

Körperschall – von fehlenden Anforderungen und möglichen Bewertungen

M. Bleisch, Amstein + Walthert AG, Zürich, CH
D. Gsell, ZC Ziegler Consultants AG, Zürich, CH

Abstract

Das schweizerische Umweltschutzgesetz (USG) «soll Menschen [...] gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen [...]. Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat [...] Immissionsgrenzwerte fest.». Beim Schutz vor abgestrahltem Körperschall stehen Behörden, Gerichte, Sachverständige und Betroffene vor der Herausforderung, dass 40 Jahre nach Erlass des Gesetzes für viele Fälle noch keine Grenzwerte festgelegt wurden.

Für Geräuschquellen im selben Gebäude finden sich in der Norm SIA 181 Grenzwerte und in der Wegleitung zur ArGV3 immerhin Richtwerte, mit denen sich viele der relevanten Fälle beurteilen lassen. Liegen die Geräuschquellen ausserhalb des Gebäudes, so lassen sich gerade mal der Schienenverkehr über die BEKS und Räume mit ständigen Arbeitsplätzen über die Wegleitung zur ArGV3 anhand von Richtwerten beurteilen. Für abgestrahlten Körperschall aus Industrie, Gewerbe, Kraftwerken oder Strassen existieren in den meisten Fällen weder Grenz- noch Richtwerte.

Dass in der Schweiz in diesen Bereichen Anforderungen (Grenz- / Richtwerte) fehlen, dürfte mitunter in der Komplexität von Prognose, Messungen und Ursachenanalyse, aber auch in der geringen Anzahl Betroffener und den häufig aufwändigen Massnahmen zu suchen sein.

Im USG finden sich jedoch relevante Grundlagen für eine Beurteilung:

- «Vorsorgeprinzip»
Der Anlagenbetreiber muss Emissionen so weit begrenzen, «[...] als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.» (USG Art. 11 Abs. 2)
- «Emissionsbegrenzungen»
Die Vollzugsbehörde hat Begrenzungen durch unmittelbar auf dieses Gesetz abgestützte Verfügungen vorzuschreiben, wenn auf Verordnungsebene nichts vorgesehen ist. (USG Art. 12 Abs. 2)
- «Schallschutz neue Gebäude»
Die Bauherrschaft die «[...] ein Gebäude erstellen will, das dem längeren Aufenthalt von Personen dienen soll, muss einen angemessenen baulichen Schutz gegen Aussen- und Innenlärm sowie gegen Erschütterungen vorsehen.»

Um das Vorgehen bei Problemfällen zu vereinheitlichen, schlagen die Referenten Orientierungswerte vor, die sich auf die Schutzziele der Anforderungen aus der LSV und der SIA 181 abstützen. Diese Werte befinden sich gleichzeitig im Bereich anerkannter Grenz- und Richtwerte, wie sie in anderen europäischen Ländern angewendet werden. Sie erscheinen den Referenten daher geeignet, um einen Vollzug nach USG zu erleichtern.

Glossar

USG	Umweltschutzgesetz
LSV	Lärmschutzverordnung
ArGV3	Verordnung 3 zum Arbeitsschutzgesetz
SIA181	Norm zum Schallschutz im Hochbau
BEKS	Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen

Körperschall – von fehlenden Anforderungen und möglichen Bewertungen

Mario Bleisch, Amstein + Walthert AG, Zürich, CH

Dr. Daniel Gsell, ZC Ziegler Consultants AG, Zürich, CH

1 Einleitung

Das schweizerische Umweltschutzgesetz (USG) «soll Menschen [...] gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen [...]. Für die Beurteilung der schädlichen oder lästige Einwirkungen legt der Bundesrat [...] Immissionsgrenzwerte fest.».

Beim Schutz vor abgestrahltem Körperschall stehen Behörden, Gerichte, Sachverständige und Betroffene vor der Herausforderung, dass 40 Jahre nach Erlass des Gesetzes für viele Fälle noch keine Grenzwerte festgelegt wurden.

Wo sind die Gründe dafür zu suchen? Gibt es nicht doch Möglichkeiten abgestrahlten Körperschall zu bewerten? Oder liesse sich gar vom Vollzug in anderen Ländern lernen, um Problemfälle adäquat anzugehen?

Bei der Beschäftigung mit diesen Fragestellungen wurde den Autoren schnell klar, dass das Themenfeld bedeutend breiter und facettenreicher ist als anfangs angenommen. Daher werden sich die folgenden Analysen und Überlegungen auf den abgestrahlten Körperschall in Wohnnutzungen konzentrieren. Auf eine Beurteilung von Erschütterungen oder «leisen Störgeräuschen» wird bewusst verzichtet. Ziel ist es, eine erste Auslegeordnung vorzunehmen und mögliche Lösungen aufzuzeigen.

