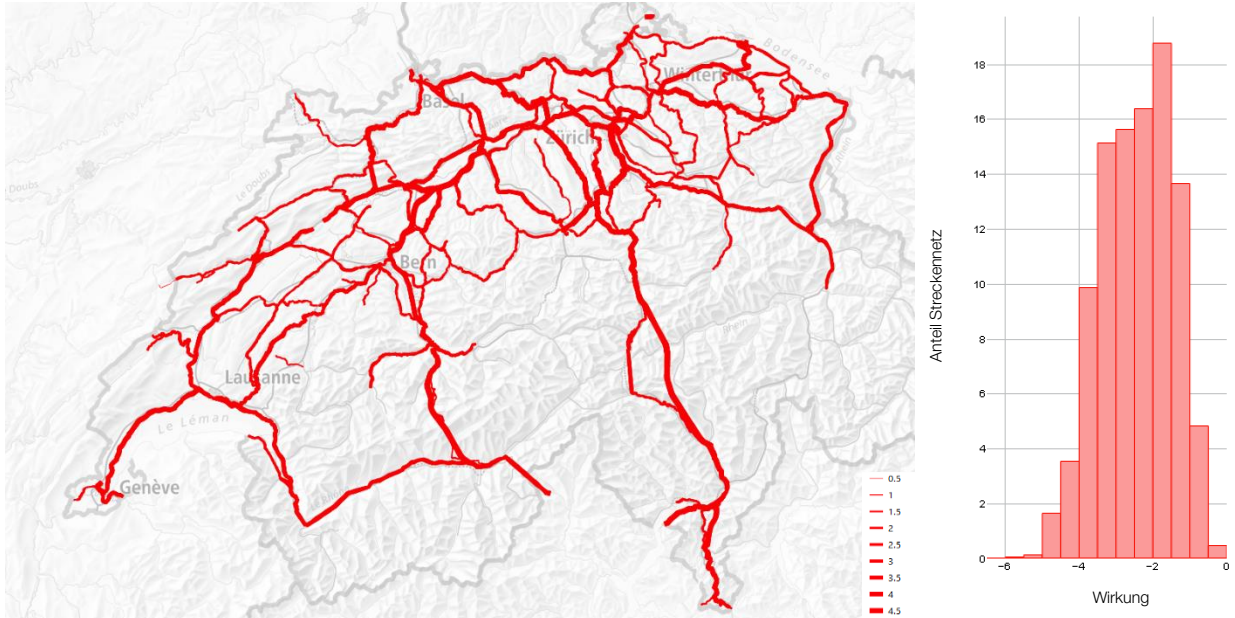


Abbildung 17: Emissionsdifferenzen im Nachtzeitraum unter der Annahme, dass alle Güterwagen und Personenzüge (ohne Radscheibenbremsen) mit Radschallabsorbern ausgerüstet sind und alle Güterwagen eine geringe Radrauheit aufweisen. Dies kann z.B. mit Scheibenbremsen erreicht werden. Zusätzlich ist die Schienenrauheit stark reduziert (E8). Ermittelt mit Hilfe von sonRAIL unter Annahme einer glatten Schiene (smooth). Die Emissionsabnahmen sind auf ca. 85% der Streckenabschnitte grösser als 1.0 dB und auf ca. 40% der Strecken grösser als 3.0 dB.

Resultat: Durch die Kombination der emissionsseitigen Massnahmen der Radschalldämpfung, sowie der Rauheitsminimierung bei den Güterwagen und den Schienenoberflächen kann auf vielen Streckenabschnitten eine Lärmreduktion von 2-4 dB erreicht werden. Dies dürfte als deutliche Lärmreduktion durch die Anwohnenden wahrnehmbar sein.

3.3.6. Betroffenheitsanalyse für Flachstellen bei Güterwagen (E10)

Berechnungen mit dem WebTool von sonRAIL unter der Annahme einer mittleren Schienenrauheit (average) zeigen, dass ein Güterwagen mit K-Sohlen (lärmsaniert) und einer Flachstelle bei 80km/h ca. 4.5 dB lauter ist als ohne Flachstelle. Bei 120km/h ist der Wagen ca. 5dB lauter. Unter der Annahme, dass jeder zehnte Güterwagen eine Flachstelle aufweist, erhöht sich der Gesamtlärm des Güterverkehrs um 0.9 dB. D.h. die Flachstellenverhinderung kann maximal einen Beitrag von ca. 1 dB im LAeq liefern. Jedoch ist die Störwirkung einer Flachstelle deutlich grösser aufgrund der Impulshaltigkeit, welche im Jahresmittelwert (LAeq) nicht sachgerecht abgebildet wird. Weitere Analysen zeigen, dass bei einer tiefen Schienenrauheit (smooth) der Effekt ca. 0.5 dB grösser ist.

Aus der netzweiten Immissionsberechnung für den Horizont AS2035 können die Anzahl Anwohnenden ermittelt werden, bei welchen die Immissionswerte 0-1 dB unter dem IGW liegen. Es sind ca. 5'000 Personen, welche durch den Einfluss von Flachstellen zusätzlich über dem IGW belastet werden könnten. Die zusätzliche Störwirkung durch das impulshaltige Schlagen der Flachstellen führt aber bei allen Anwohnenden entlang der Strecken mit Güterverkehr insbesondere nachts zu unerwünschten Belästigungen. Entlang der Bahnstrecken mit nächtlichem Güterverkehr (mehr als 2 Güterzüge pro Nacht) schlafen ca. 46'000 Personen, welche durch Immissionen bis 5 dB unterhalb des IGW belastet sind. Dies dürfte ein sinnvolles Mass für die Betroffenheit von Flachstellen sein.

Fazit: Durch das Verhindern von Flachstellen bei Güterwagen würden ca. 46'000 Anwohnende einen direkten Nutzen erfahren. Bei ca. 5'000 Personen könnten zusätzliche Immissionsgrenzwertüberschreitungen verhindert werden. Insbesondere im Kontext der nächtlichen Aufweckreaktionen dürfte dies eine sinnvolle Optimierungsmassnahme darstellen.

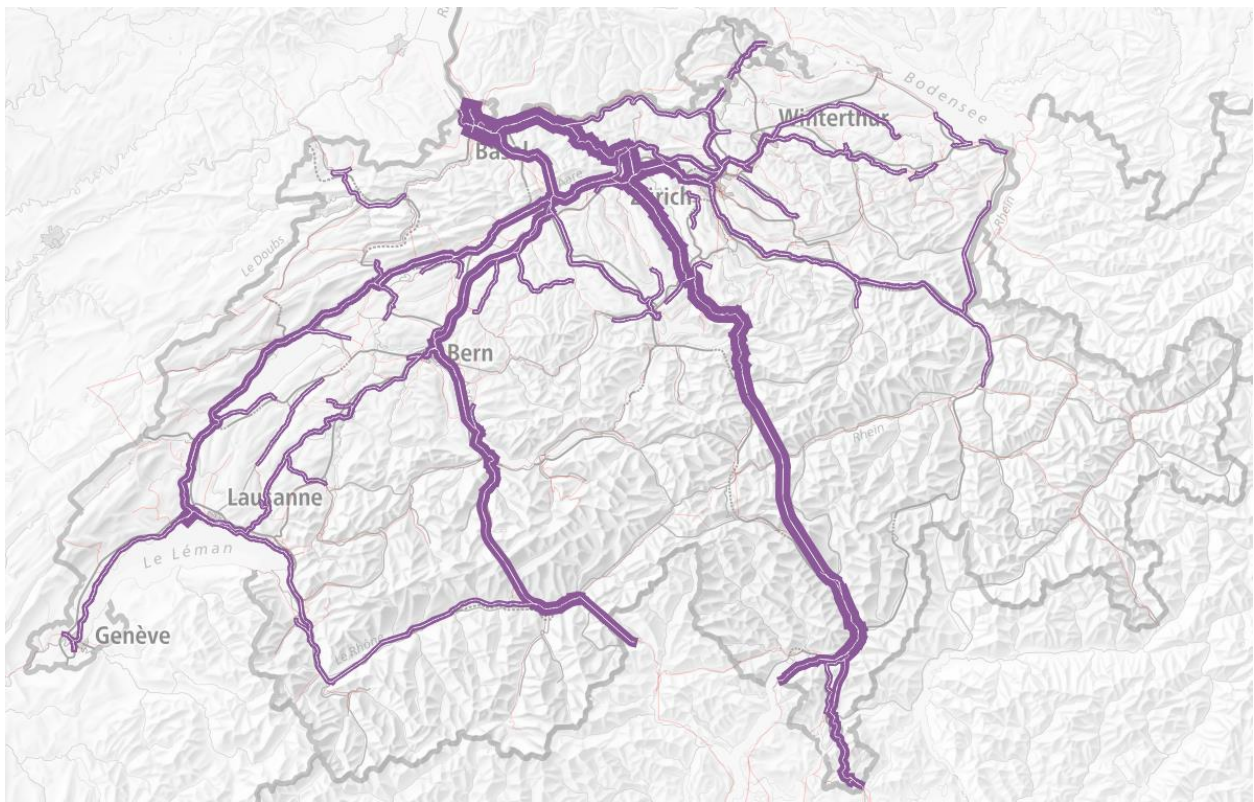


Abbildung 18: Streckennetz mit mehr als zwei Güterzügen pro Nachtzeitraum (22-06 Uhr) im Jahresmittel (Horizont AS2035). Entlang dieser Strecken wohnen ca. 46'000 Personen in einem Belastungsbereich grösser IGW -5 dB.

3.3.7. Wirkungsabschätzung hochdämpfende Zwischenlagen (E11 und I2)

Die bisherigen Untersuchungen zur akustischen Wirkung von hochdämpfenden Zwischenlagen zeigen, dass eine Lärmabnahme von ca. 2 dB realisierbar ist. Eine differenziertere Berechnung der verkehrabhängigen Wirkung wird erst möglich sein, wenn die Transferfunktion eines entsprechenden Oberbautyps ermittelt und im Emissionsmodell integriert worden ist⁹. Im Referenzszenario AS2035 sind ca. 6'000 Personen zwischen 0-2 dB über IGW belastet. D.h. mit hochdämpfenden Zwischenlagen könnten möglicherweise mehr als 40% der noch bestehenden Gesamtbelastung (14'000 Personen >IGW) geschützt werden. Auch bei den restlichen 8'000 Personen und bei allen anderen Anwohnern erfolgt eine wahrnehmbare Lärmreduktion.

Würden alle Wohnnutzungen unter Annahme einer Empfindlichkeitsstufe II (Empfehlung EKLB) beurteilt, wäre die Gesamtbelastung 24'000 Personen und im Bereich 0-2 dB über IGW könnten ca. 11'000 Personen mit hochdämpfenden Zwischenlagen geschützt werden.

⁹ Beim Fahrlabor in Sempach wurden hochdämpfende Zwischenlagen für eine detaillierte akustische Analyse und im Sinne einer Betriebserprobung im Mai 2023 eingebaut. Auf Grundlage dieser Messdaten sollten Transferfunktionen zukünftig ermittelbar sein.

Fazit: Mit dem netzweiten Einsatz von hochdämpfenden Zwischenlagen können voraussichtlich 40% der über dem Immissionsgrenzwert belasteten Anwohnenden geschützt werden. Auch bei allen übrigen Anwohnenden erfolgt eine wahrnehmbare Lärmreduktion.

3.3.8. Wirkungsabschätzung aktuell technisch möglicher Massnahmen an der Quelle (I3)

Zumindest theoretisch ist es denkbar, sowohl eine glatte Schiene als auch wenig raue Güterwagenräder (Scheibenbremsen) vorauszusetzen. Diese Massnahme liesse sich mit Radschalldämpfern und hochdämpfenden Schienenzwischenlagen kombinieren. Die Umsetzung dieser aktuell zur Verfügung stehenden Massnahmen an der Quelle wäre jedoch sehr anspruchsvoll. Das Szenario zeigt damit auf, welche Lärmreduktion ohne weitere Entwicklungserfolge im Sinne eines Best-Case möglich ist. Nicht enthalten sind Massnahmen eines erhöhten Radunterhalts, welcher neben dem Bremssystem zu einer glatteren Radoberfläche führen würde. Ebenfalls sind zusätzliche Massnahmen auf dem Ausbreitungsweg (z.B. Lärmschutzwände) nicht berücksichtigt.

Eine netzweite Immissionsberechnung zeigt, dass unter diesen Annahmen noch ca. 3'500 Personen >IGW betroffen bleiben. 2'000 davon würden nur noch leichte IGW-Überschreitungen von <2dB aufweisen.

Fazit: Mit der netzweiten Umsetzung der aktuell technisch möglichen Massnahmen an der Quelle könnten voraussichtlich 75% der über dem Immissionsgrenzwert (aktuell geltendes Lärmrecht ohne Verschärfungen) belasteten Anwohnenden geschützt werden. Auch bei allen übrigen Anwohnenden würde eine deutlich wahrnehmbare Lärmreduktion erfolgen.

3.3.9. Schutzpotential von zusätzlichen Lärmschutzwänden

Überall dort, wo bisher keine Lärmschutzwände (LSW) gebaut wurden aber Grenzwertüberschreitungen im AS2035 vorliegen, wurde die Wirkung von Standardlärmschutzwänden mit 2.0 m Höhe berechnet. Das Szenario umfasst zusätzliche Lärmschutzwände von 37 km. Die summierten Standardkosten betragen ca. 125 Mio CHF. Mit diesen LSW-Ergänzungen könnten 3'100 Personen zusätzlich vor übermässigem Lärm geschützt werden.

Wird der Richtwert von 3'000.- (teuerungsbereinigt 3'400.-) pro geschützte Person und Dezibel aus der VLE angewendet, reduziert sich das Mengengerüst stark auf 2 km LSW und es können noch 1000 Personen geschützt werden.

Dieses Mengengerüst sollte nur als grobe Schätzung verstanden werden. Situative Besonderheiten sind oft der Grund, warum Lärmschutzwände nicht schon im Rahmen des BGLE erstellt worden sind. Die Analyse zeigt jedoch auf, dass mit den aktuellen lärmrechtlichen Vorgaben kaum mehr sinnvolle und effektive Lärmschutzwände erstellt werden können.

Die Abbildung 19 zeigt die Standorte grundsätzlich wirtschaftlicher zusätzlicher LSW. Bei dieser Analyse wurde nicht geprüft, ob die LSW bautechnisch oder aus Gründen des Ortsbildes tatsächlich realisierbar wären.

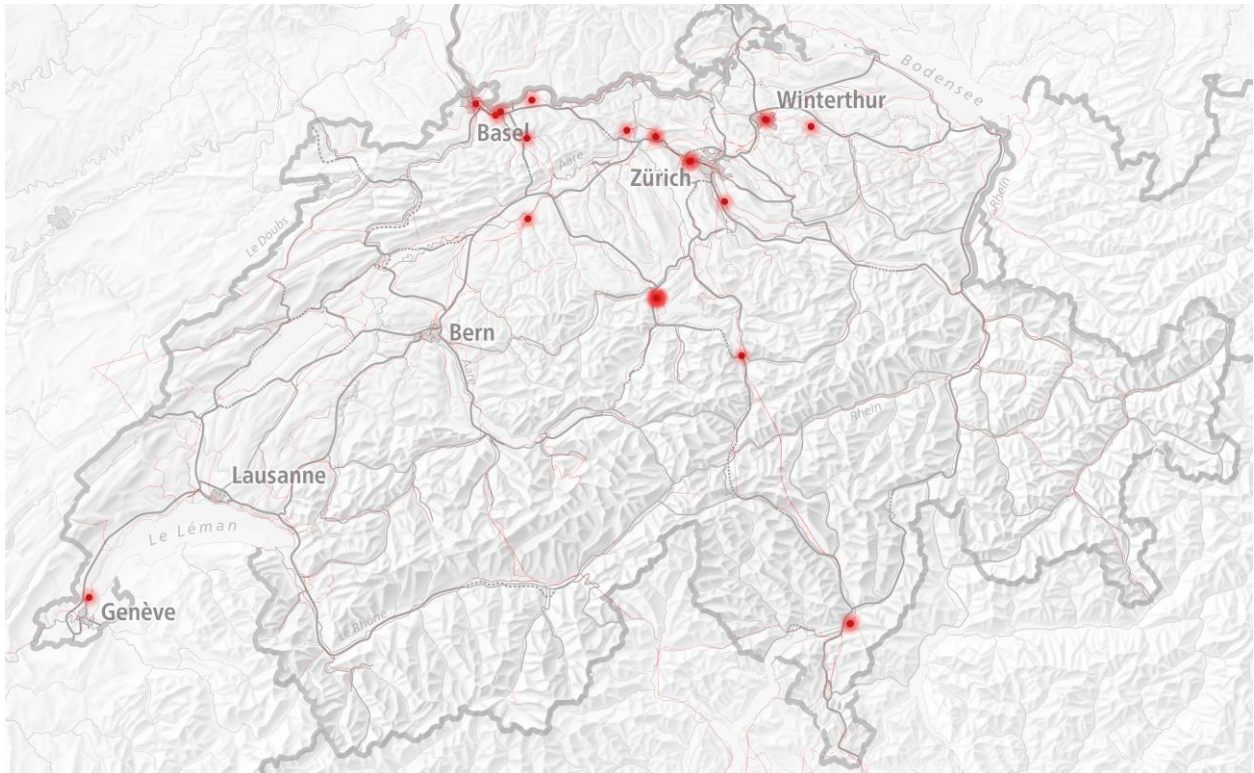


Abbildung 19: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Die Gesamtlänge beträgt ca. 2 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 1'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.

Würden die Grenzwerte dahingehend verschärft, dass auch in Wohn- und Mischzonen der Empfindlichkeitsstufe III die Grenzwerte der Stufe II gelten, wären zusätzliche Streckenabschnitte mit Grenzwertüberschreitungen betroffen. Das Mengengerüst zusätzlicher LSW würde sich dann auf 200 km erhöhen und es könnten ca. 13'500 Personen zusätzlich geschützt werden. Würden nur die Wände realisiert, wo die Wirtschaftlichkeit gemäss VLE gegeben ist, reduziert sich das Mengengerüst auf 9 km LSW. Und es könnten nur noch ca. 4 Personen zusätzlich geschützt werden. Die Abbildung 20 zeigt die Standorte möglicher zusätzlicher LSW unter diesem Szenario.

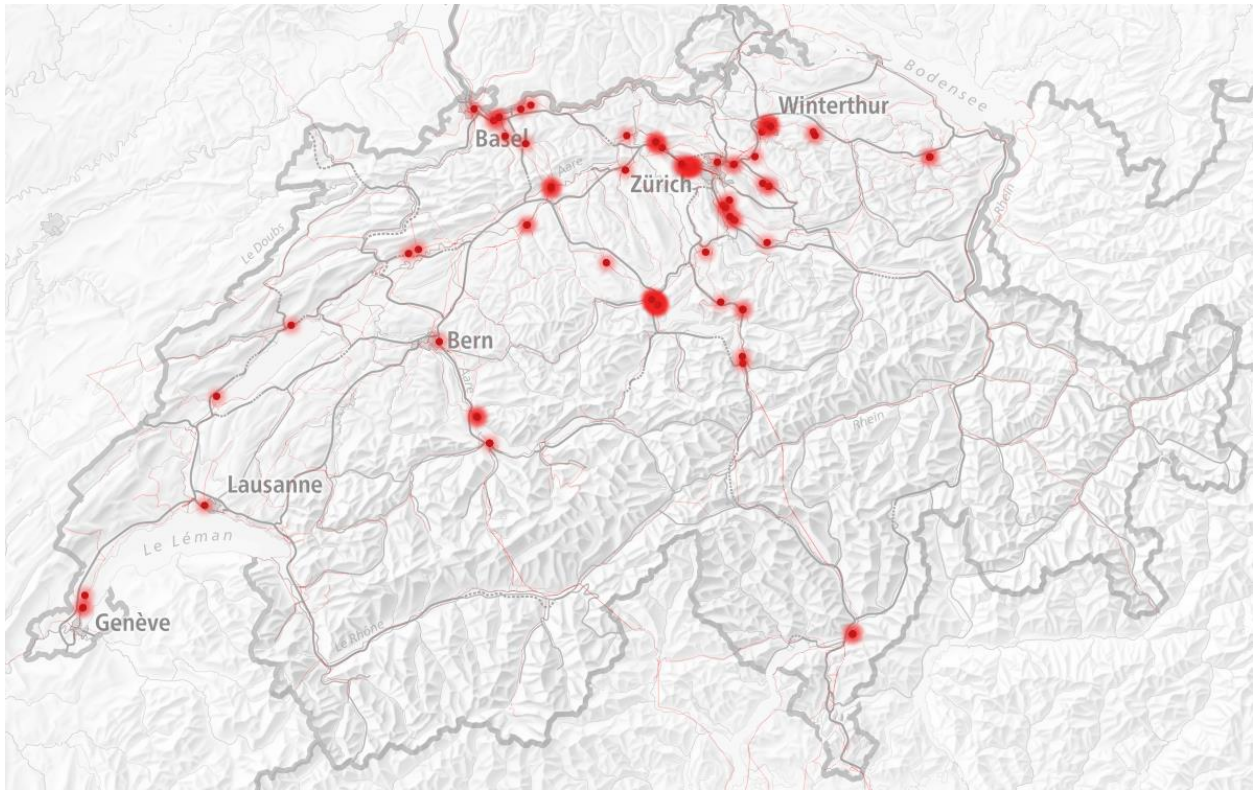


Abbildung 20: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Unter der Bedingung, dass auch Wohnzonen der Empfindlichkeitsstufe 3 nach den Grenzwerten der ES2 beurteilt werden. Die Gesamtlänge beträgt ca. 9 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 4'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.

Eine zusätzliche generelle Verschärfung des Lärmrechts durch einen Verzicht auf die K1-Pegelkorrektur würde insbesondere nachts netzweit zu deutlichen Zunahmen der Lärmbeurteilungspegel und damit zu vielen zusätzlichen Grenzwertüberschreitungen führen (vgl. Kapitel 3.3.2). Würde einer solchen Verschärfung mit dem zusätzlichen Bau von Lärmschutzwänden begegnet, müssten ca. 660 km zusätzliche LSW erstellt werden. Damit könnte die auf 140'000 Personen gestiegene Gesamtbelastung (>IGW) um 50'000 Personen reduziert werden. Der Umfang dieses Massnahmenpakets würde die bisherige Lärmsanierung übertreffen und muss sicher auf Lärmschutzwände mit einer bestimmten Wirtschaftlichkeitsgrenze reduziert werden. Wird der Richtwert von 3'000.- (teuerungsbereinigt 3'400.-) pro geschützte Person und Dezibel aus der VLE angewendet, reduziert sich das Mengengerüst auf ca. 49 km LSW (vgl. Abbildung 21) und es können noch 20'000 Personen geschützt werden.

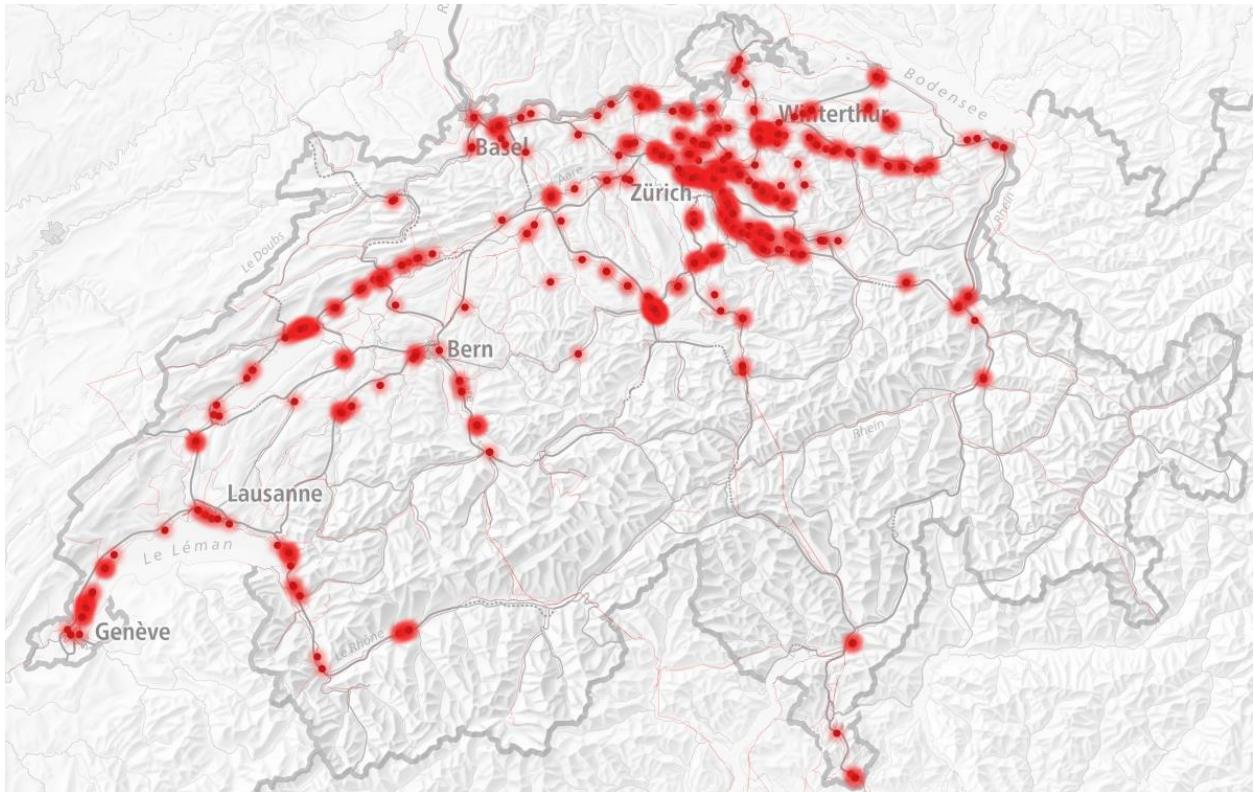


Abbildung 21: Standorte von zusätzlichen Lärmschutzwänden, welche die Wirtschaftlichkeitskriterien gemäss VLE erfüllen. Unter der Bedingung, dass einerseits Wohnzonen der Empfindlichkeitsstufe 3 nach den Grenzwerten der ES2 beurteilt werden und keine K1-Pegelkorrektur angewendet wird. Die Gesamtlänge beträgt ca. 49 km und es könnten dadurch voraussichtlich ca. 20'000 Anwohnende zusätzlich geschützt werden.

Fazit: Unter der aktuellen Lärmgesetzgebung und den Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit sind nur noch wenige Lärmschutzwände (LSW) realisierbar (ca. 2km), welche einen sinnvollen Lärmschutz bieten können. Sollte das Lärmrecht aber dahingehend verschärft werden, dass auch für Mischzonen und aufgestufte Wohnzonen die Grenzwerte der Empfindlichkeitsstufe II gelten, wären ca. 9 km LSW unter einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung möglich. Würde zusätzlich auf eine K1-Pegelkorrektur verzichtet erhöht sich das Mengengerüst wirtschaftlicher LSW auf 49 km.

3.3.10. Betroffenheitsanalyse bei Abstellanlagen (P3)

Die für den Nachtzeitraum aktuell potenziell betroffenen Anwohner wurden im Umkreis der 81 wichtigsten Abstellanlagen mit einer Gesamtanzahl von 862 Abstellgleisen ermittelt. Die Analyse wurde mit zwei unterschiedlichen Grundlagen vorgenommen.

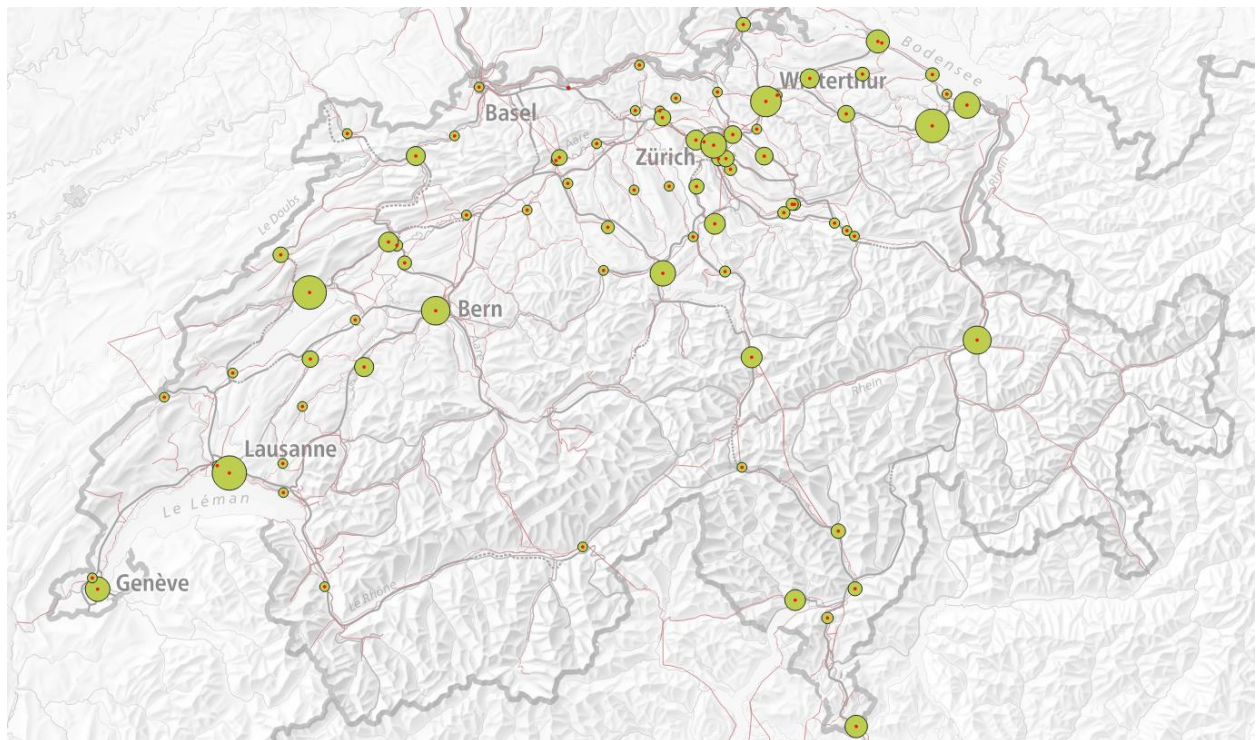


Abbildung 22: Untersuchte 81 Abstellorte mit gesamt 862 Abstellgleisen. Innerhalb eines Buffers von 75 m um die Abstellgleise befinden sich ca. 117'000 Anwohner. Innerhalb eines Buffers von 30 m sind es noch ca. 30'000 Anwohner. Je grösser die Punkte, desto mehr potenziell betroffene Anwohner.

Einerseits wurden die Basisdaten aus dem Grobbeurteilungstool der SBB zur Lärmanalyse von Abstellanlagen verwendet. Diese weisen für jedes Abstellgleis die nachts über Immissionsgrenzwert betroffenen Anwohner aus, unter der Annahme der gemäss Zonenplan gültigen Empfindlichkeitsstufe (II oder III) und einer 7h-Abstellung eines leisen, mittellauten und lauten Fahrzeugs.

Vor der Lärmoptimierung der Fahrzeugflotten mussten die meisten Fahrzeuge als eher laut eingestuft werden. Unter dieser Voraussetzung muss mit obiger Analyse davon ausgegangen werden, dass ca. 75'000 Anwohner potenziell von nächtlichen Lärmstörungen betroffen sein könnten.

Durch die durchgeführten Optimierungsmassnahmen können aktuell die meisten Fahrzeuge als mittellaut eingestuft werden. Unter dieser Voraussetzung sind mit obiger Analyse ca. 50'000 Anwohner potenziell von nächtlichen Lärmstörungen betroffen. Die Lärmbetroffenheit konnte damit um über 30% reduziert werden.

Würden in Zukunft nur noch leise Fahrzeuge sich in Abstellung befinden, reduziert sich die potenzielle Betroffenheit auf 8'500 Anwohner. Dies entspricht einer zusätzlichen Reduktion um mehr als 80%.

Da tatsächlich keine kleinere nächtliche Lärmbetroffenheit in einer ES III vorliegt und die Abstelldauer auch länger als 7h dauern kann, wurde zusätzlich mit Hilfe des nationalen Wohnungsregisters eine GIS-Analyse unter der Annahme einer Empfindlichkeitsstufe II und einer Konfliktdistanz von 75 m (entspricht einem mittellauten Zug – z.B. ICN – bei einer Nachtabstellung von 10h) für die erste Baureihe durchgeführt (dahinter liegende Baureihen werden i.d.R. abgeschirmt). Diese Worstcase-Analyse zeigt, dass schweizweit ca. 2'000 Wohngebäude von möglichen Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Da sich im Bereich der

Abstellanlagen häufig verdichtete Wohnsiedlungen befinden, summieren sich diese betroffenen Wohngebäude auf potenziell 39'000 lärmbeeinträchtigte Wohnungen mit insgesamt 117'000 Anwohnern.

Der Umfang der in ungünstigen Abstell-situationen in der Nachtruhe gestörten Anwohner ist unter diesem Szenario hoch.

Könnte die Konfliktdistanz mit Hilfe von Massnahmen am Fahrzeug auf eine maximale Länge von 30 m reduziert werden (entspricht einem aktuellen sehr leisen RV-Dosto Zug bei einer Nachtabstellung von 10h), würde sich die potenzielle Betroffenheit um ca. 75% reduzieren. Es wären dann noch ca. 350 Wohngebäude mit 10'000 Wohnungen und 30'000 Anwohnern in ungünstigen Situationen in der Nachtruhe gestört.

Fazit: Das Nutzenpotenzial im Bereich der Lärmreduktion abgestellter Züge ist bei beiden oben gerechneten Szenarien gross und die technischen Möglichkeiten (zumindest bei neuen Fahrzeugen) sind gegeben, um eine deutliche Verbesserung der Situation zu erreichen.

3.3.11. Betroffenheitsanalyse bei Rangierbahnhöfen (P2)

Aus den Plangenehmigungsverfahren für die Lärmsanierung im Bereich des RBL (Rangierbahnhof Limmattal) ist bekannt, dass sich Anwohner bis in einer Luftliniendistanz von 1.5 km durch Kreischgeräusche bei Rangierbahnhöfen gestört fühlen können. Allein in einem Abstand von bis zu 500 m der fünf Rangierbahnhöfe von Basel-Muttenz, Buchs, Zürich-Limmattal, Lausanne-Denges und Chiasso befinden sich ca. 25'000 Anwohnende. Das Betroffenheitspotential ist entsprechend gross und bei allen fünf Bahnhöfen in einem ähnlichen Rahmen. Die Häufigkeit der Störung ist aber abhängig von der Intensität der Rangierbewegungen. Diese wiederum korrelieren mit der Anzahl verfügbarer Richtungsgleise für die Formation der Züge.

Fazit: Das Betroffenheitspotential insbesondere durch Kreischgeräusche von Rangierbahnhöfen wird auf ca. 25'000 Personen geschätzt. Massnahmen, um dieses Störpotential zu reduzieren sind wichtig, um die Akzeptanz des nächtlichen Güterverkehrs zur Ermöglichung des sog. Nachtsprungs zu erhöhen.

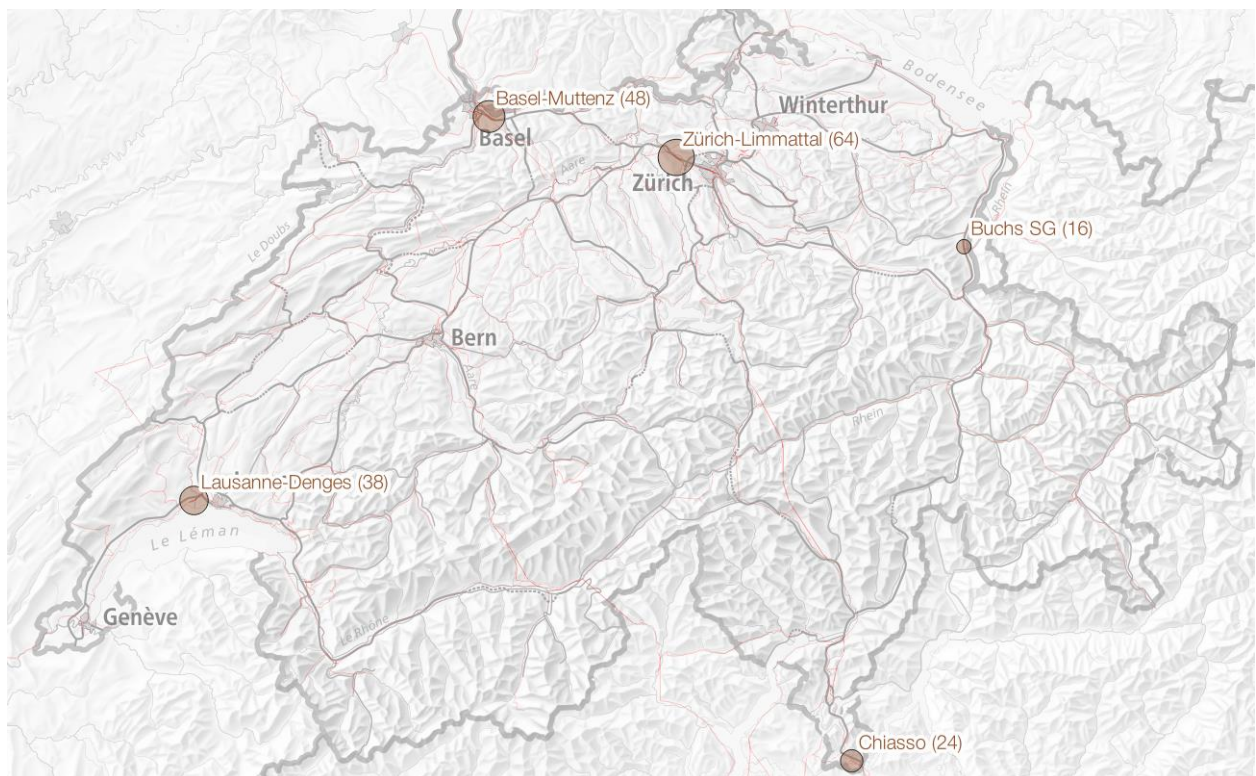


Abbildung 23: Visualisierung der fünf Rangierbahnhöfe von Basel-Muttenz, Buchs SG, Zürich-Limmattal, Lausanne-Denges und Chiasso. Die Punktgrösse repräsentiert die Anzahl Richtungsgleise (##) für Formationen und damit die Rangierintensität. In einem Umgebungsbereich von 500 m Distanz befinden sich ca. 25'000 Anwohnernde.

3.3.12. Betroffenheitsanalyse optimiertes Schienenschleifen (P1)

Das regelmässige Unterhaltsschleifen führt zu einer temporären Erhöhung der Schienenrauheit, welche teilweise durch Anwohnernde als störend wahrgenommen wird. Gemäss Untersuchungen¹⁰ auf dem SBB-Netz ist dadurch die Schienenrauheit während maximal 4% der Zeitdauer erhöht. Während dieser kurzen Zeit nach dem Schleifen kann der Emissionspegel gemäss einer Modellrechnung mit sonRail um ca. 8 dB erhöht sein¹¹. Über die gesamte Zeitdauer erhöht sich der Jahresmittelwert damit um < 1 dB.

Fazit: Die Dauer der erhöhten Lärmbelastung nach einem Schleifereignis ist kurz. Deswegen wird der Jahresmittelwert der Emission dadurch nur marginal erhöht. Durch die wiederholte Notwendigkeit der Schienenpflegemassnahmen ist die temporäre Störwirkung und Zunahme von bis zu 8 dB dennoch relevant.

3.3.13. Betroffenheitsanalyse optimierter Stahlschwellenoberbau (P4)

Im Bereich der Stahlschwellenoberbauten befinden sich im Horizont AS2035 ca. 250 Personen mit Immissionsbelastungen über dem IGW. Immissionsbelastung über IGW -5dB weisen ca. 3000 Personen auf. Da sich Verschärfungen im Lärmrecht insbesondere beim Wegfall einer K1-Korrektur bei wenig stark befahrenen

¹⁰ Rauheit des SBB-Schiennetzes, Verfeinerung der Modelle anhand neuer Messdaten; Berner Fachhochschule, Institut für Optimierung und Datenanalyse; Biel, Dezember 2022

¹¹ Modellannahmen: Triebzug mit 160 km/h, Schienenrauheit «bad» (92.3) statt «smooth» (85.8 dB)

Oberbauten (insbesondere Stahlschwellenoberbauten) besonders gross auswirken würden, würde sich auch die Betroffenheit im Bereich von Stahlschwellen erhöhen. Es wären unter diesen Bedingungen in Zukunft ca. 19'000 Personen im Bereich von Stahlschwellen neu über IGW.