Verständigung

Abgestrahlter Körperschall ist der Lärm, der durch Bauteile als Luftschall abgestrahlt wird und vom Menschen hörbar wahrgenommen werden kann. Da er von der Quelle direkt in Form von Vibrationen in einen Festkörper eingeleitet wird und nicht zuerst über die Luft übertragen wird, spricht man auch vom «sekundären Luftschall»

2 Potenzielle Probleme

Abgestrahlter Körperschall kann in ruhiger Umgebung i.d.R. ab einem Schalldruckpegel von 20 dB(A) wahrgenommen werden. Im bauakustischen Frequenzbereich von 100 Hz – 3'150 Hz gehen die heutigen Normen davon aus, dass ein Schalldruckpegel von 25 – 35 dB(A) für lärmempfindliche Nutzungen (z.B. Wohnen, konzentriertes Arbeiten) i.d.R. als störend empfunden wird. Ab einem Bereich von 40 – 50 dB(A) werden die Pegel auch für weniger lärmempfindliche Nutzungen als störend empfunden (z.B. Grossraumbüro, Labore). Ab etwa 60 dB(A) wird eine Umgebung als «laut» wahrgenommen.

Erfahrungen zeigen, dass es Betroffene gibt, die besonders bei tiefen Frequenzen (< 100 Hz) auch Schalldruckpegel wahrnehmen können, die teils deutlich unter 20 dB(A) liegen. Sie fühlen sich häufig schon bei deutlich geringeren Pegeln als den oben beschriebenen gestört. Dafür gibt es verschiedene Ursachen. Zum einen liegt dies daran, dass die Wahrnehmung von Betroffenen im Tieftonbereich stärker divergiert. Hörschall tritt in diesem Bereich häufig in Kombination mit weiteren Sinnesreizen, wie Infraschall und Erschütterungen auf, was die Wahrnehmung verstärken kann. Ausserdem ist die Quelle der Immissionen häufig nicht sichtbar oder unbekannt und die Herkunft des Schalls lässt sich schlechter orten, was die Störwirkung ebenfalls verstärken kann.

Tieffrequente Geräusche sind zudem oft tonhaltig, daher können sie leicht «herausgehört» werden was bei den Betroffenen einen Trainingseffekt hervorruft, der die Störwirkung verstärkt (Serra & Asselineau, 2012). Bei tiefen Frequenzen steigt zudem die wahrgenommene Lästigkeit eines Schalldruckpegels bereits bei geringer Änderung steil an, während sie bei höheren Frequenzen deutlich flacher ansteigt (Møller, H. 1987, zit. Schmidt, M. et al., 2016). Offensichtlich wird tieffrequenter Schall auch lauter wahrgenommen als breitbandiger Schall (Elias & Villot, 2012).

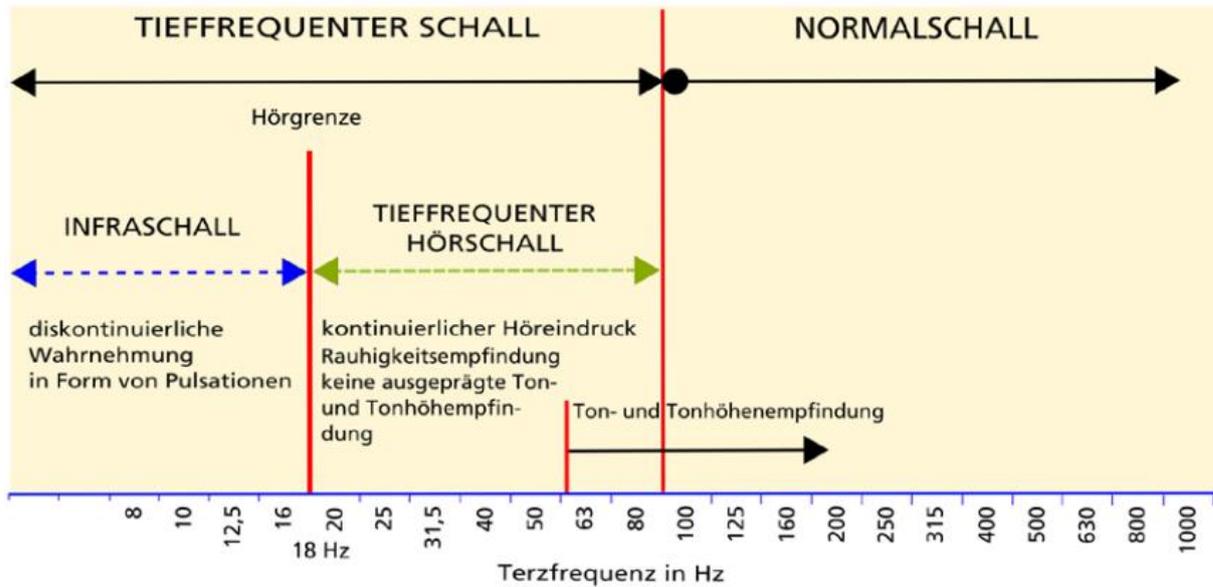


Abbildung 1: Frequenzbereiche für die Empfindung und Wahrnehmung von Schall (Kubicek, R., 1989, zit. Schmidt, M. et al., 2016)

Im Gegensatz zu klassischen Luft- und Trittschallproblemen können Probleme mit abgestrahltem Körperschall auch in Räumen auftreten, die weit entfernt von der Quelle (z.B. Technikzentrale) liegen. Gleiches gilt auch dann, wenn die Quelle ausserhalb des betroffenen Gebäudes liegt (z.B. weit entfernte Kraftwerke, grosse Notstromdiesel, Pumpen, Kältemaschinen oder Bahnlinien). Dies macht die Suche nach der Ursache oft anspruchsvoll.