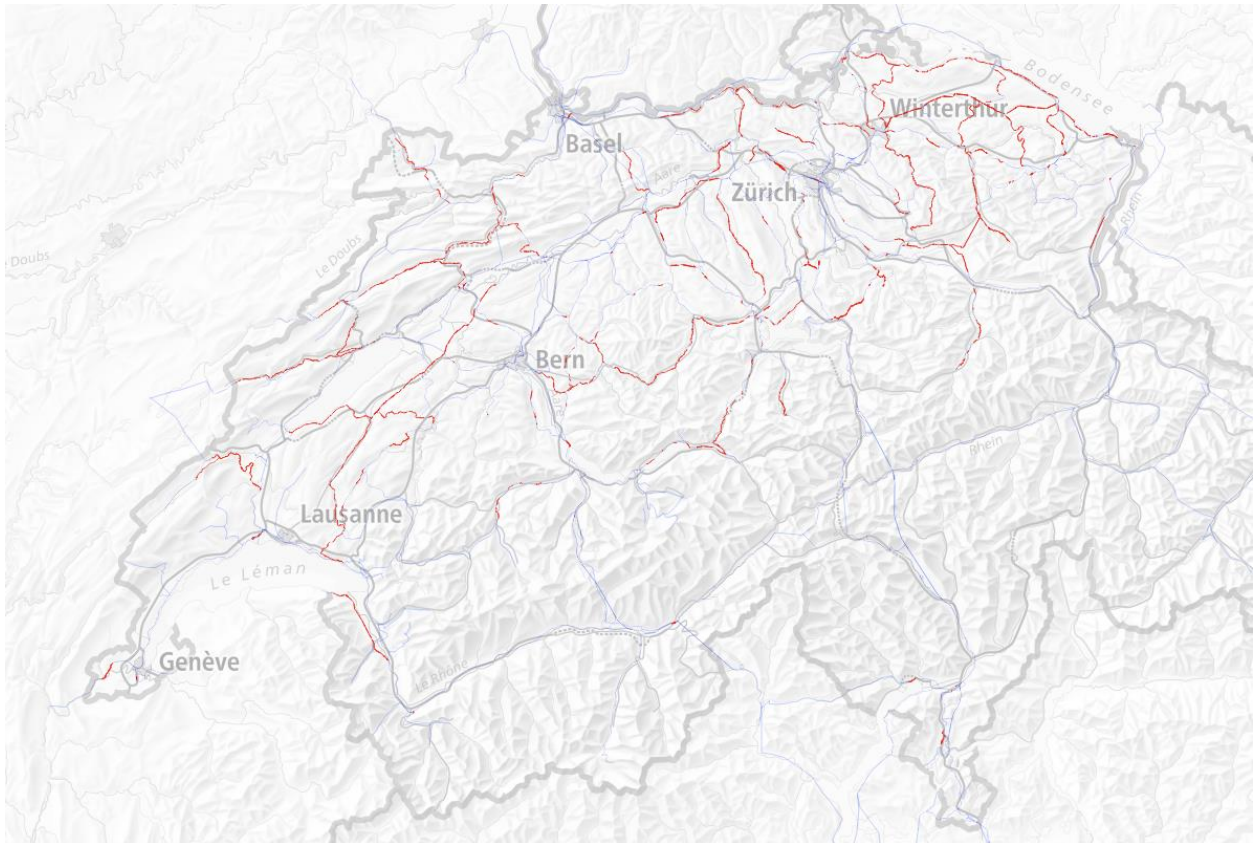


Abbildung 24: Bahnstrecken mit Stahlschwellenoberbau (rot). Auf vielen weniger stark befahrenen Strecken wird dieser Oberbautyp eingesetzt.

Fazit: Mit einer Verschärfung des Lärmrechts muss davon ausgegangen werden, dass auch die Lärmemissionen von weniger stark befahrenen Strecken mit Stahlschwellenoberbauten reduziert werden sollten. Es rechtfertigt sich deshalb, dass das Lärmpotential des Stahlschwellenoberbaus akustisch optimiert wird.

3.4. Übersicht zu den Restbelastungen der netzweiten Immissionsszenarien

Für einige netzweite Szenarien wurden die Restbelastungen in Form der Anzahl Personen über Immissionsgrenzwert (IGW) und die Lärmmasse berechnet. Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht zu den Werten.

Tabelle 2: Übersicht zu den berechneten Belastungszahlen der netzweiten Immissionsszenarien. Neben den Hauptimmissionsszenarien (I0-I5) wurden noch weitere 7 Szenarien zur besseren Differenzierung berechnet.

Nr.	Beschreibung	Personen >IGW	Lärmmasse	%-Wert Pers. >IGW	%-Wert Lärmmasse
I0	Referenz-Szenario: AS2035, durchschnittliche (average) Schienenrauheit	13'681	49'157	100%	100%
I2	Anwendung von hochdämpfenden Zwischenlagen	7'541	25'546	55%	52%
	Gewährleistung von glatten Schienen (smooth statt average)	6'891	23'890	50%	49%
	Glatte Schiene und zusätzlich hochdämpfende Zwischenlagen	3'923	11'900	29%	24%
	Zusätzliche Lärmschutzwände bei IGW-Überschreitungen	10'567	38'609	77%	79%
I1	Zusätzliche LSW mit einer Einschränkung zur Wirtschaftlichkeit	12'667	44'544	93%	91%
	Zusätzliche LSW und zusätzlich hochdämpfende Zwischenlagen	5'877	20'246	43%	41%
I5	Zus. LSW (9 km) mit Einschränkung zur Wirtschaftlichkeit, Beurteilung nach ES 2	10'558	38600	77%	79%
	Güterwagen mit Scheibenbremsen (tiefe Radrauheit) und alle Züge mit RSD auf glatten Schienen	4'701	16'174	34%	33%
I3	Güterwagen mit Scheibenbremsen (tiefe Radrauheit) und alle Züge mit RSD auf glatten Schienen und zusätzlich hochdämpfende Zwischenlagen	2'683	8'077	20%	16%
	Beurteilung von Wohnnutzungen generell nach ES 2, ohne Massnahmen	24'103	83'120	176%	169%
I4	Beurteilung von Wohnnutzungen generell nach ES 2 und Verzicht auf K1-Pegelkorrektur, ohne Massnahmen	138'827	606'200	1015%	1233%
	Beurteilung von Wohnnutzungen generell nach ES 2, Verzicht auf K1-Pegelkorrektur, inkl. Massnahme 49 km LSW mit Wirtschaftlichkeit nach VLE	88'110	393'020	644%	800%

Fazit: Es ist zwar möglich, mit weiteren Massnahmen die Lärmbelastung zu reduzieren. Aber auch mit der anspruchsvollen Ausschöpfung aller mittelfristig zumindest theoretisch verfügbaren Massnahmen, werden IGW-Überschreitungen verbleiben (Szenario I3).

Heraussticht, dass mit den möglichen Verschärfungen im Lärmrecht die Restbelastung massiv zunehmen würde (I4). Massnahmen an der Quelle, um unter diesen Voraussetzungen die Grenzwerte langfristig dennoch einhalten zu können, sind aktuell nicht erkennbar. Der Fokus für den Lärmschutz müsste dafür auf die Immissionsseite verlegt werden.

4. Empfehlungen für einen effektiven Lärmschutz

4.1. Voraussetzungen und Rahmenbedingungen

Damit ein effektiver und sinnvoller Lärmschutz möglich ist, müssen verschiedene Voraussetzungen erfüllt sein. Zentrale Grundlage ist einerseits die Kenntnis der tatsächlichen Lärmemissionen und andererseits das Wissen über die dadurch erfolgten gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Ohne dieses Wissen sind Massnahmenpriorisierungen nicht durchführbar.

Die periodische Ermittlung der Lärmemissionen setzt voraus, dass präzise Verkehrsdaten und ein validiertes Emissionsmodell mit aktuellen Emissionsparametern für Oberbau und Fahrzeuge zur Verfügung stehen. Die daraus abgeleitete Lärmbelastung sollte sich an einer übergeordneten und gesellschaftlich abgestützten Gesundheitsvorstellung orientieren. Dabei steht weniger die Verhinderung einer medizinisch möglichen Belastung im Vordergrund, sondern vielmehr ein ausgewogener Trade-off zwischen akzeptierbarer und verhinderbarer Lärmbelastung. Die Lärmschutzbestrebungen bei der Bahn stehen immer in Konflikt mit anderen öffentlichen Interessen. Es macht deshalb keinen Sinn, diese Interessenabwägung nicht schon auf Stufe einer Lärmstrategie durchzuführen und diese Abwägung auf einzelne Plangenehmigungsverfahren zu verschieben. Die Abwägung zwischen den unterschiedlichen Interessen sollen in einem aktuellen Zielwert abgebildet werden. Dieser Zielwert kann periodisch überprüft werden, um auf einem realistischen Zielpfad in der Zukunft die medizinisch basierten Grenzwerte möglichst einhalten zu können. Unter den aktuellen unterschiedlichen Interessen und Möglichkeiten des Lärmschutzes ist ein Einhalten der empfohlenen EKLB Grenzwerte nicht realistisch.

Da viele mögliche Lärmschutzmassnahmen sich noch in Entwicklung befinden, ist für das Erreichen eines hohen Reifegrades, welcher erst eine Umsetzung der Massnahmen in der Praxis erlaubt, ein begünstigendes Umfeld zur Wissensgenerierung notwendig. Dieses Umfeld muss einerseits spezifische theoretische Modelle der Lärmentstehung und -ausbreitung umfassen und andererseits (Feld-)Labore, welche die Entwicklung der Modelle und Validierung der theoretischen Resultate ermöglichen, ohne den gefahr- und störungsfreien Bahnbetrieb zu beeinträchtigen.

4.2. Massnahmenkonzept

Ein Massnahmenkonzept beinhaltet nicht nur isolierte Massnahmen, sondern ein ganzes Paket von Massnahmen, welche sich im Idealfall ergänzen und aufeinander abgestimmt sind.

Da die Umsetzung von Massnahmen einerseits auf Basisdaten betreffend Emissionskenntnissen und andererseits teilweise auf Erkenntnisse aus Forschungsprojekten angewiesen ist, müssen Massnahmenpakete im Kontext dieses Umfeldes betrachtet werden. Die Abbildung 11 zeigt die Einbettung der Massnahmenpakete in die unterstützende Umgebung und in die Basis der Forschungserkenntnisse.

Da der Lärmschutz als Daueraufgabe zu betrachten ist, welcher sich neuen Begebenheiten und Erkenntnissen von Zeit zu Zeit anpassen muss, sind Massnahmenpakete nicht als abschliessend zu verstehen. Die Beurteilung erfolgt deshalb aus heutiger Sicht und muss bei neuen Erkenntnissen (und Begehrlichkeiten) in Zukunft angepasst werden. Diesem Umstand soll dadurch Rechnung getragen werden, dass die Massnahmenpakete periodisch neu analysiert werden. Eine Neuüberprüfung alle 5-10 Jahre dürfte der Laufzeit von Forschungsprojekten angepasst sein. Somit wird eine Neuüberprüfung und damit Aktualisierung der Strategie ab 2030 empfohlen.

Die hier formulierten Folgepakete zum Basispaket sind nicht nur optional zu verstehen. Vielmehr sollen alle Pakete soweit möglich umgesetzt werden. Die Pakete unterscheiden sich einerseits durch die Verfügbarkeit der Massnahmen ohne weitere Forschung und Entwicklung und andererseits durch die Effektivität zur Einhaltung von lärmrechtlichen Grenzwerten.

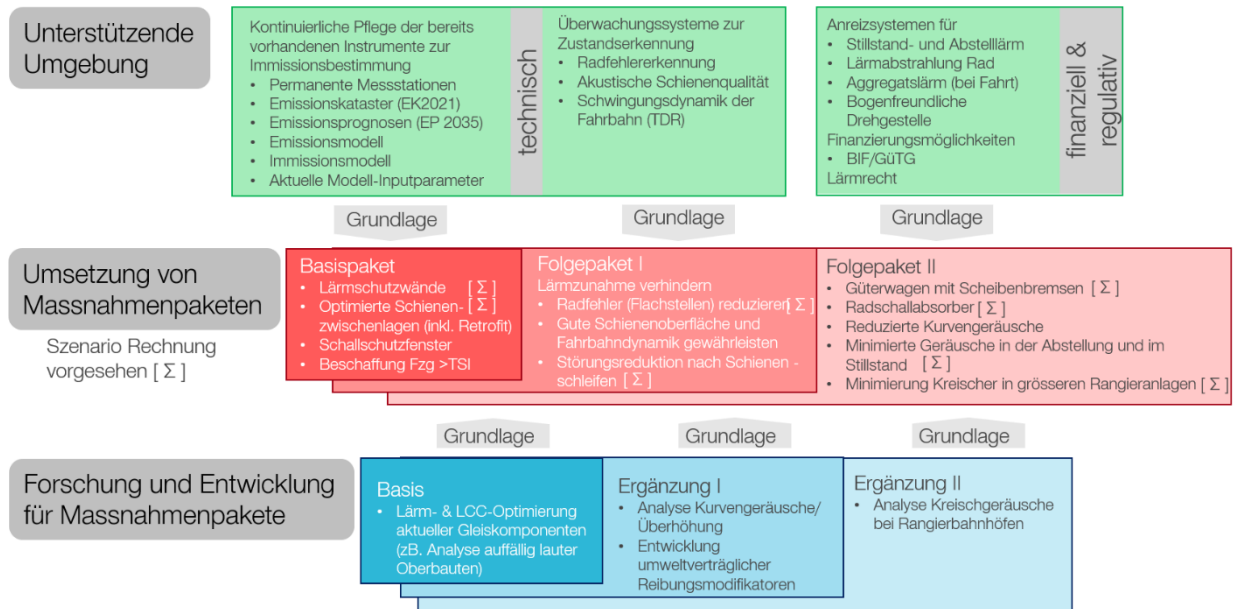


Abbildung 25: Massnahmenpakete im Gesamtkontext von unterstützender Umgebung (methodisch & technisch, sowie finanziell & regulativ) und Forschungserkenntnissen.

4.2.1. Basispaket

Das Basispaket soll in erster Linie helfen, bestehende oder zukünftige Grenzwertüberschreitungen zu reduzieren. Aus heutiger Sicht sind die zur Verfügung stehenden Massnahmen stark limitiert. Einerseits steht die Massnahme der bewährten und sehr effektiven Lärmschutzwand zur Verfügung. Andererseits konnten kürzlich Erfolge in der Optimierung der Schienenzwischenlage erreicht werden, welche in absehbarer Zeit umsetzungsreif sein wird. Diese Massnahme zeichnet sich durch eine weniger hohe Effektivität aus, jedoch ist die Effizienz (Kosten/Nutzen-Faktor) insbesondere in Synergie zu einer Oberbauerneuerung sehr gut. Auch wenn Schallschutzfenster in der aktuellen Gesetzgebung als Ersatzmassnahmen fungieren, sind diese in vielen bahnnahen Wohnüberbauungen insbesondere im Kontext der Verdichtung die einzig umsetzbare Massnahme. In den Innenräumen (und damit für den Zeitraum des Schlafens) erfüllen Schallschutzfenster den Lärmschutz sehr effektiv.

Damit an den richtigen Orten und mit einer sinnvollen Priorisierung Lärmschutzmassnahmen umgesetzt werden können, sind korrekt bestimmte Emissionen und Immissionen im Rahmen der unterstützenden Umgebung essenziell. Die Pflege der entsprechenden Modelle und Ermittlung der Modellparameter ist ebenfalls im Sinne einer Daueraufgabe vorzunehmen.

Nach Abschluss des BGLE gilt das Bahnnetz grundsätzlich als lärmsaniert. Zusätzliche Massnahmen zur Einhaltung von Grenzwertüberschreitungen sind nur noch im Rahmen von Ausbauprojekten finanziert. Sollten weitere Massnahmen unabhängig solcher Projekte realisiert werden, muss entweder ein neues Sanierungsprogramm durch den Bund finanziert werden oder die Massnahmen sind im Rahmen der LV durch das BAV zu beauftragen.

Voraussetzungen aus der unterstützenden Umgebung:

- Zuverlässige Emissionsmodellierung

Voraussetzungen aus der Forschung und Entwicklung:

- Serienreife hochdämpfende Schienenzwischenlagen

Übersicht zu den in diesem Paket vorgesehenen Massnahmen:

- Lärmschutzwände im Rahmen von Ausbauprojekten
- Lärmschutzwände ausserhalb von Ausbauprojekten
- Optimierte (hochdämpfende) Schienenzwischenlagen im Rahmen von Oberbauerneuerungen
- Optimierte Zwischenlagen als ergänzender Lärmschutz ausserhalb von Fahrbahnerneuerungsprojekten.
- Schallschutzfenster im Rahmen von Ausbauprojekten
- Schallschutzfenster ausserhalb von Ausbauprojekten
- Bei Fahrzeugbeschaffungen sollen Anforderungen an Fahrlärm unterhalb der TSI-Grenzwerte ein Gewicht haben.

Nutzen-Abschätzung des Pakets:

- Die Szenarienrechnungen zeigen, dass mit zusätzlichen Lärmschutzwänden und hochdämpfenden Zwischenlagen über 50% der aktuell noch über IGW belasteten Personen geschützt werden könnten.

4.2.2. Folgepaket I:

Dieses Paket erfordert zusätzliche Erkenntnisse aus dem Basis Forschungsteil und Anreizsysteme zur Optimierung von Fahrzeug- und Gleiszustand (vgl. Abbildung). Da der Lärmnutzen heute noch schlecht quantifizierbar ist, dienen die Massnahmen in erster Linie im Sinne des Vorsorgeprinzips einer generellen Minimierung der Lärmemissionen.

Die Flachstellen bei Güterwagen reduzieren den Nutzen des GG-Verbots. Mit einer Modernisierung der Güterwagen ist ein Gleitschutz möglich, welcher diese Flachstellen verhindert und den Lärmnutzen der Güterwagensanierung maximiert. Die Finanzierung des Gleitschutzes könnte in Synergie mit der digitalen automatischen Kupplung (DAK) über die GüTV erfolgen.

Gleichzeitig kann durch ein ergänztes Radüberwachungssystem (Zugkontrolleinrichtungen) und eine entsprechende Auslösung von Pflegemassnahmen der Radoberflächen sowohl bei Güterwagen wie Personenzügen eine verbesserte mittlere Radrauheit erreicht werden. In Kombination mit einer tiefen Schienenrauheit sind generelle Lärmreduktionen zu erwarten.

Der erfolgte Wechsel beim Schienenschleifen auf dem SBB-Netz zu einer Präventivstrategie führt dazu, dass im Mittel die Schienenrauheit tief ist, dass aber die während kurzer Zeit nach dem Schleifen erhöhte Störwirkung häufiger wird. Es sind deshalb Massnahmen zu ergreifen, um diesen Störeffekt zu reduzieren.

Die auf dem Netz teilweise festgestellten auffällig lauten Oberbauten müssen vertieft analysiert werden, um nach Möglichkeit die Ursache zu kennen und die Auffälligkeit in Zukunft verhindern zu können. Offenbar sind solche lauten Oberbauten nur situativ vorhanden, was vermuten lässt, dass eine lokale Differenz zu anderen Orten besteht, welche bereinigt werden sollte.

Voraussetzungen aus der unterstützenden Umgebung;

- Zuverlässige Radfehlererkennung
- Etablierte und genutzte Anreizsysteme zur Optimierung der Radqualität
- Zuverlässige Erkennung akustische Schienenqualität (Rauheit)

Voraussetzungen aus der Forschung und Entwicklung:

- Verständnis für die Ursache ungewöhnlich lauter (Beton)-Oberbauten

- Verständnis für die Ursache der Lautheit eines Stahloberbaus als Basis für akustische Verbesserungen.