Da der abgestrahlte Körperschall dieser Quellen meist tieffrequent ist und oft auch im Bereich des Grundgeräuschpegels liegt, sind belastbare Messungen häufig sehr anspruchsvoll.

3 Anforderungen

3.1 Herausforderungen bei der Bewertung

Wie im USG gefordert, sollen Menschen vor schädlichen und lästigen Immissionen geschützt werden. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, braucht es Grenzwerte, die gemäss USG durch den Bundesrat festzulegen sind, damit sie von den Behörden vollzogen werden können.

Dabei sollen möglichst einfache und trotzdem allgemeingültige Grenzwerte / Vorschriften erlassen werden. Sie sollen sicherstellen, dass sich die Mehrheit der Betroffenen nicht übermässig gestört fühlt. Um Verursachern und Betroffenen gerecht zu werden, ist dabei ein gewisses Mass an Immissionen zu tolerieren (Kosten-/Nutzen-Überlegungen). Erschwerend kommt hinzu, dass die Realität häufig sehr komplex ist. Immissionen aus abgestrahltem Körperschall können sehr unterschiedlich sein, was ihre Zeitdauer, Häufigkeit, Tonhöhe, Pegel, Informationsgehalt etc. betrifft. Zudem hängt deren Störwirkung nicht nur von der Umgebung ab – in ruhiger Umgebung wirken Immissionen i.d.R. störender – sondern auch von der individuellen Wahrnehmung und der Kombination mit anderen Sinnesreizen (siehe Kapitel 2) sowie der persönlichen Einstellung zur Immission.

All dies führt dazu, dass es schwierig ist, adäquate Grenzwerte festzulegen.

3.2 Übersicht Anforderungen in der Schweiz

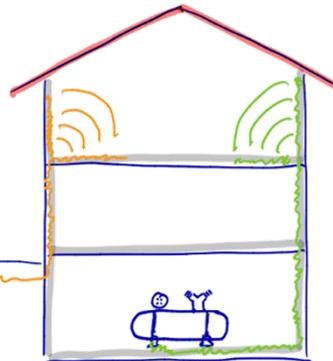
Je nach Ausbreitungssituation und Quelle existieren in der Schweiz Grenz- oder Richtwerte. Es gibt jedoch viele Situationen, die nicht verbindlich geregelt sind.

Geräuschquellen von ausserhalb des Gebäudes

- USG
- ArGV3
- BEKS



→ vieles nicht geregelt, Beurteilung häufig schwierig



Geräuschquellen im selben Gebäude

- USG
- LSV
- SIA 181
- ArGV3

→ vieles geregelt, Beurteilung häufig möglich

3.3 Anforderungen in Gesetzen und Verordnungen

Umweltschutzgesetz (USG)

Das Umweltschutzgesetz (USG) ist in den allermeisten Fällen die gesetzliche Basis für die Beurteilung von abgestrahltem Körperschall. Das USG «soll Menschen [...] gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen [...]. (Art. 1 Absatz 1 USG). Unter Einwirkungen im Sinne des Gesetzes werden unter anderem Lärm und Erschütterungen definiert (Art. 7 Abs. 1 USG), wobei Infra- und Ultraschall dem Lärm gleichgestellt sind (Art. 7 Abs. 4 USG). Damit fällt abgestrahlter Körperschall im gesamten wahrnehmbaren Bereich unter das Gesetz.

Weiter definiert das USG über das **Verursacherprinzip**, dass der Verursacher von Massnahmen die Kosten dafür zu tragen hat (Art. 2 USG), dass Lärm und Erschütterungen durch Massnahmen bei der Quelle begrenzt werden sollen (Art. 11 Abs. 1 USG) sowie über das **Vorsorgeprinzip**, dass die Emissionen im Rahmen der Vorsorge unabhängig von der bestehenden Belastung so weit zu begrenzen sind, «als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.» (Art. 11 Abs. 2 USG)

Im USG gibt es wichtige Grundlagen, die eine Beschränkung der Emissionen sowie der Immissionen zum Ziel haben. So sollen Emissionen unter anderem durch den Erlass von Emissionsgrenzwerten eingeschränkt werden (Art. 12 Abs 1 lit. a USG). Begrenzungen sollen durch Verordnungen oder, soweit diese nichts vorsehen, durch unmittelbar das USG abgestützte Verfügungen vorgeschrieben werden (Art. 12 Abs 2 USG). Ähnlich tönt es, wenn es um Immissionen geht. «Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat durch Verordnung Immissionsgrenzwerte fest.» (Art. 13 Abs 1 USG). Laut USG sind «Die Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen [...] so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören.» (Art. 15 USG). Selbst zum Schallschutz neuer Gebäude äussert sich das USG: «Wer ein Gebäude erstellen will, das dem längeren Aufenthalt von Personen dienen soll, muss einen angemessenen baulichen Schutz gegen Aussen- und Innenlärm sowie gegen Erschütterungen vorsehen.» (Art. 21 Abs. 1 USG)

Das USG umreisst somit den Umgang mit Emissionen und Immissionen und benennt dabei auch die Verantwortlichkeiten:

- Der Anlagenbetreiber begrenzt seine Emissionen und trägt die Kosten für allfällige Massnahmen.
- Der Bundesrat erlässt Emissions- und Immissionsgrenzwerte auf dem Verordnungsweg.
- Fehlen Emissionsgrenzwerte so hat die Vollzugsbehörde Emissionsbegrenzungen zu verfügen.
- Bei neuen Gebäuden sorgt die Bauherrschaft für einen angemessenen Schallschutz.