Übersicht zu den in diesem Paket vorgesehenen Massnahmen:

- verhindern von Flachstellen bei Güterwagen (Gleitschutz)
- Überwachung Radfehler
- Verhinderung eines ungewohnt lauten Oberbaus (Bsp. Walenstadt)
- Gewährleistung akustisch untergeordneter Schienenrauheit

Nutzen-Abschätzung des Pakets:

- Mit einer akustisch glatten Schiene können die Restbelastungen aus dem Basispaket nochmals um ungefähr 50% reduziert werden. Die Restbelastung mit Basispaket und Folgepaket würde sich deshalb noch auf ungefähr 25% der aktuellen Belastung reduzieren.

4.2.3. Folgepaket II:

Dieses Paket umfasst Massnahmen, welche zuerst auf ihre Machbarkeit und Effektivität hin tiefer untersucht werden müssen. Sollte eine vertretbare Verhältnismässigkeit von Kosten und Nutzen sichtbar sein, müssten über ein Sanierungsprogramm die entsprechenden Massnahmen umgesetzt werden.

Radschallabsorber insbesondere für Flotten, welche einzelne Strecken lärmässig stark dominieren (zB S-Bahnen) können zu einem sinnvollen Lärmschutz beitragen. Auch ein Austausch der Radsätze mit Resilient Wheels könnte in Betracht gezogen werden, sofern die Sicherheitsanforderungen bei Vollbahnen eingehalten werden können.

Insbesondere Triebzüge weisen teilweise relevante und störende Aggregatsgeräusche auf. Es sollten die technischen Möglichkeiten an den Fahrzeugen ausgeschöpft werden, um diese Lärmquellen zu minimieren. Dies erfordert in einem ersten Schritt Machbarkeitsstudien und bei erfolgreichem Abschluss ein finanziertes Sanierungsprogramm.

Die aktuell realisierte Überhöhung in Kurven richtet sich nach den projektierten maximalen Streckengeschwindigkeiten. Bögen, die tatsächlich mehrheitlich mit deutlich kleineren Geschwindigkeiten befahren werden, können akustisch auffällig sein. Im Rahmen einer netzweiten Untersuchung sind die Möglichkeiten einer idealeren Abstimmung von Geschwindigkeit und Überhöhung zu prüfen und bei Bedarf umzusetzen.

Dort wo eine optimierte Abstimmung von Geschwindigkeit und Bogentrassierung nicht möglich ist, oder nicht zum gewünschten Ziel führt, kann das Aufbringen von Reibungsmodifikatoren durch Fahrzeuge mit Hilfe von On-board-Systemen geprüft werden (stationäre Anlagen haben sich nicht bewährt und sind zu wenig flexibel einsetzbar). Dies benötigt in einem ersten Schritt die Entwicklung von umweltfreundlichen Stoffen zur Reibungsmodifikation.

Die Optimierungen am Rollmaterial erfolgen bevorzugt über die Finanzierung eines konkreten Sanierungsprogramms. Allenfalls ist auch eine Finanzierung im Rahmen eines Anreizsystems möglich. Dafür müsste das bestehende Lärmbonus-System weiterentwickelt werden.

Die Rangierbahnhöfe führen insbesondere nachts zu grossen Störwirkungen aufgrund von lauten Kreischer-eignissen. Es soll untersucht werden, ob diese Kreischerereignisse durch einen optimierten Ablauf und die Verbesserung der Bremsanlagen minimiert werden können.

Voraussetzungen aus der unterstützenden Umgebung;

- Etablierte und genutzte Anreizsysteme zur Optimierung der Radschallemissionen
- Etablierte und genutzte Anreizsysteme zur Optimierung der Aggregatsemissionen

Voraussetzungen aus der Forschung und Entwicklung:

- Umweltverträgliche Mittel zur Reibungsmodifikation

- Technische Massnahmen zur Reduktion der Kreischgeräusche in Rangieranlagen

Übersicht zu den in diesem Paket vorgesehenen Massnahmen:

- Güterwagen mit Scheibenbremsen
- Radschallabsorber
- Resilient Wheels
- Aggregatsgeräusche bei fahrenden Lokomotiven und Triebzügen minimieren
- Aggregatsgeräusche bei Zügen in der Abstellung minimieren
- Kurvengeräusche/Bogentrassierung optimieren
- Aufbringen von Reibungsmodifikatoren in Bögen durch Fahrzeuge (on-board)
- Minimierung von Kreischereignissen in grösseren Rangieranlagen

Nutzen-Abschätzung des Pakets:

- Durch die Radschalldämpfer und die scheinbengebremsen Güterwagen kann die Restbelastung um weitere 5 Prozentpunkte auf 20% der aktuellen Belastung reduziert werden.
- Durch lärmoptimierte Fahrzeugabstellungen und Rangieranlagen können ca. 140'000 Anwohnende ein deutliche Lärmreduktion erfahren.

5. Finanzielle und regulatorische Umsetzungsmöglichkeiten

Für die periodische Ermittlung der Lärmemissionen und der Lärmbelastungen, sowie für die Unterstützung des Forschungsumfelds muss eine gesicherte Finanzierung der personellen und technischen Ressourcen vorliegen. Diese Finanzierung sollte ausser Konkurrenz zu betriebs- und unterhaltsnotwendigen Projekten erfolgen.

In einem Direktionsentscheid des BAV vom 28.11.2022 wurde festgelegt, dass die Ermittlung der Emissionen und Immissionen im Rahmen einer Übertragung von Systemaufgaben geregelt werden soll. Im entsprechenden Vertrag würde auch die Finanzierung ausgestaltet.

Für die Ressortforschung kann im Rahmen des Subventionsgesetzes eine Finanzierung aus dem BIF beantragt werden. Es sind dabei Beiträge von 50-60% möglich. Das BAV kann bei Bedarf auch Forschungsaufträge vergeben, welche zu 100% finanziert werden. Vgl. hierzu auch die entsprechenden Anträge unter Kapitel Aufträge für Forschung und Entwicklung. Da bei den im vorliegenden Bericht beantragten Projekten keine Produkteentwicklungen im Vordergrund stehen, ist keine Kostenbeteiligung durch die Industrie oder Forschungsinstitute zu erwarten. Eine solche finanzielle Beteiligung wäre allenfalls in einer späteren Phase denkbar. Es muss deshalb dafür gesorgt werden, dass die Bewilligung von zu 100% finanzierten Projekten im Rahmen der BIF-Forschung ohne Einschränkungen möglich ist. Falls die verfügbaren Mittel limitierend sein sollten, ist ein jährlicher fester Anteil für Lärmforschung zu garantieren.

Aus heutiger Sicht steht nach Abschluss des BGLE kein separates Budget für die Umsetzung von Lärmschutzmassnahmen ausserhalb von Ausbauprojekten zur Verfügung. Das bedeutet, dass die Kosten allfälliger Umsetzungsprogramme in den jeweiligen LV-Perioden frühzeitig berücksichtigt werden müssen. Diese Programme werden dann in Konkurrenz zu anderen Finanzierungsbedürfnissen stehen. Aus dieser Sicht werden kostenintensive Massnahmen einen schweren Stand haben. Umso mehr drängt es sich auf, dass möglichst kostenneutrale Lärmschutzmassnahme im Kontext des Gesamtsystems zu entwickeln sind.

6. Prozesse

Die Arbeitsgruppe hat neben Massnahmenpaketen auch Prozesse zur Entwicklung und Umsetzung des Lärmschutzes erarbeitet. Die Konzepte werden folgend erläutert.

6.1. Forschungsprozess und Versuchsprozess

Der Fokus bei den Forschungsprojekten sollte immer auf dem Erkenntnisgewinn für den Bahnsektor liegen. Es handelt sich deshalb um Auftragsforschung, welche möglichst klar formulierte Untersuchungsaspekte beinhaltet und eine straffe Führung der Forschungsprojekte gewährleistet. Damit die notwendigen Forschungsprojekte miteinander koordiniert werden können und ein transparenter Projektablauf gewährleistet werden kann, wird ein systematisches Vorgehen empfohlen. Das Vorgehen umfasst die Initialphase, die Prüfungsphase, die Detaillierungs- und Vertragsphase, die Projektierungsphase und die Abschlussphase. Ein Steering-Committee stellt die Konformität und Zielerreichung der Lärmstrategie sicher. Es kann nicht allein auf die Eigeninteressen der Projektbeteiligten abgestützt werden, da diese nicht deckungsgleich mit den Interessen der effektiven Lärmreduktionsziele sein müssen. Die intensive Betreuung der Forschungsprojekte erfordert Fachkenntnisse und personelle Ressourcen. Falls am Schluss ein Produkt eingebaut und eingekauft werden muss, ist der BÖB/VöB zu berücksichtigen. Ein «Information Request» steht beispielsweise am Anfang solcher Entwicklungsprojekte und nicht eine Ausschreibung. Eine Ausschreibung beinhaltet dann im Idealfall nur einen ersten Test, welcher mit einer Option im Falle eines erfolgreichen Tests ergänzt wird.

6.1.1. Einordnung der Projekte

Zur besseren Einordnung von Projekten schlagen wir eine Differenzierung nach Forschungs- und Entwicklungsprojekten vor.

Grundlagenforschung:

Grundlegende Erarbeitung eines Themas. Ziel ist die Erreichung eines TR-Level 2 oder 3. Das Lieferobjekt ist ein Bericht. Spezielle Voraussetzung sind keine gegeben. Auch bei den Partnern sind keine Einschränkungen vorhanden. In der Regel dürften dies Hochschulen, Ingenieurdienstleister, Industriefirma u. ä. sein.

Forschung:

Hier handelt es sich um die Prüfung der Funktionstüchtigkeit einer Idee oder eines Konzepts. Auch ein Prinzipversuch ist möglich. Ziel ist die Erreichung eines TR-Level 4 oder 5. Das Lieferobjekt ist ein Versuchsaufbau in einer Laborumgebung (TR-L 4), eventuell auch ein erster Prinziptest im Gleis im Rahmen von Stunden oder wenigen Tagen (TR-L 5). Spezielle Voraussetzung sind keine gegeben. Auch bei den Partnern sind keine Einschränkungen vorhanden. In der Regel dürften dies Hochschulen, Ingenieurdienstleister, Industriefirma u. ä. sein.

Entwicklung:

Erstellen eines robusten Prototyps und ein längerer Test in der Einsatzumgebung. Ziel ist die Erreichung eines TR-Level 6 oder 7. Das Lieferobjekt ist ein Prototyp, der über Wochen oder Monate (TR-L 6) oder einige Jahre (TR-L 7) in der Einsatzumgebung betrieben werden kann. Während des Betriebs sind noch Anpassungen nötig, Dinge können dabei kaputtgehen und das System erfordert noch eine erhöhte Aufmerksamkeit. Auch müssen Ausfallzeiten in Kauf genommen werden. Die Voraussetzung ist ein Forschungsergebnis mindestens auf TR-Level 5 als Absprungbasis. Die Federführung können alle möglichen Firmen übernehmen, die Teilnahme eines möglichen Industriepartners ist aber stark erwünscht. Die Perspektive einer Industrialisierung muss gegeben sein, falls das Projekt positive Resultate liefert.

BÖB/VöB: Die Art der späteren Beschaffung eines möglichen industrialisierten Produkts muss klar sein, das Beschaffungskonzept muss deshalb generisch bestehen und entsprechend berücksichtigt werden.

Industrialisierung:

Erreichen der Serienreife eines Produkts und Verkauf auf dem offenen Markt. Die Lebensdauer ist zumindest ansatzweise bekannt, auch nach Projektabschluss sind Garantieleistungen und Ersatzteile für das System verfügbar. Ziel ist die Erreichung eines TR-Level 8 oder 9. Das Lieferobjekt ist ein Serienprodukt, das im Rahmen des normalen Beschaffungsprozesses durch eine funktionale Ausschreibung am offenen Markt mit den

üblichen Konditionen (Garantie, Lieferbedingungen, etc.) eingekauft werden kann. Die Voraussetzung ist ein Entwicklungsprojekt mindestens auf TR-Level 6 als Absprungbasis. Die Federführung liegt bei Industriepartnern oder Spinoffs einer Hochschule oder bei der Firma, die das Produkt herstellen und liefern wird. Hochschulen etc. sind als Projektpartner immer möglich, können aber nicht federführend sein.

BöB/VöB: Das Beschaffungsrecht ist im vollen Umfang zu berücksichtigen (Vorbefassung, offene Ausschreibung, etc.).

6.1.2. Relevante Akteure

Für die unterschiedlichen Phasen sind verschiedene Akteure relevant.

Die Erkennung von Forschungs- und Entwicklungsbedarf kann beispielsweise durch Infrastrukturbetreiber (ISB) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), die Aufsichtsbehörde (BAV) und die Lärmfachbehörden (BAFU, CercleBruit) erfolgen.

Die Eingabe von Projektideen und die eigentliche Projektdurchführung kann durch Infrastrukturbetreiber (ISB) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), die Aufsichtsbehörde (BAV), die Lärmfachbehörden (BAFU, CercleBruit) und die Industrie, durch Forschungsanstalten und Fachbüros vorgenommen werden.

Finanzierungsentscheide und die eigentliche Projektannahme sollten durch ein Steering Committee (SC) mit Vertretern von BAV, BAFU und Allianz Fahrbahn (und evtl. weiteren) erfolgen.

Zusätzlich sind Beratungsfunktionen vorzusehen, welche durch ein Sounding Board (SB) mit Vertretern von ISB, EVU und Lärmexperten vorgenommen werden.

6.1.3. Ablauf eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts

Ein möglicher detaillierter Ablauf eines Projekts ist im Kapitel Genereller Ablauf eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts am Ende des Berichts dargestellt. Obwohl gewährleistet werden soll, dass nur für die Ziele des Lärmschutzes relevante Forschung und Entwicklung unterstützt wird, dürfen innovative Ideen nicht zum Vornherein ausgeschlossen werden. Mit sinnvollen Abbruchkriterien und Etappierungen kann auch weniger erfolgversprechenden Projekten eine Chance ermöglicht werden.

Idealerweise werden Forschungsfragen behandelt, welche aus einer bestehenden Liste mit Wissenslücken stammen. In diesem Strategiepapier werden unter anderem Forschungsfragen zusammengefasst und es wurden auch im Projekt Go-LEISE¹² solche Wissenslücken systematisch erfasst.

Bevor ein Projekt finanziert und gestartet werden kann, muss sichergestellt werden, dass die schon bestehenden Wissensgrundlagen sinnvoll berücksichtigt werden und ein relevanter Nutzen für den Lärmschutz erzielbar ist. Diese Beurteilung muss interaktiv zwischen forschenden, finanzierenden und anwendenden Stakeholdern erfolgen. Wenn die zu beantwortende Ausgangsfragestellung ungenügend präzise formuliert und der Bearbeitungsweg zu wenig fundiert durchdacht ist, besteht eine grosse Gefahr, dass das Projektergebnis unbefriedigend ausfallen wird. Entsprechend ist der Aufwand, welcher in die Formulierung der Problemstellung und des Lösungsweges gesteckt wird, in der Regel ausschlaggebend für den Erfolg eines Projekts. Während der Projektphase sind grössere Eingriffe häufig nicht mehr sinnvoll möglich.

Insbesondere Projekte mit einem grösseren Umfang sollten während der Projektphase eng begleitet werden, um sicherzustellen, dass die Meilensteine eingehalten werden können und Abweichungen vom geplanten Projektziel frühzeitig erkannt und besprochen werden können.

¹² Forschungsprojekt Go-LEISE (Gesamtoptimierung, Lärm-, Erschütterungs-, Infrastruktur- und Sicherheitseinflüsse), Schlussbericht Phase 1, Jakob Oertli und Michael Hafner, SBB AG, Dezember 2016.
https://laermforschung-eisenbahn.ch/site/wp-content/uploads/2023/02/2016_Bericht_Go_Leise_SBB.pdf

Sowohl erfolgreich wie auch gescheiterte Projekte sind so zu dokumentieren, dass die Resultate für darauf aufbauende Projekte frei und ohne grössere Hindernisse zur Verfügung stehen.

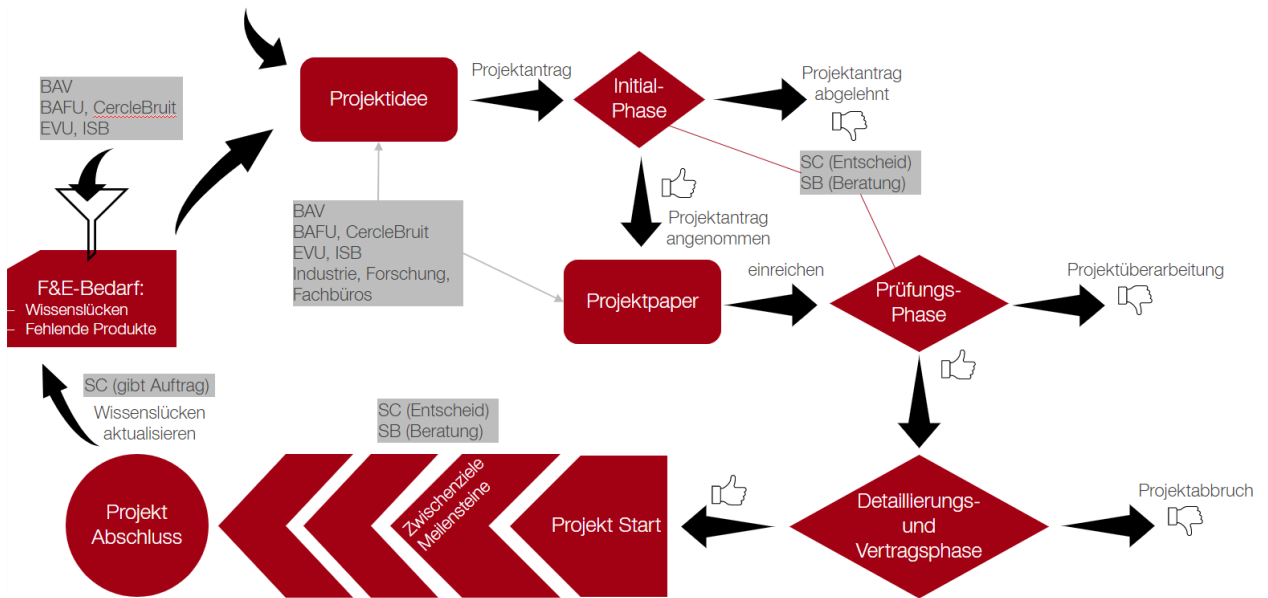


Abbildung 26: Visualisierung des Prozesses eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts im Kontext der verschiedenen Akteure.

6.2. Zielpfad (Szenarien)

Da keine kurzfristigen und verhältnismässigen Massnahmen zur Verfügung stehen, um die durch die EKLB empfohlenen strengeren (medizinischen) Grenzwerte grossflächig einhalten zu können, müssen diese vorläufig als erwünschten zukünftigen Zustand betrachtet werden. Es ist deshalb sicher zu stellen, dass ein Zielpfad definiert wird, welcher hilft diesen Idealzustand in absehbarer Zeit zu erreichen. Dies ist kongruent mit der Zielformulierung einer Daueraufgabe. Gilt es doch, zuerst neue Lärmschutzmassnahmen zu entwickeln und diese dann im Sinne einer Gesamtoptimierung umzusetzen. Dieser Prozess ist periodisch von neuem zu durchlaufen, da sich die technischen Bedingungen und die Mobilität im Laufe der Zeit verändern und mögliche Massnahmen in diesem Kontext immer wieder überprüft und Neubewertet werden müssen. Auf dieser Basis werden jeweils aktuelle Zielwerte definiert, welche nach Möglichkeit einzuhalten sind.

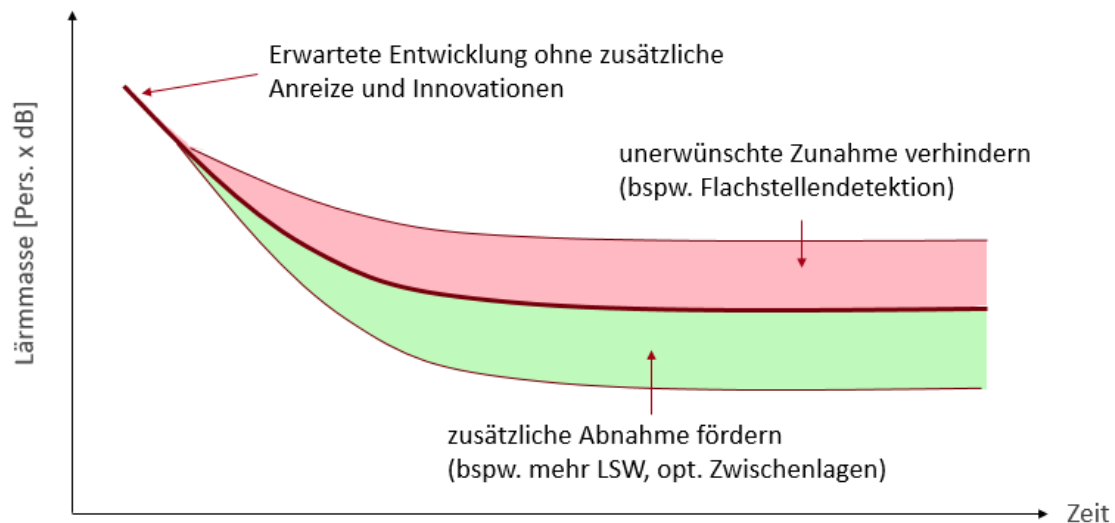


Abbildung 27: Zur Erreichung einer geringeren Lärmbetroffenheit in der Zukunft unabhängig einer generellen Verbesserung der Komponenten aufgrund des Stands der Technik muss einerseits verhindert werden, dass unerwünschte Lärmzunahmen im Betrieb erfolgen und andererseits müssen zusätzliche Massnahmen gefördert werden, welche noch nicht dem Stand der Technik entsprechen.

Zur Überprüfung der Erreichung des gewünschten Ziels in der Zukunft dienen Szenarienrechnungen. Einerseits können damit die Verkehrsentwicklungen als auch mögliche Verbesserungen von akustischen Eigenschaften der Fahrzeuge und Infrastruktur prognostiziert werden. Mit der Berücksichtigung unterschiedlicher Grenzwertszenarien können die daraus resultierenden Lärmbelastungen pro Streckenabschnitt ermittelt werden.

Da sich in der Praxis die Überprüfung der tatsächlichen Emissionen in einem periodischen Abstand von ca. fünf Jahren bewährt hat (Emissionskataster), erscheint auch die Überprüfung des Erfolgs der Lärmschutzbemühungen und der allenfalls notwendigen Justierung unter Einbezug neuer Erkenntnisse in einem Fünfjahreszyklus sinnvoll. Es ist denkbar, dass zwecks Synchronisation mit den LV-Perioden auch ein 4-Jahreszyklus sinnvoll ist.

6.3. Verwaltungsprozess Überprüfung der Lärmschutzpflicht

Die erfolgreich durchgeführte netzweite Lärmsanierung der Eisenbahn hat zu einem hohen Schutzniveau geführt. Die Eisenbahnanlagen in der Schweiz können deshalb als lärmsaniert betrachtet werden. Die dabei teilweise verfügbaren Erleichterungen sind rechtlich grundsätzlich dauerhaft. Bei Veränderungen der Anlage und des Betriebs sollten im Rahmen der Projekte neue Lärmschutzmassnahmen dann getroffen werden, wenn Grenzwertüberschreitungen vorliegen und die baulichen Massnahmen mit bautechnischen Synergien verbunden sind. Eine übergeordnete Sanierungspflicht sollte auf Ebene der netzweiten Emissionskataster und Emissionsprognosen diagnostiziert werden und in einem Gesamtpaket beauftragt werden.

Damit eine solche Überprüfung stattfinden kann, soll ein netzweiter Zustandsbericht die Bilanz zur aktuellen und erwarteten Lärmbelastung pro Streckeneinheit (bspw. 500m) ausweisen. Der Bericht soll auch für Laien mittels zusätzlicher Klassierung (Benotung) der Abschnitte einfach verständlich sein. Nach Möglichkeit sind auch schon realisierte und sinnvollerweise realisierbare zusätzliche Lärmschutzmassnahmen zu dokumentieren. Diese Grundlage kann als Basis für Unterhaltungsprojekte dienen. Ein solcher Bericht stellt einerseits

transparent die Entwicklung der Lärmbetroffenheit und der Lärmemissionen dar und dient andererseits der Projektierungssicherheit für Fahrbahnprojekte. Im Idealfall kann mit diesem Hilfsmittel die Beurteilung der Lärmschutzpflicht auf übergeordneter netzweiter Sicht periodisch ermittelt werden, so dass Unterhaltprojekte auf dieser Basis verzögerungsfrei realisiert werden können.

Grössere Infrastrukturausbauprojekte werden den Lärmschutz i.d.R. innerhalb des Projektes abwickeln müssen, da dieser eine Voraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit ist.

7. Synthese und Anträge

7.1. Festgestellte Trends

Es können folgende Trends festgestellt werden.

Zunahme der Lärmbetroffenheit: Die Bevölkerungszunahme führt einerseits zu einer erhöhten Mobilität (mehr Menschen sind unterwegs) und andererseits auch zu einer erhöhten Lärmbetroffenheit (mehr Menschen wohnen in lärmbelasteten Gebieten). Insbesondere die verdichtete Bauweise im Nahbereich der Verkehrsträger wird die Lärmbetroffenheit zusätzlich akzentuieren.

Verkehrszunahme führt zu höheren Lärmemissionen: Die somit hoch bleibenden und noch zunehmenden Mobilitätsansprüche machen eine Verkehrszunahme absehbar. Im Ausbauschnitt 2035 ist diese Zunahme abgebildet. Sie wird sich voraussichtlich auch später fortsetzen. Die Zunahme wird einerseits in Taktverdichtungen, welche eine höhere Flexibilität für Reisende, mehr Anschlussmöglichkeiten und generell mehr Kapazitäten ermöglichen, als auch in längeren Zügen resultieren. Beide Effekte erhöhen die Lärmemissionen unweigerlich.

Stärkere Wahrnehmung der schädlichen Auswirkungen von Lärm: Aufgrund neuerer Untersuchungen zur Gesundheitsauswirkung von Lärm sind Verschärfungen der Lärmgrenzwerte in Diskussion. In der einen oder anderen Form werden diese zu höheren Anforderungen im Lärmschutz führen. Parallel dazu steigt die Lärmempfindlichkeit der Anwohner.

Kosten-Nutzen Überlegungen bestimmen das Lärmpotential bei der Fahrzeugindustrie: In der Regel ist es die europaweit überschaubare Fahrzeugindustrie, welche das Lärmpotential der Züge bestimmt. Der Einfluss des Bestellers (EVU) wird aufgrund der limitierten Konkurrenz und des Verzichts auf Spezialanforderungen zur Reduktion der Einkaufskosten kleiner. Da die internationalen Standards (TSI) wesentlich durch die involvierte Industrie mitgeprägt werden, orientieren sich diese weniger an den Zielvorstellungen des Lärmschutzes, sondern an einem einfach umsetzbaren Stand der Technik.

Die wirksamsten Massnahmen sind bereits umgesetzt: Die effektivsten Lärmschutzmassnahmen mit Lärmschutzwänden und der Rollmaterialsanierung (Verbot von Graugussbremsen) wurden umgesetzt. Massnahmen mit ähnlichen Wirkungen von 10 dB und mehr stehen aktuell und mittelfristig nicht mehr zur Verfügung. Zukünftige Lärmschutzmassnahmen werden darum weit geringere Lärmreduktionen erzielen als die bisherigen. Damit sind diese Massnahmen weniger wirtschaftlich und die Ökoeffizienz ist i.d.R. klein.

Die Kosten für den Lärmschutz erhöhen die Kosten für den öffentlichen Verkehr: Die Kosten für den zwin- genden Unterhalt des stark befahrenen Bahnnetzes zur Wahrung der Sicherheit und Zuverlässigkeit werden durch jeden Ausbauschnitt grösser. Dadurch wird in einem limitierten Finanzhaushalt der Budgetposten für Lärmschutzmassnahmen umgekehrt kleiner. Auf der anderen Seite erhöhen die Kosten für den Lärmschutz die Gesamtkosten des öffentlichen Verkehrs, was den Modal-Split negativ beeinflussen könnte.

7.2. Mögliche Hebel

Es gibt vier Hebel, um die Störung durch Eisenbahnlärm zu reduzieren. Die Abbildung 14 zeigt eine Visualisierung dieser Hebelwirkungen.

Erstens können die Emissionen an der Quelle minimiert werden. Dies kann durch technische Massnahmen an den Fahrzeugen und der Infrastruktur erfolgen.

Zweitens können auf dem Lärmausbreitungsweg und an den Gebäuden insbesondere bauliche Massnahmen vorgenommen werden, um die Immissionen zu begrenzen. Einerseits existieren bewährte Massnahmen wie eine Lärmschutzwand oder eine der Fassade vorgesetzte Loggia. Andererseits sind architektonische Möglichkeiten zur lärmabgewandten Nutzung und Erstellung von Innenhöfen denkbar. Auch kann das Wohnverhalten angepasst werden (bahnabgewandtes Schlafen, geschlossene Fenster). Und schliesslich kann der Siedlungsraum akustisch optimiert gestaltet werden (Klangraumgestaltung).

Drittens sind Ausgleichsmassnahmen möglich, welche die Störung durch Lärm in anderen Bereichen des Wohlbefindens kompensieren.

Bei diesen drei Hebeln steht die Reduktion der Störwirkung durch eine Lärmoptimierung der Eisenbahntechnik, der Wohnarchitektur und der Wohnnutzung im Vordergrund.

Ein vierter Hebel besteht schliesslich darin, eine Störung durch eine konsequente räumliche Trennung von intensivem Eisenbahnverkehr und dichter Wohnnutzung zur unterbinden. Dies bedingt langfristige raumplanerische und verkehrsplanerische Vorsorgemassnahmen.

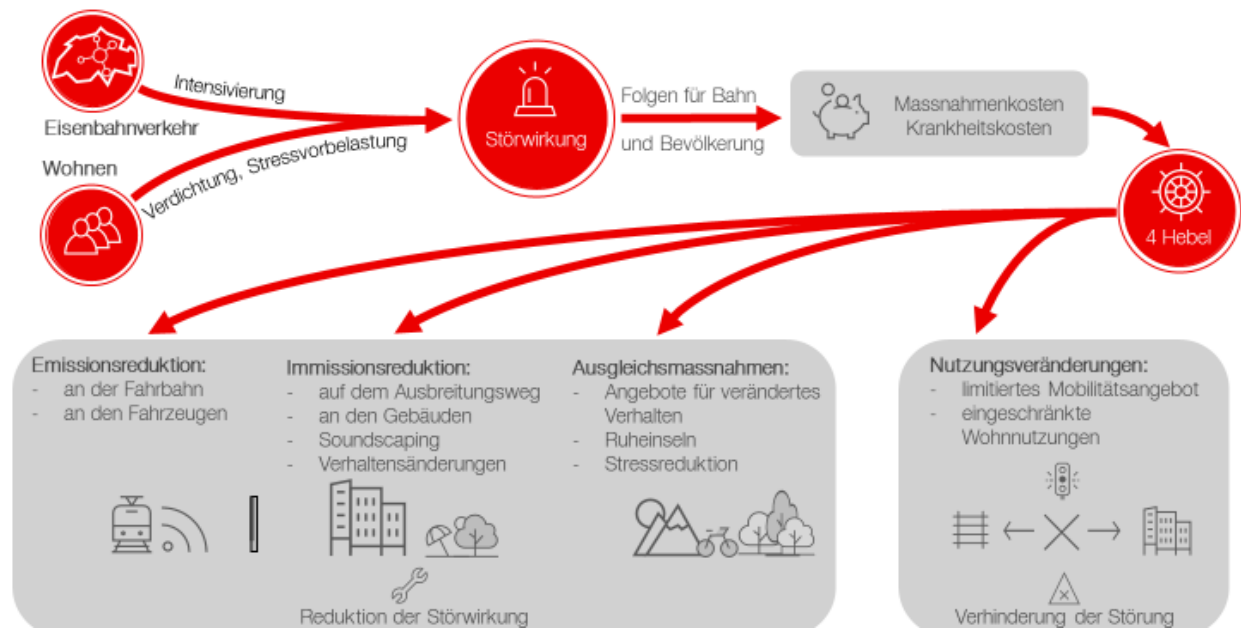


Abbildung 28: Visualisierung der 4 Hebel zur Reduktion der Störwirkung durch Eisenbahnlärm.

7.3. Schlussfolgerungen und strategische Stossrichtungen

Die Szenarienrechnungen zeigen, dass die Wirksamkeit greifbarer Lärmschutzmassnahmen stark limitiert ist. Massnahmenkombinationen mit Lärmreduktionen grösser 5 dB sind kaum mehr und nur unter optimalen Bedingungen realisierbar. Umgekehrt führt nur schon ein Verzicht auf die K1-Pegelkorrektur zu Erhöhungen des Lärmbeurteilungspegels von 5-15 dB.

Obwohl die Lärmsanierung bei der Bahn mit dem BGLE erfolgreich abgeschlossen werden kann und die im Gesetz formulierten Schutzgradziele erfüllt werden, führt das Zusammenwirken zwischen limitierten Lärmschutzmassnahmen, zunehmenden Emissionen und einer verschärften Lärmbeurteilung dazu, dass der Lärmschutz zu einer Daueraufgabe wird. Eine umfassende Einhaltung der Lärmgrenzwerte ist in den

nächsten Jahren nicht realistisch. Der Lärm der Bahn bleibt langfristig ein Thema und deren Achillesferse betreffend Umweltbelastung. Auch gewährte Erleichterungen führen nicht zur Einhaltung der Grenzwerte.

Um das Massnahmenportfolio zur Lärmreduktion zu erhöhen, ist die unterstützende Forschung und Entwicklung in diesem Bereich zentral. Diese Auftragsforschung muss konzertiert und systematisch erfolgen. Nur so können die bestehenden Wissenslücken und fehlenden Grundlagen effizient erarbeitet werden.

Massnahmen, welche ins dynamische System der Fahrbahn eingreifen, dürfen nicht unabhängig von der Sicherheit und den LCC betrachtet werden. Massnahmen im Bereich der Interaktion Rad-Schiene müssen Fahrbahn- und Rollmaterialaspekte beachten. Dies bedingt eine Berücksichtigung der Bedürfnisse der ISB und der EVU. Massnahmen gegen Luftschall dürfen sich zudem nicht nachteilig auf Erschütterungen und Körperschall auswirken. Alle diese Abhängigkeiten zeigen, dass eine Gesamtoptimierung des Bahnsystems notwendig ist. Für Interessen, welche dem Lärmschutz entgegen wirken müssen Kompromisse gefunden werden und zur Aufwandoptimierung müssen Synergien gesucht werden.

Trotz weiterer Bemühungen im Bereich der Lärmschutzmassnahmen werden Überschreitungen von Lärmgrenzwerten keine Ausnahme bleiben. Im Rahmen einer Interessenabwägung werden in diesen Fällen i.d.R. Erleichterungen genehmigt. Das öffentliche Interesse der klimaneutralen Mobilität wird dabei höher gewichtet als das Individualinteresse des Gesundheitsschutzes. Damit bleibt das Wohnen in lärmbelasteten Gebieten für zehntausende Menschen eine unausweichliche Realität. In diesem Bewusstsein muss der Befähigung eines angepassten Umgangs im Siedlungsraum mit einer Lärmvorbelastung eine hohe Priorität eingeräumt werden. Dabei sind neben baulichen Massnahmen an den Gebäuden auch solche, welche einerseits die Erholung ermöglichen (Ruheinseln) und andererseits die Lärmwahrnehmung optimieren (Klangraum) für die öffentlichen und privaten Planer zu evaluieren und zu dokumentieren.

Aus diesen Schlussfolgerungen leiten wir folgende strategische Stossrichtungen ab:

Grundsätze

- Um die Lärmemissionen auch in Zukunft nachhaltig reduzieren zu können, soll der Lärmschutz der Bahn muss als Daueraufgabe verstanden werden. Dies erfordert eine Unterstützung und auch aktive Förderung von Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten. Auf diesem Weg kann das Portfolio an möglichen Massnahmen grösser werden. Die Bahn agiert dabei nicht als Forschungsinstitut, begleitet und unterstützt aber Forschungsprojekte.
- Um die Sicherheit und Betriebsstabilität zu gewährleisten und um teure Korrekturen zu vermeiden, werden nur erprobte, umsetzungreife und wirksame Massnahmen umgesetzt. Dabei sollen Massnahmen gegen Lärm auch zur Gesamtoptimierung des Systems (Verfügbarkeit, Pünktlichkeit, LCC, ...) beitragen.
- Der Aufwand für Bewilligungsverfahren soll klein gehalten werden und die Aufmerksamkeit soll auf die Förderung einer leisen Bahn gelegt werden.

Verkehrslärm¹³

- Der Verkehrslärm der Eisenbahnen wird mit Massnahmen an der Quelle begrenzt und netzweite Wirkungen werden punktuellen vorgezogen.
- Schiene und Rad weisen eine geringe Rauheit auf. Dies wird einerseits durch einen optimierten Unterhalt und andererseits durch Bremssysteme erreicht (bspw. Scheibenbremsen, Gleitschutz), welche sich nicht nachteilig auf die Radoberfläche auswirken. Zur Überwachung der akustischen Rauheit werden Messungen durchgeführt und Anforderungen bestimmt.
- Die Schwingungseigenschaften des Oberbaus und der Räder werden optimiert (Dämpfungskomponenten, Radschalldämpfer).

¹³ Lärm, welcher bei der Abwicklung des Eisenbahnverkehrs entsteht.

- Für die Bogenfahrt werden die Kontaktbedingungen zwischen Rad und Schiene durch eine optimierte Trassierung, durch Fahrzeug-Drehgestelle, die die Räder radial einlenken lassen, sowie durch fahrzeugseitige Systeme die den Reibwert zwischen Rad und Schiene modifizieren können, optimiert.
- Störende impulshaltige oder tonale Geräusche bei Weichenüberfahrten und im Bereich von Rangierbahnhöfen werden minimiert. Die dazu erforderlichen Massnahmen werden im Rahmen von Forschungs- oder Pilotprojekten erarbeitet.
- Die Umsetzung der Massnahmen wird durch Anreizsysteme, Ressortforschung und Nutzung von Synergien unterstützt.

Standlärm¹⁴

- Der Lärm in der Abstellung wird bei Bestandesfahrzeugen weiter optimiert, bei Neufahrzeugen im Beschaffungsprozess minimiert. Dieses Ziel wird durch Anreizsysteme (z.B. privilegierte Abstellvorgaben für leise Fahrzeuge) unterstützt.

Raum- und Nutzungsplanung

- Bei Einzonungen und Baubewilligungen in lärmvorbelasteten Gebieten werden die raumplanerischen und architektonischen Möglichkeiten zur Verbesserung der Wohnqualität (Lärmbelastung im Innen- und Aussenraum) ausgeschöpft. Vorgaben und Planungshilfen sollen dieses Ziel unterstützen.

7.4. Umsetzungskonzept mit Anträgen

Im europäischen Rahmen werden betreffend Lärm verschiedene Forschungs- und Entwicklungsthemen bearbeitet. Die wichtigste Organisation hierzu ist ERJU¹⁵ (Europe's Rail Joint Undertaking), wobei auch andere Organisationen wie z.B. die UIC Lärmthemen behandelt. Einige Fragestellungen werden ausreichend angegangen, weshalb sie nicht Bestandteil der nachfolgenden Anträge sind. Dies betrifft insbesondere folgende Themen:

Schienenrauheit: Sowohl die UIC und ERJU (Europe's Rail Joint Undertaking) beabsichtigen in den nächsten Jahren Schienenrauheit genauer zu untersuchen. Die Arbeit beider Organisationen soll die folgenden Aspekte beinhalten: 1) Entwicklung eines Indikators für die Schienenrauheit unmittelbar nach dem Schleifen und 2) Guidelines für das On-Board Monitoring der Schienenrauheit. Diese Arbeiten sollen dazu beitragen, das Schienenschleifen akustisch zu optimieren.

Kurvenkreischen: Ein ERJU-Forschungsvorhaben beabsichtigt Kurvenkreischen besser zu verstehen und zu modellieren.

Gesamtoptimierung für Lärm, Erschütterungen und LCC: In der Fahrbahn bestehen häufig Zielkonflikte zwischen Lärm, Erschütterungen und LCC. ERJU möchte dieses Thema in den nächsten Jahren angehen und Wege finden, wie eine Gesamtoptimierung gefunden werden könnte. Die Erkenntnisse betreffend LCC könnten wertvollen Input für den Antrag 6 dieser Strategie (Optimierung Oberbaukomponenten) liefern.