Eigentlich sollte nun nichts mehr schiefgehen können. Die relevanten Grenzwerte sollten sich gemäss USG in entsprechenden Verordnungen finden lassen.

Lärmschutzverordnung (LSV)

Und tatsächlich, in der Lärmschutzverordnung (LSV) finden sich Grenzwerte. Neben der Begrenzung von Aussenlärmemissionen (Art. 1 Abs. 2 lit. a LSV) soll die LSV auch den Schallschutz von Gebäuden mit lärmempfindlichen Räumen regeln (Art. 1 Abs. 2 lit. d und e LSV) und die Ermittlung und Beurteilung von Aussenlärmimmissionen ermöglichen (Art. 1 Abs. 2 lit. f LSV). Für Betriebsgebäude und -wohnungen (Art. 1 Abs. 3 lit. a LSV) sowie für den Infra- und Ultraschall (Art. 1 Abs. 3 lit. b LSV) erklärt sich die LSV als nicht zuständig.

Etwas überraschend unterscheidet die LSV ortsfeste Anlagen (Art. 2 Abs. 1 LSV) von beweglichen Lärmquellen (Art. 3 – 6 LSV). Dabei gibt es sowohl Vorschriften für die Aussenlärmemissionen eines einzelnen Fahrzeuges (Art. 3 LSV) wie auch Vorschriften für die zulässigen Aussenlärmemissionen und -immissionen einer Verkehrsanlage (Strasse, Schiene, Flugplatz etc.) oder Industrieanlage (Art. 7 ff LSV). Das bedeutet, dass die Emissionen eines einzelnen PWs z.B. gemäss den Anforderungen in der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) zu begrenzen sind. Gleichzeitig hat der Strassenbetreiber dafür zu sorgen, dass die Lärmemissionen seiner Anlage so weit begrenzt werden «als dies technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar ist» (Art. 7 Abs 1 lit. a LSV, resp. Art. 8 Abs 1 LSV), was dem Vorsorgeprinzip des USG entspricht. Zudem muss er sicherstellen, dass die Lärmimmissionen der Anlage die geltenden Grenzwerte einhält (Art. 7 Abs 1 lit. b LSV, resp. Art. 8 Abs 2 LSV, Art. 40 Abs. 1 LSV sowie Anhang 3 LSV). Auch der Betreiber eines Parkhauses sorgt dafür, dass seine Anlage das Vorsorgeprinzip und die Grenzwerte einhält (Art. 7 & 8 LSV, Art. 40 Abs. 1 LSV sowie Anhang 6 LSV). Die geltenden Grenzwerte für den Lärm unterschiedlicher Anlagentypen finden sich in den Anhängen 3 bis 9 der LSV. Diese Grenzwerte für die Lärmimmissionen gelten in der Mitte offener Fenster, resp. in der Nähe von Gebäuden (Art. 39 Abs. 1 LSV) oder am Ort, an dem Gebäude errichtet werden können (Art. 39 Abs. 3 LSV).

Auch der Schallschutz von Gebäuden wird in der LSV thematisiert (Art. 32 – 34 LSV). Was die genauen Anforderungen betrifft, so verweist die LSV auf die Norm SIA 181 Schallschutz im Hochbau (Art. 32 Abs. 1 LSV).

Zusammengefasst definiert die LSV zwar Grenzwerte, diese gelten jedoch für Lärmimmissionen ausserhalb eines Gebäudes, resp. im offenen Fenster. Für eine sinnvolle Begrenzung von abgestrahltem Körperschall sind diese Grenzwerte nicht direkt geeignet. Für den Schallschutz an Gebäuden können wir immerhin die SIA 181 konsultieren.

Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen (VSE)

2006 lag der Entwurf für eine «Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen (VSE)» vor, der in die Vernehmlassung gegeben wurde. Die VSE sollte bewährte Elemente der Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS) übernehmen, sich jedoch nicht auf Schienenverkehrsanlagen beschränken, sondern für alle Erschütterungsquellen gelten (dazu später mehr). Im Entwurf der VSE waren auch Planungs- und Richtwerte für abgestrahlten Körperschall vorgesehen. Bis heute ist die entsprechende Verordnung jedoch nicht in Kraft und lässt sich damit zur Beurteilung von abgestrahltem Körperschall auch nicht heranziehen. Laut BAFU sei die Problematik sehr komplex und es müsse vorgängig abgeklärt werden, wie sich die relativ hohen Kosten der Sanierungen finanzieren lassen (BAFU, 2023-1).

Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV3)

Anders als das USG und die LSV geht es in der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV3) nur um Massnahmen, die für den Gesundheitsschutz zu treffen sind (Art. 1 Abs. 1 ArGV3). Massnahmen zum Schutz vor störenden Immissionen werden also nicht beschrieben. Gemäss der ArGV3 sind «Lärm und Vibrationen [...] zu vermeiden oder zu bekämpfen» (Art. 22 Abs. 1 ArGV3) und «zum Schutz der Arbeitnehmer sind [...] Vorkehrungen zu treffen [...]» (Art. 22 Abs. 2 ArGV3). Diese Massnahmen können baulicher Art sein, an Betriebseinrichtungen erfolgen, die Lärmquelle abschirmen oder auch bei der Arbeitsorganisation ansetzen (Art. 22 Abs. 2 lit. a – d ArGV3). In der Verordnung selbst fehlen zwar Grenzwerte für Lärmimmissionen in der Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz finden sich jedoch durchaus Angaben, die für eine Beurteilung von abgestrahltem Körperschall eingesetzt werden können.

Weitere Verordnungen

Neben den oben zitierten Verordnungen gibt es weitere, die z.B. gewisse Angaben zu Emissionsbegrenzungen aufführen. Sie sind jedoch für die Beurteilung von abgestrahltem Körperschall von untergeordneter Bedeutung. Beispiele dafür sind die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS), die Verkehrsregelverordnung (VRV) oder die Maschinenlärmverordnung (MaLV).

3.4 Anforderungen in Normen, Richtlinien und Wegleitungen

SIA 181 Schallschutz im Hochbau

Die LSV verweist für den Schallschutz an Gebäuden auf die SIA 181 und diese bietet dann tatsächlich Hilfestellungen bei der Bewertung von abgestrahltem Körperschall.

Bereits in der Ausgabe von 1976 wurden Grenzrichtwerte für Störschallpegel definiert:

- in Schafzimmern zulässiger Störschallpegel
nachts: $L_{50} = 30$ bis 40 dB(A)
- für geistige Arbeit zulässiger Störschallpegel
tags: $L_{50} = 40$ bis 60 dB(A)

In der Ausgabe von 1988 wurden diese zulässigen Störschallpegel dann ersetzt durch Anforderungen an Geräusche von haustechnischen Anlagen, die bereits damals Zuschläge für die Störwirkung enthielten. Damit gab es erfreulicherweise eine Bewertungsmöglichkeit für abgestrahlten Körperschall von haustechnischen Anlagen. Mit etwas Kreativität konnten diese Anforderungen auch für entsprechende Anlagen angewendet werden, die sich ausserhalb des Gebäudes befanden. Für alle anderen Quellen stand jedoch keine Bewertungsmöglichkeit zur Verfügung.

Dies änderte sich mit der Ausgabe von 2006. Dort erklärt sich die SIA 181 als zuständig «für den baulichen Schutz gegenüber [...] von externen und internen Quellen abgestrahltem Körperschall bezogen auf Nutzungseinheiten in Neu- und Umbauten» (Ziff. 0.1.1 SIA 181. 2006). Im Zusammenhang mit abgestrahltem Körperschall verwies die Norm direkt auf die künftige Verordnung über den Schutz vor Erschütterungen VSE (Ziff. 0.1.7 und 0.3.2 SIA 181. 2006). Was den abgestrahlten Körperschall aus externen Quellen anbelangt, so fanden sich neben dem Verweis auf die künftige VSE auch Beispiele und eine Einordnung potenzieller Probleme (Ziff. 3.1.2 SIA 181. 2006). Der abgestrahlte Körperschall aus internen Quellen wurde nun weiter gefasst, als in der Ausgabe von 1988 und umfasste neben den Geräuschen haustechnischer Anlagen auch die Geräusche fester Einrichtungen im Gebäude für die entsprechende Anforderungen festgelegt wurden (Ziff. 3.2.3 SIA 181. 2006). Der abgestrahlte Körperschall (intern) aus Industrie und Gewerbe sollte im Falle einer Mischnutzung zusätzlich nach der künftigen VSE beurteilt werden (Ziff. 3.2.3.7.3 SIA 181. 2006). Analog zum abgestrahlten Körperschall aus externen Quellen fanden sich auch zum abgestrahlten Körperschall (intern) aus Industrie und Gewerbe Beispiele und eine Einordnung potenzieller Probleme (Ziff. 3.2.4 SIA 181. 2006). Es finden sich diverse weitere Abschnitte zum Körperschall. Zum Umgang mit tieffrequenten Geräuschen wurde an verschiedenen Stellen auf die DIN 45680 verwiesen.

In der aktuell gültigen Ausgabe von 2020 wird der abgestrahlte Körperschall aus externen Quellen dann wieder ausgeklammert: «Die Norm gilt nicht für den Schallschutz gegenüber externen Körperschallquellen (z. B. Anlagen des öffentlichen oder privaten Verkehrs, Einrichtungen und Maschinen in Industrie und Gewerbe, Ramm- und Sprengarbeiten)» (Ziff. 0.1.3 SIA 181. 2020). Für den abgestrahlten Körperschall aus internen Quellen gibt es jedoch nach wie vor gültige Anforderungen, die zwischen Nutzungseinheiten gelten (Ziff. 0.1.2 SIA 181. 2020). Dabei gelten «[...] gebäudetechnische Anlagen und feste Einrichtungen, die nicht einzelnen Nutzungseinheiten zugeordnet werden können, sondern der Gemeinschaftsnutzung dienen, [...]» sinngemäss als Nutzungseinheit (Ziff. 1.1.1.1 SIA 181. 2020). Die Anforderungen gelten dabei sowohl für Neubauten wie auch für Umbauten und Umnutzungen (Ziff. 0.1.1 SIA 181. 2020).