¹⁴ Lärm, welcher von Fahrzeugen ausgeht, die nicht betriebsbereit sind (z.B. in Abstellanlagen und -gleisen).

¹⁵ https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2023/07/GB-Decision_08_2023_Annex_WP_23-24.pdf

Güterwagenentwicklung: Im Rahmen der Ressortforschung wurden schon diverse Projekte zu Güterwagen finanziert. Und im Shift2Rail Projekt wurden Güterwagenoptimierungen untersucht (FR8RAIL). Auch diverse weitere Arbeiten zur Entwicklung von neuen Drehgestellen wurden durchgeführt.¹⁶

Unsicherheiten bei Messungen und Modellen: Dieses Thema wird von ERJU behandelt, um die Zulassung von neuen Fahrzeugen vermehrt mit Modellrechnungen durchzuführen. Erkenntnisse werden wertvollen Input für den Antrag 4 (Validierte Berechnungsgrundlagen) liefern.

7.4.1. Umsetzbare Lärmreduktionsmassnahmen

Kurzfristig erscheinen zwei Massnahmen umsetzbar, welche den Lärm für die Anwohnenden wahrnehmbar reduzieren könnten. Die Arbeitsgruppe empfiehlt, dass die Umsetzung dieser Massnahmen geprüft wird.

Antrag [1] Lärmschutzwände:

Die wirtschaftlichsten Lärmschutzwände wurden im Rahmen des BGLE realisiert. Jedoch soll auf die möglicherweise kommenden Anpassungen der Lärmschutzverordnung reagiert werden. Sollten zukünftig Zonen mit einer Empfindlichkeitsstufe 3 einer Stufe 2 gleichgestellt werden und/oder generell tiefere Grenzwerte gelten, ist im Rahmen eines netzweiten Sanierungsauftrags unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeits- und Ortsbildaspekten eine Ergänzung mit Lärmschutzwänden zu prüfen. Dies erscheint auch zur Gewährung der Gleichbehandlung angezeigt. Notwendige LSW sind im Rahmen eines spezifischen Lärmschutzprojekts unter Berücksichtigung von allfälligen Infrastrukturprojekten zu realisieren. Dieser Auftrag ist durch das BAV an die ISB gerichtet frühzeitig zu erteilen, so dass die Kosten allfälliger Massnahmen in der LV-Periode 2029-2032 vorgesehen werden können. Je nach definitiv resultierendem Mengengerüst und den realisierbaren Möglichkeiten von Langsamfahrstellen wird der Abschluss des Massnahmenprojekts innerhalb 1-2 LV-Perioden stattfinden können.

Werden keine Anpassungen an der LSV vorgenommen, welche die Wirtschaftlichkeit von Lärmschutzwänden verändern, sollen keine zusätzlichen Wände ausserhalb von Ausbauprojekten beauftragt werden. Dieser Entscheid wurde schon im Rahmen der Projektsteuerung zum BGLE beschlossen.¹⁷

Ziel: Effektiver Lärmschutz von ca. 10 dB mit Lärmschutzwänden im Bereich von Empfindlichkeitsstufen 2.
Organisation: Lead bei BAV, Mitarbeit durch ISB
Termine: Auftrag sobald konkrete Anpassungen der LSV bekannt, Resultat Mengengerüst 1-2 Jahren, Offerte entweder für LV-Periode 2029 – 2032 bis Okt 2026, oder im Rahmen eines anderen Budgets.
Finanzierung: Analysebericht zum Mengengerüst via BGLE (geschätzte Kosten: 200 kCHF), effektive Umsetzung der Lärmschutzwandprojekte via LV (Kostenrahmen erfolgt aus Analysebericht)

Antrag [2] Retrofit hochdämpfende Zwischenlage:

Das BAV beauftragt die ISB zu untersuchen, auf welchen Streckenabschnitten mit dem Einbau von hochdämpfenden Zwischenlagen Anwohnende mit IGW-Überschreitungen geschützt werden können. Es ist eine Priorisierung des Retrofits unter Berücksichtigung der Schutzwirkung (Anzahl Personen) und der

¹⁶ www.laermforschung-eisenbahn.ch (z.B. Projekte LEILA oder 5L Demonstrator), www.projects.shift2rail.org, diverse Untersuchungen (bspw. www.andreabbracciali.it/130/Bogie19_4L_bogie_vs_Y25.pdf und www.railwaypro.com/wp/arco-innovative-bogie)

¹⁷ Beschluss von BAV und BAFU im Rahmen der Projektsteuerung-Sitzung vom 4. Sept. 2019 auf Basis eines SBB-Berichts «Optimierte Massnahmenplanung BGLE 2»

Umbaukapazitäten vorzunehmen. Dieser Retrofit ist für die LV-Perioden ab 2029 – 2032 vorgesehen. Es ist noch nicht bekannt, ob ein solcher Retrofit über spätere LV-Perioden hinaus weitergeführt werden müsste. Bei der Analyse sind die Ergebnisse des parallel durch die SBB gestellten Request for Information (RFI) zu berücksichtigen. Die Industrie wird möglicherweise Produkte anbieten, welche sich in der Wirkung von den bisher gemessenen unterscheiden könnten.

Ziel: Effizienter Lärmschutz von ca. 1 - 2 dB (oder evtl. mehr) durch eine Optimierung der Schienenschwingung mit hochdämpfenden Zwischenlagen im Bereich von Grenzwertüberschreitungen.

Organisation: Lead bei BAV, Mitarbeit durch ISB evtl. im Rahmen der Systemaufgaben

Termine: Auftrag bis Anfang 2025, Resultat Mengengerüst bis Anfang 2026, Offerte für LV-Periode 2029 – 2023 bis Okt 2026.

Finanzierung: Analysebericht zum Mengengerüst via BGLE (geschätzte Kosten: 100 kCHF), effektive Umsetzung der Retrofitprojekte via LV (Kostenrahmen erfolgt aus Analysebericht)

7.4.2. Pflege der unterstützenden Umgebung

Neben den konkreten Lärmreduktionsmassnahmen empfiehlt die Arbeitsgruppe die Bearbeitung folgender drei Themenbereich zur Unterstützung der Entwicklung weiterer Lärmreduktionsmassnahmen.

Antrag [3] Überwachungs- und Interventionssystem Radfehler (Flachstellen):

Damit der Betriebszustand der Radqualität systematisch und permanent ermittelt werden kann, sind im Auftrag des BAV ausgewählte Zugkontrolleinrichtungen (ZKE) mit einer Sensorik auszurüsten, damit mit Hilfe einer Signalanalyse die Radabwicklung (Radrauheit) präzise ermittelt werden kann. Die erfassten Daten werden den zuständigen Wagenhaltern (evtl. via EVU) zeitnah übermittelt, damit diese die notwendigen Unterhaltsmassnahmen ergreifen können. In einem ersten Schritt ist ein Prototyp zu entwickeln.

Ziel: Kenntnis des Radzustandes im laufenden Betrieb zur Optimierung der Unterhaltskonzepte und Verbesserung der Emissionsmodelle.

Organisation: Lead bei BAV, Mitarbeit durch ISB

Termine: Auftrag bis Ende 2024, Prototyp bis Mitte 2026

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten für einen Prototypen: 300 kCHF)

Antrag [4] Vorhaltung/Pflege validierter Berechnungsgrundlagen:

Als Basis für die korrekte Ermittlung der tatsächlichen und zukünftigen Lärmbelastung sind validierte Modelle mit aktualisierten Modellparametern zwingend notwendig. Es besteht die Möglichkeit, dass diese Modellgrundlagen und die damit ermittelten Emissionen und Immissionen im Rahmen einer Übertragung von Systemaufgaben gepflegt werden. Gleichzeitig müssen die Berechnungen mit permanenten Messungen (Monitoring) validiert werden. Sollte eine solche Organisation der Systemaufgaben nicht realisiert werden, müssten diese Aufgaben anderweitig sichergestellt werden.

Ziel: Belastbare Grundlage für die Lärmbeurteilung und die darauf aufbauenden Massnahmenpriorisierungen.

Organisation: Lead bei BAV/BAFU, Mitarbeit durch ISB

Termine: Auftrag bis Ende 2025

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten für Vorhaltung: 50 kCHF/Jahr)

Antrag [5] Permanenter Runder Tisch der relevanten Stakeholder:

Für die Erarbeitung von Kompromissen und das Finden von Synergien ist jährlich ein Runder Tisch durchzuführen. In einem Arbeitskreis mit Vertretern der Bahnwelt (EVU, ISB, Industrie), der Behörden (BAV, BAFU, ARE, CercleBruit, Städte), der Forschung (Hochschulen) und der Betroffenen (Lärmliga) soll der aktuelle Stand der Lärmbelastung und der möglichen Lärmschutzmassnahmen thematisiert werden. Dies soll einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) des Lärmschutzes stärken.

Ergänzend ist in einem engeren Fachkreis von Lärmexperten des Bundes und der Bahnen ein regelmässiger und institutionalisierter Austausch zu pflegen.

Ziel: Gemeinsames Verständnis der Ursachen, der Randbedingungen, der Bedürfnisse und der Möglichkeiten zur Stärkung eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.

Organisation: Lead beim BAV

Termine: jährlich ab 2025 (geschätzte Kosten: 10 kCHF/Jahr)

7.4.3. Aufträge für Forschung und Entwicklung

Aus Sicht der Arbeitsgruppe gibt es Wissenslücken, bei denen davon auszugehen ist, dass eine Bearbeitung nur erfolgt, wenn das BAV einen Forschungsauftrag erteilt. Neben den folgend aufgeführten können weitere Forschungsprojekte aus den Resultaten neuer Untersuchungen entstehen. Dieser Bedarf kann im Rahmen der periodischen Überprüfung der Lärmstrategie ermittelt werden (vgl. Kap. 6.2).

Antrag [6] Modellbasierte Entwicklung lärmoptimierter Oberbaukomponenten:

Im durch die Ressortforschung finanzierten Projekt «Track Evaluation» sind Parameterstudien des akustischen Einflusses von Gleiskomponenten möglich. Dieses Projekt soll im Fortsetzungsprojekt ToPNoise (Tool for the Prediction of Railway Noise) mit dem Modell sonRAIL2x kombiniert werden, womit die Gleiskomponenten auch hinsichtlich Gesamtlärm (d.h. inklusive Fahrzeuge) beurteilt werden können. Mit einem einfachen Indikator sollen auch Erschütterungen und LCC qualitativ erhoben werden können. Zusammen mit dem Fahrbahnlabor (Sempach) entsteht damit eine Modellumgebung, welche die modellbasierte Entwicklung von lärmoptimierten Oberbaukomponenten erlaubt. So können z.B. konkrete Eigenschaften der Komponenten (Steifigkeit, Dämpfung, Biegemodul usw.) vorgängig bestimmt werden, welche dann als Input für die Entwicklung der optimierten Komponenten dienen. Erst in einer zweiten Phase würden die vorgeschlagenen Komponenten im Gleis eingebaut und in der Praxis geprüft.

In einem ersten Schritt soll in dieser neu kombinierten Modellumgebung der Stahlschwellenoberbau auf Optimierungen hin analysiert werden. Insbesondere auf Nebenstrecken ist der Stahlschwellenoberbau weit verbreitet. Da ein Ersatz mit einem Betonschwellenoberbau zu sehr grossen Investitions- und Folgekosten führt, gibt es keine Bestrebungen in diese Richtung. Stahlschwellen sind selten im Fokus, da diese i.d.R. nur als 1:1 Ersatz in Projekten vorkommen. Aufgrund des geringen Verkehrs auf Stahlschwellen sind die aktuellen Grenzwerte selten überschritten. Durch eine Verschärfung der Grenzwerte wird sich das aber ändern. Es macht deshalb Sinn, den Stahlschwellenoberbau leiser zu gestalten.

Dafür muss als erstes die Ursache der erhöhten Lärmemissionen geklärt sein. Und auf dieser Basis wären mögliche Massnahmen zu erarbeiten.

In Folgeschritten sollen weitere Oberbaukomponenten auf ähnliche Weise modellbasiert optimiert werden. Sobald Produkte die Serienreife erreicht haben, können diese im Rahmen von Fahrbahnerneuerungen und Neubauten eingesetzt werden.

Ziel: Lärmoptimierte Oberbaukomponenten insbesondere in einem ersten Schritt betreffend dem Stahlschwellenoberbau.

Organisation: Lead beim BAFU, Mitarbeit durch Hochschulen und ISB

Termine: Auftrag bis Ende 2025 (resp. nach Abschluss des Folgeprojekt Track Evaluation). Projektabschluss Ende 2027.

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten für eine modellbasierte Optimierung des Stahloberbaus: 100 kCHF), Folgeprojekte via BIF

Antrag [7] Entwicklung umweltfreundlicher Reibungsmodifikatoren:

Reibungsmodifikatoren (Mittel zur Beeinflussung der Reibung zwischen Schiene und Rad) sind ein wichtiges Hilfsmittel zur Verbesserung des Rad-Schiene-Kontakts. Aktuell unterliegen solche Mittel Patenten und Firmenteilnehmern. Das vermehrte Ausbringen der in ihrer Zusammensetzung nicht vollständig bekannten Mittel kann durch das Auswaschen ins Grundwasser, bei der Wiederverwertung und Entsorgung des Schotter oder bei der Wiederaufnahme durch Pflanzen und Tiere zu einer nicht akzeptablen Umweltbelastung führen. Es ist deshalb notwendig, dass Mittel mit definierten Reibungseigenschaften durch Forschungsinstitute entwickelt werden, welche umweltfreundlich sind und patentfrei weiträumig eingesetzt werden können. Die Erwartung ist, dass mit optimierten Reibungskräften einerseits der Schienen- und Radzustand verbessert wird und andererseits insbesondere Bogenfahrten idealer ablaufen. Beides führt zu einem generell tieferen Emissionsniveau. Je nach Anwendungsfall müssen Mittel für fahrzeugseitige (onboard) und infrastrukturseitige (stationär) einsetzbar sein.

Ziel: Verbesserter Rad-Schienen-Kontakt zur Schonung der Berührflächen und Verminderung von dadurch induzierten erhöhten Lärmemissionen.

Organisation: Lead beim BAFU, Mitarbeit durch Hochschulen, EVU und ISB

Termine: Auftrag bis Ende 2025. Projektabschluss Ende 2027.

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Produktentwicklungskosten: 600 kCHF)

Antrag [8] Lärmarmen Rangierbahnhof:

Der Güterverkehr ist nicht nur beim Fahrlärm in der Nacht der Hauptemittent. Auch das Formieren der Güterzüge in den grossen Rangierbahnhöfen findet zu einem beträchtlichen Teil nachts statt und ist durch impulsartige und hochfrequente Geräusche charakterisiert, welche eine weiträumige Störwirkung aufweisen. Um die Akzeptanz des Betriebs der Rangierbahnhöfe zu verbessern sind Optimierungsmassnahmen notwendig. Aktuell gibt es keine technisch befriedigenden Konzepte, welche die Kreischgeräusche verhindern. Es sollten

Massnahmen entwickelt werden, um den Lärm im Rangierbahnhof markant zu reduzieren. Dafür müssen insbesondere die genauen Ursachen für laute Kreischer ermittelt und der Bremsablauf optimiert werden.

Ziel: Verhinderung von unangenehmen und weit wahrnehmbaren tonalen Emissionen aus dem Rangierbereich und Erhöhung der Akzeptanz der nächtlichen Güterverkehrsabwicklung im Siedlungsbereich.
Organisation: Lead beim BAFU, Mitarbeit durch Hochschulen, EVU und ISB
Termine: Auftrag bis Ende 2024. Projektabschluss Ende 2027.
Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten: 200 kCHF)

7.4.4. Förderung eines angepassten Umgangs in lärmbelasteten Gebieten

Da es nicht möglich ist, in absehbarer Zeit die aus medizinischer Sicht erwünschten Lärmgrenzwerte netzweit einzuhalten, verbleiben noch über Jahrzehnte viele zehntausend Anwohnende durch Eisenbahnlärm gestört. Diese Störwirkung führt zu Stressreaktionen, welche ungesund sind. Um diesen Stress zu reduzieren, sind nicht nur Massnahmen möglich, welche den Lärmpegel senken. Der Staat sollte deshalb die Verantwortung wahrnehmen und dabei helfen, den negativen Einfluss auf die Gesundheit der betroffenen Bevölkerung mit evaluierten Empfehlungen, Konzepten und Hilfsmitteln zu reduzieren.

Antrag [9] Angepasste Raumgestaltung und optimierte Architektur

Eine Arbeitsgemeinschaft von Architekten, Psychologen und Raumakustikern evaluiert und dokumentiert Konzepte, welche eine angepasste Erstellung und räumliche Konzeption von Wohnungen in durch die Bahn (und die Strasse) lärmbelasteten Gebieten ermöglichen, in einem Synthesebericht. Die Arbeit kann auf bestehenden Grundlagen aufbauen (z.B. Kantonale Empfehlungen¹⁸) und soll dabei den Fokus auf eine Minimierung der Stressfaktoren für die BewohnerInnen durch übermässigen Eisenbahnlärm legen. Auch eine akustisch optimierte Wohnungseinrichtung (Vorhänge, Teppiche, Akustikelemente), Noise Cancelling Möglichkeiten und die Überdeckung durch Rauschfarben (z.B. Braunes Rauschen) sollen evaluiert werden. Im Sinne einer Synergie kann der Bericht sowohl für den Strassen- und Eisenbahnlärm gemeinsam erstellt werden. Auf die teilweise vorhandenen Eigenheiten der unterschiedlichen Lärmquellen soll aber eingegangen werden.

Ziel: Handbuch für lärmoptimiertes Bauen und Wohnen im Lärmbereich der Bahn zur Verhinderung einer Ohnmachtssituation bei den Lärmbetroffenen.
Organisation: Lead beim ARE, Mitarbeit: Hochschulen, Architektur- und Akustikbüros
Termin: Auftrag bis Ende 2024. Projektabschluss Ende 2025.
Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten: 50 kCHF)

Antrag [10] Angepasste Siedlungsstruktur und Verhaltensweisen

Eine Arbeitsgemeinschaft von Raum- und Siedlungsplanern sowie Sozialwissenschaftlern stellen aufbauend auf schon durchgeführten Studien (z.B. Lärminfo 17¹⁹ und 19²⁰ der Fachstelle Lärmschutz des Kanton Zürich

¹⁸ Kantonale Websites: bauen-im-laerm.ch und baukultur-laerm.ch

¹⁹ Klangraumgestaltung: Chancen im Lärm, Lärminfo 17: Fünf Fallbeispiele im urbanen Raum des Kantons Zürich, Baudirektion Kanton Zürich, Mai 2012 (vgl. auch Website: klanglandschaften.ch)

²⁰ Arbeitshilfe: Frag die Fledermaus, Lärminfo 19: Fünf Werkzeugkästen zur Klangraumgestaltung, Baudirektion Kanton Zürich, März 2013

und div. Studien im Auftrag des BAFU²¹ insbesondere Seminar «Akustische Qualität für Stadt- und Siedlungsräume») konkrete Empfehlungen für die Siedlungsgestaltung im belärmten Bahnbereich in einem Synthesebericht zusammen. Ergänzt werden sollen die Konzepte mit Empfehlungen für die Optimierung von Verhaltensweisen in einem betroffenen Quartier zur Stressreduktion bei den Anwohnenden. Ebenfalls sollen mögliche Synergien zur Verhinderung von Hitzeinseln und zur Förderung der Biodiversität integriert werden.²² Die folgenden beiden Anträge sollen die Umsetzbarkeit von solchen Anpassungsmassnahmen im Rahmen von zwei Pilotprojekten exemplarisch aufzeigen.

Ziel: Handbuch mit konkreten Empfehlungen für Anpassungen der Strukturen und Verhaltensweisen zur Minimierung der Störwirkung insbesondere in bahnlärmbelasteten Gebieten. Dokumentation der Ergebnisse in einem Handbuch für Behörden, Planer und die interessierte Öffentlichkeit mit Hilfsmitteln für die Unterstützung angepasster Siedlungsstrukturen und Lebensgewohnheiten.

Organisation: Lead beim ARE, Mitarbeit: BAFU, Hochschulen, Planungsbüros

Termine: Auftrag bis Ende 2024. Projektabschluss Ende 2025.

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten: 100 kCHF)

Antrag [11] Pilotprojekt: Ruheinsel

Im Sinne einer exemplarischen Umsetzung der Empfehlungen aus Antrag [9] soll in einem stark durch Eisenbahnlärm belasteten Gebiet eine Ruheinsel installiert oder aufgewertet werden. Mit einer begleitenden soziologischen Studie soll der Nutzen der Massnahme für die Anwohner evaluiert werden.

Ziel: Konkretes Umsetzungsprojekt einer Ruheinsel, welche die Wirksamkeit einer solchen Massnahme dokumentiert.

Organisation: Lead beim BAFU, Mitarbeit: Hochschulen, Planungsbüros

Termine: Auftrag bis Ende 2025. Projektabschluss Ende 2026.

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten für einen Bericht zu generellen Umsetzungsmöglichkeiten: 100 kCHF)

Antrag [12] Pilotprojekt: Klangraum

Im Sinne einer exemplarischen Umsetzung der Empfehlungen aus Antrag [9] soll ein stark durch Eisenbahnlärm belastetes Gebiet akustisch so verändert werden, dass der Lärm weniger störend wahrgenommen wird. Mit einer begleitenden soziologischen Studie und akustischen Messungen soll der Nutzen der Massnahme für die Anwohner evaluiert werden.

Ziel: Konkretes Umsetzungsprojekt einer Klangraumgestaltung, welche die Wirksamkeit einer solchen Massnahme dokumentiert.

Organisation: Lead beim BAFU, Mitarbeit: Hochschulen, Planungsbüros

Termine: Auftrag bis Ende 2025. Projektabschluss Ende 2026.

Finanzierung: Ressortforschung (geschätzte Kosten für einen Bericht zu generellen Umsetzungsmöglichkeiten: 100 kCHF)

²¹ BAFU-Website: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/fachinformationen/massnahmen-gegen-laerm/raumplanerische-massnahmen-gegen-laerm.html>

²² Vgl. Artikel zur Klangraumgestaltung in «Umwelt Aargau, Nr. 92», Mai 2023. <https://www.ag.ch/umwelt-aargau/pages/ausgabe.asp?sortierung=920>

Übersicht zur Zeitschiene der Anträge

Die folgende Abbildung zeigt einen Überblick der zeitlichen Einordnung obiger Anträge inkl. der Herkunft der möglichen Finanzierungsmittel.

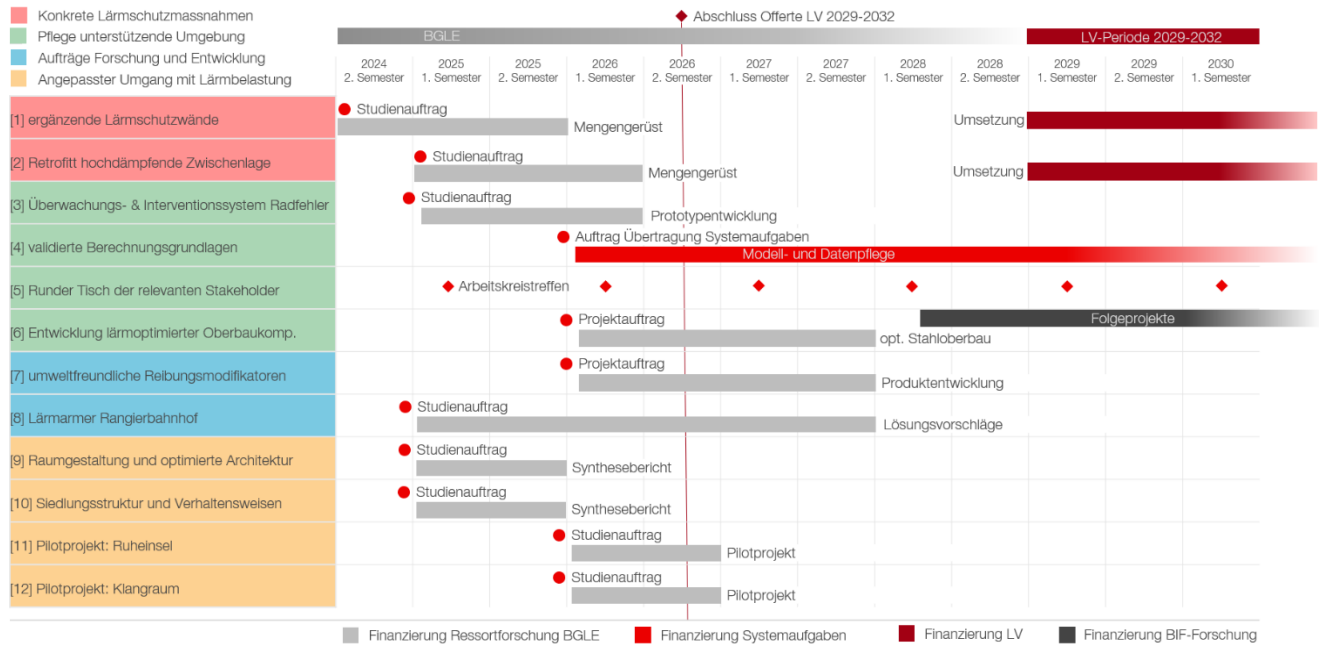


Abbildung 29: Zeitschiene der im Rahmen der Anträge formulierten Projekte inkl. Herkunft der Finanzierungsmittel.

A. Anhänge

A1. Empfohlene Massnahmen

Massnahme	Beschreibung	Bewertung
Verhinderung eines ungewohnt lauten Oberbaus (Bsp. Walenstadt)	Verhinderung übermässig lauter Oberbauten (Bsp. Walenstadt). Beinhaltet in einem ersten Schritt die Ursachenerforschung an einem konkreten Gleis.	Da sich das fehlende Verständnis für die Oberbaudifferenzen sehr stark auf die Modellunsicherheit auswirkt und das Emissionsreduktionspotential offenbar gross ist, sollte diese Untersuchung prioritär erfolgen.
Verständnis zur Auswirkung der Gesamtrauheit	Verständnis der Interaktion von Rad- und Schienenrauheit. Wann ist welcher Teil dominierend und welche Rauheiten führen zu grösseren Störwirkungen.	Um zu verhindern, dass zu viele Ressourcen in eine falsch gerichtete Verbesserung der Schienenrauheit gesteckt werden, sind die Erkenntnisse wichtig.
Überwachung Radfehler	Mit dieser Massnahme kann netzweit eine Lärmoptimierung erfolgen, welche einerseits den Lärmpegel und andererseits das Störpotential reduziert. Die Massnahme erfordert eine technisch anspruchsvolle Detektion der akustischen Radfehler und bezieht die EVU mit ein. An zwei ZKE-Anlagen stehen die technischen Hilfsmittel als Prototyp schon zur Verfügung.	Falls mit der inzwischen guten Schienenpflege der Einfluss des Radflächenzustandes wieder grösser wird, sollte die Erfassung und Verbesserung dieses Zustandes prioritär umgesetzt werden.
Retrofit mit neuen Zwischenlagern	Bestehende Zwischenlagern werden mit neuen, leiseren Zw ersetzt.	Gute Möglichkeit für eine kleine, aber grossflächige Lärmreduktion. Als Ergänzung zu anderen Massnahmen einfach umsetzbar.
Lärm- und LCC-Optimierung der Gleiskomponenten	Optimierung des Zusammenspiels hinsichtlich Dynamik aller Gleiskomponenten für die Lärmreduktion und LCC und daraus abgeleitet konkrete Lärmoptimierungen einzelnen Komponenten.	Langfristig wichtige Aufgabe, um das vorhandene Optimierungspotential ausschöpfen zu können. Insbesondere beim lärmintensiven Stahlschwellenoberbau können Verbesserungen zu einer Lärmentlastung von ländlicheren Nebenstrecken führen.
LSW Aufsätze, Helmholtz Resonatoren etc.	Helmholtzresonatoren auf LSW	Nur prüfenswert, wo eine Erstellung oder Erhöhung einer Standard-LSW nicht möglich ist. Thema im Ausland verfolgen aber vorderhand keine eigenen Versuche durchführen. Falls möglich, Forschung unterstützen.
Ausgleichsmassnahmen	Weil die Lärmwirkung von der Einstellung zur Lärmquelle abhängt, kann mit guter Nachbarschaftspflege die Störwirkung vermindert werden (z.B. mit SBB Gutscheinen für besonders Lärmgeplagte oder Finanzierung einer Ersatzmassnahme in einem Quartier (Bsp. Spielplatz, Grillplatz)).	Vielfach wird eine Störung weniger stark wahrgenommen, wenn sie durch den Verursacher anerkannt wird. Option weiter vertiefen und im Rahmen eines Pilotprojekts umsetzen. Insbesondere dort interessant, wo keine weiteren Lärmreduktionsmassnahmen möglich sind.
Ersatz von Verbundstoffsohlen durch Scheibenbremsen bei Güterwagen	Die Drehgestelle von Güterwagen werden mit solchen mit Scheibenbremsen ersetzt	Die Wirkung der Massnahme muss erwiesen sein, in einer Gesamtschau zur Güterverkehrsentwicklung betrachtet werden und ist mit vielen Unwägbarkeiten verbunden.

Resilient Wheels	Gummi Elemente im Rad. Veränderte Radkonstruktion. Aktuell sind solche Radkonstruktionen bei Vollbahnen nicht üblich, bei Strassenbahnen hingegen schon.	Im Austausch mit den EVU und den Rollmaterialherstellern sollte der Einsatz und die Wirkung solcher Räder vertieft werden.
Radschallabsorber	Radabsorber bestehen aus Stapeln von festen, schweren Metallplatten, welche durch elastische, leichte Elastomerschichten voneinander getrennt werden und auf der Radoberfläche befestigt werden.	Im Austausch mit den EVU und den Rollmaterialherstellern sollte der Einsatz und die Wirkung von Absorbieren vertieft werden. Auch sollte geklärt werden, ob es Synergien mit Radscheibenbremsen gibt.
optimierter Schienenquerschnitt	Schiene mit "integriertem Schienendämpfer"	Im Unterschied zu zusätzlichen Dämpfungselementen kann ein dämpfungsoptimierter Schienensteg vermutlich ohne negative Auswirkungen auf den Schienenunterhalt und die Schienenüberwachung realisiert werden.
Exakte Periodizität durchbrechen	Periodizität durchbrechen zur Verhinderung von ausgeprägten Eigenfrequenzen. Beispiel ungleiche Schwellenabstände, ungleiche Zwischenlagenbreite, ungleiche Zwischenlagensteifigkeit, variables Schienenprofil. Generell chaotische Muster fördern. Auf einer Teststrecke (Fahrbahnlabor) oder in einem Modell können die Wirkungen bestimmt werden.	Die Wirkung der Massnahme muss erwiesen und in einem standardisierten Gleisbau- und Gleisunterhaltsprozess umsetzbar sein. In Modellen zur dynamischen Schwingungsanalyse sind auf theoretischer Basis mit vertretbarem Aufwand erste Berechnungen möglich. Eine tatsächliche Umsetzung dürfte mit vielen Unwägbarkeiten verbunden sein.
Active Noise Cancelling für stationäre Lärmquellen	ANC für stationäre Lärmquellen. Abgestellte Züge, Kurvenkreischen, Weichenschlagen.	ANC wird in anderen Bereich schon erfolgreich eingesetzt. Ob die exponierte Positionierung im Gleisumfeld sinnvoll möglich ist, müsste mit der Industrie überprüft werden.
Schienenrauheit überwachen, um erhöhte Rauheit zu verhindern	Die Schienenrauheit wird flächendeckend überwacht. Bei Auffälligkeiten kann die Schiene geschliffen werden, respektive können Massnahmen getroffen werden, damit das zukünftige Wachstum der Schienenrauheit reduziert wird. Die aktuellen Schleifkonzepte sehen eine sehr hohe Kadenz der Schleifintervalle vor. Es ist nicht realistisch, zusätzliche Schleifintervalle aufgrund einer gemessenen erhöhten Rauheit durchzuführen.	Die Massnahme ist eher im Sinne einer Verhinderung einer unnötig rauen Schiene umzusetzen. Dies bedingt, dass (zB mit Hilfe einer netzweiten Rauheitserfassung) die Ursachen für die Entwicklung einer ungünstigen Schienenrauheit gefunden werden. Gleichzeitig muss sichergestellt sein, dass die Radrauheit nicht sowieso dominiert. Bei der aktuellen intensivierten Schienenpflege ist eine grössere Dominanz der Radrauheit zu erwarten.
Schwellen akustisch optimieren	Durch die Veränderung des Schwingverhaltens der Schwellen kann eine Lärmreduktion des Oberbaus erzielt werden. Es sind Beeinflussungen auf Basis von Schwellenbesohlungen und/oder Schwellengeometrien denkbar.	Das Thema ist im Rahmen von Oberbauveränderung und Oberbausimulationen weiter zu verfolgen.
Kurvengeräusche/Bogentras-sierung optimieren	Die Überhöhung in Kurven muss bestmöglich mit der von der Mehrzahl der Züge effektiv gefahrenen Geschwindigkeit zusammenpassen. Unter Umständen ist in Einzelfällen die Überhöhung auf ein akustisches Optimum einzustellen und damit die zulässige Höchstgeschwindigkeit zu reduzieren.	Das Thema kann im Rahmen von verbesserten Modellvorstellung weiterverfolgt werden. Dafür wird vermutlich zuerst eine präzise messtechnische Erfassung von unterschiedlichen Bogenlärmsituationen erforderlich sein.
Beschaffung von leisem neuen Rollmaterial	Neues Rollmaterial sollte nach dem Stand der Technik leise verkehren. Die Branche könnte sich bei der	Im Sinn und Geist des Vorsorgeprinzips müssten unabhängig der TSI-Grenzwerte der technische

	<p>Beschaffung verpflichten strengere Lärmwerte als nach TSI zulässig auszuschreiben (Rollgeräusch, Geräusche von Aggregaten im Fahrbetrieb, Lärm bei der Abstellung).</p> <p>Gefahr reduzieren, dass neue Fahrzeuge wieder lauter werden. Heutige Personenzüge und Güterwagen sind idR unter TSI.</p>	<p>State of the Art von den Rollmaterialherstellern gefordert und zusammen mit ihnen Optimierungen gefördert werden.</p>
Aggregatsgeräusche bei fahrenden Lokomotiven und Triebzügen minimieren	<p>Bei tiefen Fahrgeschwindigkeiten kann das Geräusch von Aggregaten gegenüber dem Rollgeräusch dominant werden. Es ist sicherzustellen, dass Fahrzeughersteller die technisch möglichen Massnahmen treffen, damit dies nicht oder möglichst wenig geschieht.</p>	<p>Im Sinn und Geist des Vorsorgeprinzips müssten unabhängig der TSI-Grenzwerte der technische State of the Art von den Rollmaterialherstellern gefordert und zusammen mit ihnen Optimierungen gefördert werden.</p>
Minimierung von Stillstands-lärm bei der Fahrzeugkonstruktion	<p>Der Lärm von stillstehenden Fahrzeugen wird einerseits durch die Kühlung der Fahrmotoren bestimmt und andererseits durch die Kühlung der Fahrgasträume. Die Positionierung der Lüftungsanlagen im Dachbereich mit ungehinderter Schallabstrahlung zu den Anwohnern ist schon im Rahmen des Fahrzeugbaus zu verhindern. Idealerweise werden über lärmreduzierende Lüftungsgitter die Luftströme gegen aussen im Bodenbereich vorgesehen oder auf dem Dachbereich sind Lärmabschirmung einzuplanen, deren Wirkung mit ANC maximiert wird.</p>	<p>Im Sinn und Geist des Vorsorgeprinzips müssten unabhängig der TSI-Grenzwerte der technische State of the Art von den Rollmaterialherstellern gefordert und zusammen mit ihnen Optimierungen gefördert werden.</p>
Konsequente Bogenfreundlichkeit der Drehgestelle	<p>Drehgestelle, welche sich im Bogen entweder passiv oder aktiv einstellen, schonen die Infrastruktur und die Radfläche, was zu reduzierten Lärm- und Erschütterungsemissionen führt.</p>	<p>Eine Optimierung der Interaktion Fahrzeug/Fahrbahn sollte schon im Beschaffungsprozess vorgesehen werden.</p>
lärmoptimiertes Drehgestell Güterverkehr	<p>Durch Gewichtsreduktionen und bessere Feder- und Dämpfungselemente bei den Drehgestellen können Güterwagen leiser werden.</p>	<p>Durch das GG-Verbot sind die Radflächen der Güterwagen glatter geworden. Eine weitere deutliche Lärmreduktion dürfte nur durch eine Modernisierung des Drehgestells erreichbar sein.</p>
verhindern von Flachstellen bei Güterwagen (Gleitschutz)	<p>Ein Gleitschutz oder ein optimiertes Zusammenspiel der Bremsleistungen der einzelnen Wagen im Zugverband kann die Blockierung eines Rades und die damit einhergehende Bildung einer schlagenden Flachstelle verhindern.</p>	<p>Da die schlagenden Geräusche von Flachstellen insbesondere nachts sehr störend sind, muss die Häufigkeit nachhaltig reduziert werden.</p>
Aufbringen von Reibungsmodifikatoren in Bögen durch Fahrzeuge (onboard)	<p>Schienenkopfkonditionierung (SKK) mit Onboard-Systemen auf Regelfahrzeugen. Mittel in Bögen systematisch auftragen lassen, um die Reibung zu optimieren. Mit der Absicht die Entstehung von Riffeln in Kurven zu verlangsamen und die Bogengeräusche zu minimieren. Als Ergänzung der schon bestehenden Spurkranzschmierung (SKS).</p>	<p>Sobald umweltfreundliche Mittel zur Reibungsmodifikation vorliegen, sollte diese Massnahme weiter vertieft werden.</p>
Unsicherheitsbestimmung des Lärmmonitoring	<p>Das Lärmmonitoring mit Stichprobenmessungen und netzweiten Modellrechnungen weist eine Unsicherheit auf. Diese ist zu bestimmen, um das Vertrauen in das Monitoring zu erhöhen und die Grundlagen für</p>	<p>Valide und transparente Emissionsberechnungen sind zentral für die Bestimmung der effizientesten und effektivsten Lärmreduktionsmassnahmen.</p>

	die Einstufung der Relevanz festgestellter Abweichungen zu schaffen.	
Einhaltung Emissionswerte der TSI-Abnahmemessung im Betrieb	Sicherstellen, dass Fahrzeuge auch nach der Abnahmemessung im späteren Betrieb nicht lauter werden.	Hinweise, ob eine Zunahme der Lärmwerte im Betrieb erfolgt, können mit dem BAV-Lärmmonitoring gewonnen werden.
Fahrbahndynamik überwachen und lärmoptimieren	Netzweite Überwachung der Fahrbahnelastizität zur Erkennung von potenziell unnötig lauten Oberbauabschnitten. Dies beinhaltet neben den dynamischen Eigenschaften des Oberbaus (Superstructure) auch die des Unterbaus (Substructure).	Erst die Kenntnis relevanter Unterschiede kann Hinweise auf ein Verbesserungspotential liefern. Deshalb ist eine systematische Erfassung dieser Dynamik wertvoll.
Minimierung von Kreischgeräuschen bei Rangierbahnhöfen	Verbesserter Ablauf der Fahrzeuge über die Bremsanlagen der Rangierbahnhöfe und Optimierungen der Bremsvorgänge zur Minimierung der Kreischgeräusche.	Hauptstörquelle bei Rangierbahnhöfen sind die Kreischgeräusche. Die Akzeptanz des nächtlichen Rangierlärms könnte durch eine Reduktion deutlich erhöht werden.
Weiterentwicklung Lärmbonus	Der Lärmbonus war viele Jahre ein Teil der netzweiten Lärmsanierung. Die Wirkung ist dabei umstritten und schwierig messbar. Aus politischen Gründen soll der bestehende Lärmbonus auch nach 2025 vorerst beibehalten werden, um das austarierte Finanzierungssystem des Güterverkehrs nicht in ein Ungleichgewicht zu bringen. Das Ziel des BAFU den Lärmbonus nur noch für Güterwagen mit Scheibenbremsen und leise Lokomotiven auszurichten, wird deshalb im Moment nicht realisiert werden können.	Evtl. entscheidender Multiplikatoreffekt für Massnahme "Überwachung Radfehler". Isoliert betrachtet vermutlich aber nicht besonders effektiv. Die gesicherte Erkenntnis, dass sich die akustische Pflege des Rades durch eine längere Lebensdauer auszahlt, ist die bessere Motivation für die EVU.