In der Tabelle 6 der Norm sind folgende Mindestanforderungen an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen definiert:

Emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H		
gering	38 dB	43 dB	33 dB
mittel	33 dB	38 dB	28 dB
hoch	28 dB	33 dB	25 dB

Tabelle 1: Mindestanforderungen an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen (Tab. 6 SIA 181. 2020)

Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 4 dB verringerten Werte gegenüber der Tabelle 1. Dabei gilt 25 dB als Kleinstwert (Ziff. 3.4.1 SIA 181. 2020). Für Mischnutzungen mit störenden Betrieben im Gebäude, gelten die um 5 dB verringerten Werte gegenüber der Tabelle 1. Dabei gilt ebenfalls 25 dB als Kleinstwert (Ziff. 3.4.3.1 SIA 181. 2020). «Wenn zweifelsfrei sichergestellt ist, dass Störungen nur am Tag (07.00 h bis 19.00 h) auftreten, gelten die um 5 dB erhöhten Werte gegenüber den Werten gemäss [Ziff.] 3.4.1 und 3.4.3.1 [der Norm].» (Ziff. 3.4.3.2 SIA 181. 2020).

Es ist davon auszugehen, dass die Anforderungen nur im Bereich von 50 Hz – 5000 Hz gelten (Ziff. A.3.4 SIA 181. 2020)

Achtung: mit allen Korrekturwerten liegt der max. zulässige L_{Aeq} schnell um 20 dB(A)!

Zusammengefasst definiert die aktuell gültige SIA 181 Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus internen Quellen. Diese gelten für Neubauten, Umbauten und Umnutzungen. Sie gelten jedoch nur zwischen Nutzungseinheiten und nur im Bereich von 50 – 5'000 Hz.

Wegleitung zur ArGV3

Die Wegleitung zur ArGV3 verfügt über ein ausführliches Kapitel, welches den Artikel 22 der ArGV3 zum Thema Lärm und Vibrationen präzisiert. Für gesundheitsgefährdende Lärmimmissionen legt sie Grenzwerte fest (Abs. 1.2), für belästigenden Lärm dagegen nur Richtwerte (Abs. 1.3), die an ständigen Arbeitsplätzen gelten. Gemäss Erfahrung der Autoren werden die Richtwerte im Vollzug meist als «Grenzwerte» behandelt.

Die Wegleitung definiert u.a. Richtwerte für Hintergrundgeräuschpegel für industrielle und gewerbliche Arbeitsplätze (Abs. 1.3.1.2) und Richtwerte für Hintergrundgeräuschpegel in Büro- und Laborarbeitsplätzen (Abs. 1.3.2.2).

Für die industriellen und gewerblichen Arbeitsplätze gelten die folgenden Richtwerte:

Raum	Lärmexpositionspegel $L_{eq,1h}$ in dB(A)
Kommandoraum	60
Steuerkabine	70
Räume zur Arbeitsvorbereitung	65
Pausen- und Bereitschaftsräume	60
Liege-, Ruhe- und Sanitätsräume	40
Betriebsrestaurant	55
Dienstwohnung (nachts)	35
Kommandoraum	60

Tabelle 2: Richtwerte für Hintergrundgeräusche für industrielle und gewerbliche Arbeitsplätze (Tab. 322-2 Wegleitung zur ArGV3. 2023)

«Als Hintergrundgeräusche (Fremdgeräusche) gelten in diesem Zusammenhang alle Lärmimmissionen, die von eingebauten technischen Einrichtungen stammen (z.B. haustechnische Anlagen wie Belüftungssysteme, Kompressoren, Heizungen, Musikbeschallung) und Lärmimmissionen von aussen (Betriebslärm, Verkehrslärm). [...] Massgebend für die Ermittlung des L_{eq} ist die Arbeitsstunde mit der höchsten Lärmbelastung» (Abs. 1.3.1.2)

Für Arbeitsplätze in Büro und Laborräumen gelten folgende Richtwerte:

Raum	Lärmexpositionspegel $L_{eq,1h}$ in dB(A)
Gruppe 1: Einzelbüros, Laborräume (z.B. Forschung)	40
Gruppe 2: Mehrpersonenbüros	40
Gruppe 3: Grossraumbüros (alle Büros mit mehr als 6 Mitarbeitenden)	45

Tabelle 3: Richtwerte für Hintergrundgeräusche für Arbeitsplätze in Büro und Laborräumen (Abs 1.3.2.2 Wegleitung zur ArGV3. 2023)

«Als Hintergrundgeräusche (Fremdgeräusche) gelten in diesem Zusammenhang alle Lärmimmissionen, die von eingebauten technischen Einrichtungen stammen (z. B. haustechnische Anlagen wie Belüftungssysteme, Kompressoren, Heizungen) und Lärmimmissionen von aussen (Verkehrslärm).» (Abs. 1.3.2.2)

Der zu bewertende Frequenzbereich wird in der Wegleitung nicht weiter spezifiziert. Für die «Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in Gebäuden [...]» (Abs. 1.3) soll die DIN 45680 ergänzend hinzugezogen werden.

Zusammengefasst definiert die Wegleitung zur ArGV3 Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall an ständigen Arbeitsplätzen. Diese gelten sowohl für interne wie auch für externe Quellen und dürften auch für den gesamten wahrnehmbaren Frequenzbereich gelten.

Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS)

Die Weisung gilt unter anderem für «die Beurteilung von Körperschall bei neuen Schienenverkehrsanlagen sowie bei Um- und Ausbauten bestehender Anlagen» (Ziff. 1c. BEKS). Sie definiert dafür die folgenden Richtwerte:

	Planungsrichtwerte L _{eq} des Innenraumpegels in dB(A)		Immissionsrichtwerte L _{eq} des Innenraumpegels in dB(A)	
	Tag 16 Std. L _{eq}	Nacht 1 Std. L _{eq}	Tag 16 Std. L _{eq}	Nacht 1 Std. L _{eq}
reine Wohnzonen, Zonen für öffentliche Nutzung (Schulareale, Spitäler)	35	25	40	30
Mischzonen, städtische Kernzonen, ländliche Dorfzonen, Landwirtschaftszonen, vorbelastete reine Wohnzonen	40	30	45	35

Tabelle 4: Planungs- und Immissionsrichtwerte für abgestrahlten Körperschall von Schienenverkehrsanlagen (Ziff. 3.2 BEKS)

Dabei gelten für neue Anlagen die Planungsrichtwerte und für den Um- und Ausbau bestehender Anlagen die Immissionsrichtwerte. «Um den Maximalpegel in der Nacht zu begrenzen, wird in den Nachstunden von 22:00 bis 06:00 Uhr jeweils ein L_{eq}-Pegel pro Stunde bestimmt. Der höchste dieser acht Stundenwerte ist massgebend.» (Ziff. 3.2 BEKS).

Herausforderung: Bei geringer Zugfrequenz sind sehr hohe Maximalpegel zulässig!

Die entsprechenden Immissionen sollen in Räumen ermittelt werden, «[...] die dem längeren Aufenthalt von Menschen dienen. Massgebend ist der Ort im Raum, wo sich Personen üblicherweise aufhalten.» (Ziff. 2.1 BEKS).

Es lässt sich feststellen, dass sich die Anforderungen der Wegleitung zur ArGV3 für eine «Betriebswohnung» mit den nächtlichen Immissionsrichtwerten für Mischzonen der BEKS deckt.

Zusammengefasst definiert die BEKS Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus Schienenverkehrsanlagen. Die Anforderungen gelten für Räume, die dem längeren Aufenthalt von Menschen dienen. Sie dürften für den gesamten wahrnehmbaren Frequenzbereich gelten.

4 Fehlende Anforderungen?

4.1 Bewertung von Quellen innerhalb des Gebäudes

Für Quellen innerhalb des Gebäudes stehen uns Grundlagen zur Verfügung, anhand derer sich viele Fälle bewerten lassen.

Anhand der SIA 181 lässt sich abgestrahlter Körperschall gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude in lärmempfindlichen Räumen bewerten. Die Anforderungen gelten dabei zwischen Nutzungseinheiten und in einem Frequenzbereich von 50 Hz – 5'000 Hz.

Über die Wegleitung zur ArGV3 lässt sich abgestrahlter Körperschall aus internen Quellen bewerten. Die Anforderungen gelten dabei an ständigen Arbeitsplätzen und dürften den gesamten wahrnehmbaren Frequenzbereich umfassen.

In beiden Fällen sind die Anforderungen verbindlich, da die LSV explizit fordert, dass die Anforderungen der SIA 181 einzuhalten seien und im Falle der Wegleitung zur ArGV3 das für den Vollzug im Bereich Arbeitsbedingungen zuständige Staatssekretariat für Wirtschaft SECO den Vollzug der Verordnung mit dieser Wegleitung präzisiert hat.

Nicht geregelt sind demzufolge abgestrahlter Körperschall innerhalb einer Nutzungseinheit und abgestrahlter Körperschall zwischen Nutzungseinheiten bei tiefen Frequenzen < 50 Hz – soweit er nicht ständige Arbeitsplätze betrifft.

Geht es um abgestrahlten Körperschall innerhalb einer Nutzungseinheit, so könnten in dieser Hinsicht wohl Spitäler, Alters- und Pflegeheime, Gefängnisse und dergleichen heikel sein. In Hotels ist dies wohl weniger kritisch, da ein Gast sein Hotel i.d.R. wählen und dabei auch akustische Gesichtspunkte berücksichtigen kann. Da die SIA 181 für alle diese Nutzungen auch beim internen Luft- und Trittschallschutz keine Anforderungen definiert, erscheint eine Speziallösung für den abgestrahlten Körperschall wenig sinnvoll.

4.2 Bewertung von Quellen ausserhalb des Gebäudes

Für Quellen ausserhalb des Gebäudes wird es deutlich schwieriger. In vielen Fällen fehlen seit bald 40 Jahren Anforderungen.