A2. Nicht empfohlene Massnahmen

Massnahme	Beschreibung	Bewertung
Weitere Lärmschutzwände, 4 m Abstand zur Gleismitte	Erstellung weiterer LSW um Grenzwerte einzuhalten	Teure, aber effektive Massnahme. Sollten in Zukunft strengere Grenzwerte (Stichwort EKLB) gelten, dürften an vielen Standorten neue LSW ein Thema werden.
Niedrige, Gleisnahe LSW	LSW mit geringerer Höhe näher als 4 m zum Gleis	Wegen Sicherheit und Unterhalt auf diese Massnahme verzichten
Helmholtz Resonatoren neben Gleis (Bankett)	Helmholtzresonatoren neben Gleis ohne LSW	Thema im Ausland verfolgen aber vorderhand keine eigenen Versuche, da kein Use-Case erkennbar und die Wirkung durch Verschmutzung rasch abnimmt. Die Unterhaltsprobleme (auch bei Stopfmassnahmen) erscheinen unverhältnismässig.
Radgeometrie optimieren	Bei Optimierung der Radgeometrie Lärm berücksichtigen.	Im Moment erscheinen andere Massnahmen am Rad einfacher realisierbar.

Radschürzen (Bogie Skirts)	Schürzen, welche die Räder möglichst stark abschirmen.	Radschürzen wären nur in Verbindung mit niedrigen LSW sinnvoll. Die Probleme betreffend Lichtraumprofil und Detektion von Heissläufern sind für eine generelle Anwendung zu gross.
Schienenendämpfer	Dämpfer werden an der Seite der Schiene befestigt.	Dämpfer wurden bei der SBB eingehend geprüft und als nicht sinnvoll erachtet.
Schienenabschirmung	Elemente zur Abschirmung des Lärms von der Schiene werden am Schienensteg befestigt	Wirkung nicht erwiesen, Probleme bei Unterhalt und Diagnostik. Massnahme nicht weiterverfolgen.
Intelligente Steuerung von akustischen Signalisationen	Personenabhängige Aktivierung von Lautsprecherdurchsagen und Türpiepsgeräuschen.	Im Moment keine grössere Relevanz erkennbar.
Komplette Ausschaltung von abgestellten Zügen	Abgestellte Züge sollen zukünftig so ausgerüstet sein, dass sie bei der Abstellung komplett ausgeschaltet werden können. In grösseren Abstellanlagen ist vorzusehen die Züge von extern zu klimatisieren und bei Bedarf mit Druckluft zu versorgen. Die Inbetriebnahme solcher Züge kann zeitlich minimiert werden.	Die komplette Abschaltung erscheint als generelle Massnahme nicht realistisch. Es gibt gute Gründe für ein Standby der Elektronik und der Sicherheitstechnik. Der Fokus sollte auf die Verhinderung von störenden Lüftergeräuschen gelegt werden. Der Massnahmenvorschlag "Minimierung Stillstandlärm" ist deshalb zielführender. Diese Massnahme würde auch helfen bei stillstehenden Zügen im Betrieb.
Kurvengeräusche stationär reduzieren (Reibungsmodifikator)	Nicht am Fahrzeug, sondern an den Gleisen stationierte Geräte zur Modifikation der Reibung.	Die bisherigen Schmieranlagen waren in der Wirkung enttäuschend. Idealerweise wird die Kurvengeometrie und die Radlenkung so aufeinander abgestimmt, dass keine zusätzlichen Reibungsmodifikatoren notwendig sind.

A3. Genereller Ablauf eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts

Im Rahmen der Erstellung dieses Berichts wurde auch ein möglicher Prozess eines Forschungsvorhabens entwickelt. Der Leitgedanke dabei war, zu gewährleisten, dass zielorientierte Forschung betrieben wird, welche auf bestehenden Forschungsergebnissen aufbaut. Der Prozess soll die Unterstützung von Forschungsprojekten nicht unnötig erschweren, sondern die Zielerreichung (zusätzlicher Lärmschutz) optimieren.

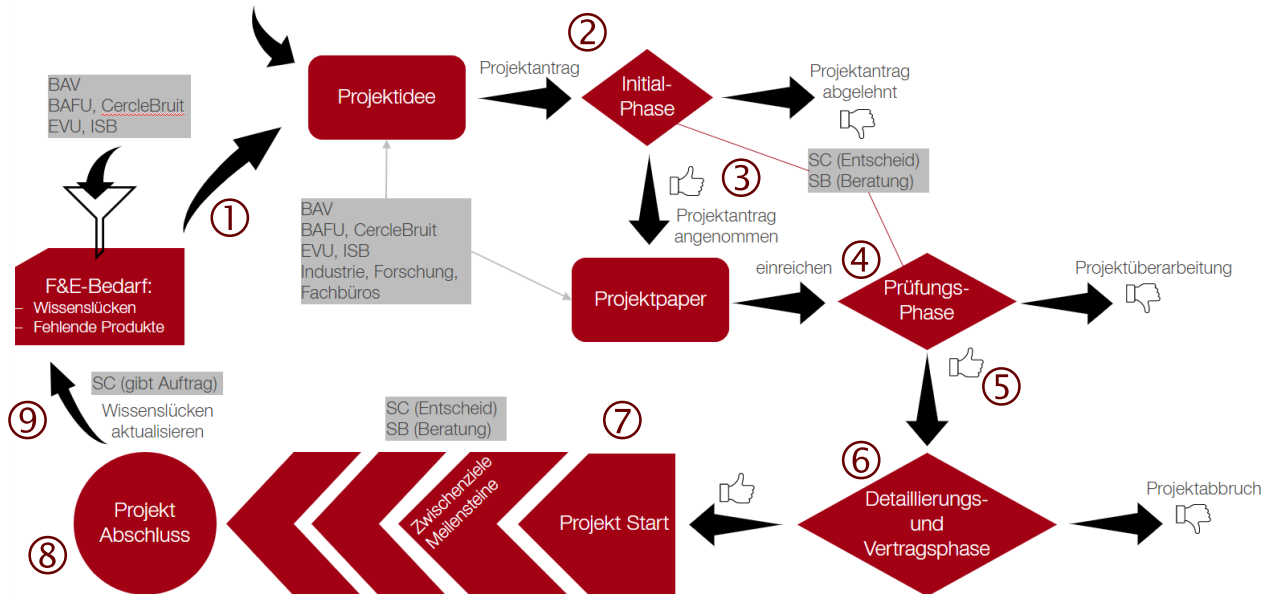


Abbildung 30: Visualisierung des Prozesses eines Forschungs- und Entwicklungsprojekts.

1. Ein Forschungsbedarf wird festgestellt. Dies kann durch den Lärmverursacher, durch eine Behörde, durch Vertreter von Lärmbetroffenen und durch ein Forschungsinstitut selbst sein. Bevorzugt wird als Basis die Wahl aus einer bestehenden Liste mit Wissenslücken. In diesem Strategiepapier werden unter anderem Forschungsfragen zusammengefasst und es wurden auch im Projekt Go-LEISE solche Wissenslücken systematisch erfasst.
2. Damit der Forschungsbedarf mit anderen Forschungsarbeiten abgestimmt und priorisiert werden kann, muss er in Form eines Projektantrags in ein Steering-Committee eingebracht werden (**Initialphase**). Der Projektantrag umfasst mindestens folgenden Inhalt: beabsichtigtes Forschungsergebnis, grober Zeitplan mit Meilensteinen, grober Finanzierungsplan, Projektorganisation und voraussichtlich beteiligte Personen/Institute/Industriepartner.
3. Das Steering-Committee bestehend aus dem Finanzierer und Anwender der Forschung entscheidet unter Einbezug von Fachexperten über das Eintreten. Es bleibt zu entscheiden, wer im SC ist und für wie lange diese Personen gewählt werden. Auch ist die Entscheidungsfindung (Einstimmigkeit?) und die Gewichtung der unterschiedlichen Aspekte (Lärmrecht, Finanzpolitik, Bahntechnik und Wissenschaft) zu klären.
4. Wird auf das Forschungsprojekt eingetreten ist in einem ersten Schritt folgender Initialaufwand zu leisten (**Prüfungsphase**):
 - a. Beschreibung des gelieferten Produkts (Bericht, Programm-Code (OpenSource), Modell, Prototyp, Serienprodukt, ...)
 - b. Machbarkeitsanalyse (Risiken, alternative Lösungswege)

- c. Analyse der bestehenden Forschungsergebnisse in diesem Bereich (eigene und fremde Forschung)
 - d. Darstellung des erwarteten Zusatznutzens durch die beabsichtigten Forschungsergebnisse
 - e. Terminplan der Forschungsarbeit inkl. Meilensteine und Ausstiegspunkte (klare Abbruchkriterien)
 - f. Kostenschätzung der Projektschritte
 - g. Auflistung der Stundenansätze und des Stundenaufwands pro involvierte Person
 - h. Klärung von Fragen zum geistigen Eigentum (Patentnachforschungen)
 - i. Klärung der finanziellen und personellen Unabhängigkeit der Forschungs- und Industriepartner von anderen Projekten/Produkten.
5. Im Steering-Committee wird auf Basis des Projektpapiers entschieden, ob und in welcher Form das Projekt realisiert werden soll und wie es finanziert wird. Der Entscheid des Steering-Committee soll unter Einbezug von Fachbehörden und Fachexperten aus dem Sounding Board erfolgen. Ein standardisiertes Vorgehen bei der Bewilligung im Sinne einer objektiven Gleichbehandlung ist anzustreben. Dabei sind folgende mögliche Qualitätskriterien (auch abhängig vom TR-Level) denkbar (keine abschliessende Aufzählung):
- a. Notwendigkeit für die Erfüllung einer rechtlichen Vorgabe.
 - b. Baustein zur Wissensgenerierung eines Themas in einer offiziellen Liste von zu bearbeitenden Wissenslücken.
 - c. Günstiges Kosten/Nutzen-Verhältnis
 - d. Hohe Wahrscheinlichkeit der Zielerreichung.
6. Falls das Forschungsprojekt realisiert werden soll, wird ein vorgegebener Projektablauf je nach Typ des Projekts (vgl. Einordnung der Projekte) initialisiert und die notwendigen Verträge werden erarbeitet und unterzeichnet (**Detailierungs- und Vertragsphase**). In dieser Phase werden auch die Abbruchkriterien bei den jeweiligen Meilensteinen und allfällige Lizenzfragen verbindlich festgelegt.
- a. Forschungsprojekt ohne Einbezug eines Industriepartners (egal in welcher Projektphase) oder eines (späteren) Produktlieferanten.
 - b. Forschungsprojekt mit Einbezug eines Industriepartners, durch die Industrie selbst oder Projekt, welches in den Bezug eines Produkts durch einen Lieferanten mündet. Solche Projekte können einen frühzeitigen «Request for information» (RFI) oder «Request for proposal» (RFP) erfordern, um spätere Konflikte mit dem BÖB/VÖB zu verhindern.
7. Falls das Projekt realisiert werden kann, erfolgt die Projektabwicklung innerhalb des gemeinsam definierten Projektplans (**Projektierungsphase**). Die Erreichung der Zwischenziele und Meilensteine werden dem Steering-Committee vorgelegt und durch dieses genehmigt. Können diese nicht in der geforderten Qualität erreicht werden, wird das Forschungsprojekt abgebrochen und anteilmässig finanziert. Die erreichten Projektziele und die allfällige Begründung der Nichterreichung werden in einem Zwischenbericht dokumentiert.
8. Kann das Projekt abgeschlossen werden, werden die Ergebnisse in einem Bericht dokumentiert und die Basisdaten und verwendeten Modelle zur Bestimmung der Forschungsergebnisse werden in geeigneter Form übermittelt. Dies kann auch Quellcode, sowie Modell- und Produktbeschreibungen umfassen. Es erfolgt eine Schlusspräsentation im Steering-Committee und die Schlussabrechnung (**Abschlussphase**).
9. Im Auftrag des Steering-Committee werden die Wissenslückenlisten nachgeführt und es wird ein Kurzbericht zum Impact der Forschungsergebnisse auf die Lärmstrategie und die Bahntechnik erstellt.

A4. Organisation der Stakeholder

Neben SBB, BAV und BAFU sind weitere Stakeholder relevant für die Realisierung der vorliegenden Lärmstrategie. In der folgenden Tabelle werden die möglichen Aufgaben bei den Stakeholdern verortet.

Stakeholder	Aufgaben und Interessen	Bemerkungen
Infrastrukturbetreiber (ISB) Normalspur und Meterspur	Einhaltung der Immissionsgrenzwerte. Zur Verfügungstellung von Trassen. Ermöglichung des gewünschten Verkehrs.	Rechtlich der Lärmverursacher jedoch nur teilweise der tatsächliche Lärmverursacher.
Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU)	Einhaltung der Emissionsgrenzwerte nach TSI resp. gemäss Stand der Technik. Keine Betriebseinschränkungen wegen Lärmemissionen.	In vielen Fällen der eigentliche Lärmverursacher mit dem grössten Einfluss auf die Lärmemissionen.
Systemaufgaben Eisenbahnlärm (SBB)	Emissionskataster Monitoring Modellpflege Parameterermittlung Szenario Rechnungen Auskunftspflicht gegenüber BAV	Benötigt technische Hilfsmittel wie ZKE, Fahrbahnlabor, G-NoiseS, sonRAIL, SEMIBEL
System Fahrbahn (SBB)	Gesamtoptimierung Oberbau Globalbeurteilung Lärm (Netzzustandsbericht) im Auftrag des BAV (LV)	Aktivitäten, welche ausserhalb der Systemaufgaben sind
Allianz Fahrbahn	Abgleich F&E Bedarf	Plattform für Austausch der ISB
BAV	Sanierungspflicht Ermittlungspflicht der Emissionen Festlegung der Immissionen Auskunftspflicht gegenüber Öffentlichkeit Finanzierung Übertragung Systemaufgaben, Allianz Fahrbahn und Forschung & Innovation	
BAFU	Modelleigner sonRAIL Interessenvertreter USG-Anforderungen	
Empa	Modellhüter sonRAIL	
Hochschulen/Institute	Forschungsprojekte	
Industrie	Produktoptimierungen	
Akustikbüros	Messtechnik und Berechnungsmethodik. Lärmdokumentation.	
CercleBruit	Anwender des Emissionskatasters in den Kantonen	
Kantone	Besteller von Zugverbindungen Richtplanung und Zonenplanung	Beeinflusst Einsatz von Rollmaterial, Zugverkehr, Siedlungsentwicklung

A5. Grundlagen der Szenarienberechnungen

1. Verwendete Modelle und Annahmen

Als Emissionsmodell wurde sonRAIL Version 02.2022 angewendet. Der Berechnungsalgorithmus und die Emissionsparameter sind im Empa-Bericht 5214.024934-1 beschrieben (Vollständige Beschreibung des sonRAIL-Emissionsmodells, 8. Februar 2022). Die Grundlagen für die Zugsgeschwindigkeiten stammen aus den pro Zugkategorie gemittelten Signaldurchfahrtszeiten im Jahr 2021. Die Oberbaueigenschaften wurden aus der DfA (Datenbank für Feste Anlagen) der SBB abgegriffen. Die Methodik entspricht derjenigen für die Erstellung des offiziellen Emissionskatasters 2021.

Für die Ausbreitungsrechnung wurde das Immissionsmodell SEMIBEL verwendet, welches sich an die ISO 9613-2 anlehnt. Als Gelände- und Gebäudemodell wurden einerseits die lokal erfassten Daten aus den netzweiten Lärmsanierungsprojekten und andererseits Swisstopo Daten von 2018 benutzt. Auf Basis des Wohnungsregister (Datenbezug BfS 2018) wurden die Bewohnerdaten ermittelt. Die gültigen Empfindlichkeitsstufen wurden schliesslich aus den harmonisierten Bauzonen (Stand 1.1.2017) abgeleitet.

Für die Wirkungsabschätzung von Lärmschutzwänden wurden in einem Abstand von 4 m zur äusseren Gleisachse netzweit Terrainlinien interpoliert. Auf diesen durch das bestehende Terrain oder bestehende Kunstbauten definierten Höhen wurden 2 m hohe LSW an Orten mit Grenzwertüberschreitungen (Szenario abhängig) automatisiert erstellt. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde eine Differenz der Immissionen mit und ohne LSW betrachtet. Insbesondere in Bereichen von Einschnitten kann dies dazu führen, dass der Standort der automatisch generierten LSW akustisch ungünstig ist, da diese auf der Böschungskante weiter weg von den Gleisen eine grössere Hinderniswirkung hätte. In solchen Fällen wurden LSW möglicherweise fälschlicherweise als unwirtschaftlich ausgeschieden. Das Mengengerüst wird diesbezüglich deshalb unterschätzt. Andererseits können sicherheitstechnische sowie gestalterische Anforderungen den Bau einer LSW verunmöglichen. In diesen Fällen wird das Mengengerüst deshalb überschätzt.

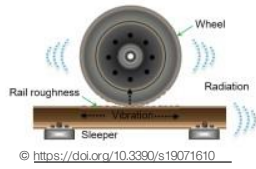
2. Unsicherheitsbetrachtung

Die Rauheitsdaten von Schienen und Rädern stammen aus den Messdaten im Rahmen der Modellentwicklung von sonRAIL und sind damit über 15 Jahre alt. Die aktuellen Schienenrauheiten sind vermutlich aufgrund der präventiven Schienenpflege kleiner. Die Radrauheiten der Güterwagen mit LL-Sohlen (statt K-Sohlen) werden möglicherweise in der Emissionsmodellierung unterschätzt. Die spektrale Wirkung der Radschalldämpfer wurde aus den im europäischen CNOSSOS Emissionsmodell dokumentierten Transferfunktionen in sonRAIL übernommen.

Das Ausbreitungsmodell SEMIBEL liefert zuverlässige Ergebnisse im Bereich der ersten und zweiten Baureihe. Bei Verschärfungen des Lärmrechts sind weit grössere Distanzen von möglichen Grenzwertüberschreitungen betroffen. Dies bedeutet, dass Immissionsberechnungen in Gleisabständen notwendig sind, in welchen die Modellierung grössere Unsicherheiten aufweist. In der Regel dürften die Immissionen in Abständen von mehreren 100 m eher überschätzt werden.

Emissionsmodell

(Verständnis der Lärmstehung)

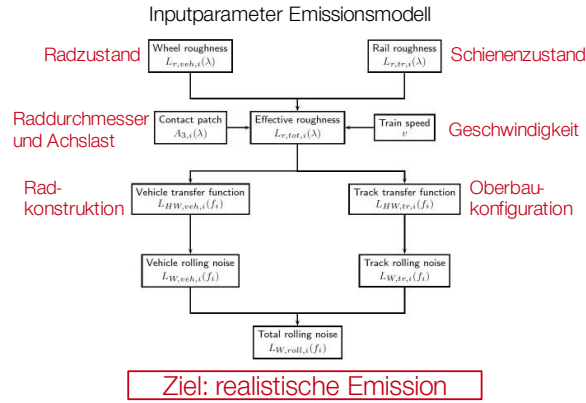


Emissionsparameter:

- Radzustand
- Raddurchmesser
- Radkonstruktion
- Achslast
- Geschwindigkeit
- Schienenzustand
- Oberbaukonfiguration

Datenlieferanten:

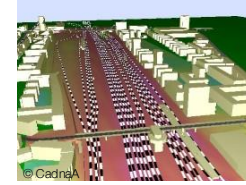
- EVU und ISB



G-NoiseES Implementationsumgebung
 [Geospatial Noise Evaluation System] (Daten und Modelle zusammenbringen und verarbeiten)

Immissionsmodell

(Verständnis der Lärmausbreitung)



Immissionsparameter:

- Topographie
- Gebäudelandschaft
- Nutzungen
- Grenzwerte

Datenlieferanten:

- Swisstopo
- Kantone
- BFS

Abbildung 31: Für Berechnung der Szenarien wurden in einer GIS-Umgebung (G-NoiseES) ein Emissions- (sonRAIL) und Immissionsmodell (SEMIBEL) implementiert und mit den entsprechenden Emissions- und Immissionsparametern unterlegt.