Anhand der BEKS lässt sich abgestrahlter Körperschall von Schienenverkehrsanlagen in Räumen bewerten, die dem längeren Aufenthalt von Menschen dienen. Die Anforderungen dürften dabei den gesamten wahrnehmbaren Frequenzbereich umfassen.

Über die Wegleitung zur ArGV3 lässt sich auch abgestrahlter Körperschall aus externen Quellen bewerten. Die Anforderungen gelten auch da an ständigen Arbeitsplätzen und dürften den gesamten wahrnehmbaren Frequenzbereich umfassen.

Nicht geregelt ist demzufolge abgestrahlter Körperschall aus anderen Quellen als dem Schienenverkehr, sofern er nicht ständige Arbeitsplätze betrifft.

4.3 Stellen fehlende Anforderungen ein Problem dar?

Was die fehlenden Anforderungen für abgestrahlten Körperschall aus internen Quellen im Bereich der tiefen Frequenzen (< 50 Hz) anbelangt, so sind den Autoren keine Zahlen zu potenziell davon Betroffenen bekannt. Den Autoren ist aus ihrer Tätigkeit aber durchaus eine ansehnliche Anzahl an Problemfällen bekannt, bei denen auch abgestrahlter Körperschall aus internen Quellen im Bereich von 20 – 50 Hz eine Rolle spielt. Darunter finden sich z.B. Immissionen aus Veranstaltungsräumen (Kino), Freizeitanlagen (Fitness, Bar, Diskotheken) oder technischen Einrichtungen (Kältemaschinen, Wärmepumpen, grosse Heizungen).

Bei Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall aus externen Quellen gibt es offizielle Zahlen zu Betroffenen. Das BAFU geht aktuell von rund 40'000 Personen, die erhöhten Belastungen ausgesetzt sind (BAFU, 2023-1). Damit sind deutlich weniger Personen betroffen als z.B. von übermässigem Strassenlärm, bei dem das BAFU von rund 14 % der Bevölkerung (etwa 1.2 Mio) ausgeht (BAFU, 2023-2). Da über die BEKS rund 30'000 Personen einen Mindestschutz erhalten, verbleiben etwa 10'000 Personen, für deren Schutz es aktuell keine Grenz- oder Richtwerte gibt (BAFU, 2023-1).

4.4 Mögliche Gründe

Dass in gewissen Bereichen von abgestrahltem Körperschall auch 40 Jahre nach dem Beschluss des USG nach wie vor Anforderungen fehlen erstaunt. Wie in anderen Bereichen auch scheinen Legislative und Exekutive heikle Aufgabenstellungen auf die (sehr) lange Bank zu schieben. Die Gründe dafür liegen auf der Hand. Wie bereits erwähnt, ist das BAFU der Auffassung, die Problematik sei sehr komplex und es müsse vorgängig abgeklärt werden, wie sich die relativ hohen Kosten der Sanierungen finanzieren lassen (BAFU, 2023-1). Beide Argumente sind nicht von der Hand zu weisen. Aber rechtfertigen sie auch, dass gewisse Betroffene seit rund 40 Jahren auf dem unsicheren Rechtsweg ihr Recht auf Ruhe einklagen müssen? Auch für Anlagenbetreiber, Vollzugsbehörden und Experten fehlt damit die Rechtssicherheit.

Die Problematik ist tatsächlich komplex. Die Prognose von abgestrahltem Körperschall ist wesentlich anspruchsvoller als die Prognose von Lärmimmissionen oder des Luft-, resp. Trittschallschutzes. Einzig beim Schienenverkehrsanlagen lassen sich einigermaßen verlässliche Prognosen machen (z.B. mit VIBRA). Die übrigen Quellen können sehr unterschiedlich und auch komplex in ihrer Charakteristik sein (z.B. Schwerindustrie mit unterschiedlichen Verarbeitungsprozessen). Verlässliche Prognosen des abgestrahlten Körperschalls haben sich bei vielen Quellen bis jetzt nicht etabliert.

Da das Hauptproblem häufig bei tiefen (< 100 Hz) bis sehr tiefen (< 50 Hz) Frequenzen liegt, sind auch die Messungen anspruchsvoller. In diesen Frequenzbereichen entspricht das Schallfeld in typischen Räumen nicht mehr einem idealen Diffusfeld. Zudem führen Moden oft zu einem inhomogenen Schallfeld indem der gemessene Pegel stark von der Messposition abhängt.

Tieffrequente Moden werden in kleinen Räumen (z.B. Wohnräume, Schlafzimmer) oft als Dröhnen oder dumpfes Grollen wahrgenommen. Die Wahrnehmung von Betroffenen divergiert bei tiefen Frequenzen auch stärker und die Kombination mit weiteren Sinnesreizen, wie Erschütterungen kann die Wahrnehmung verstärken. Tieffrequente Geräusche sind oft auch tonhaltig, daher können sie leicht «herausgehört» werden was bei den Betroffenen einen Trainingseffekt hervorruft, der die Störwirkung verstärkt (Serra & Asselineau, 2012). Bei tiefen Frequenzen steigt zudem die wahrgenommene Lästigkeit eines Schalldruckpegels bei geringer Änderung steil an, während sie bei höheren Frequenzen deutlich flacher ansteigt (Møller, H. 1987, zit. Schmidt, M. et al., 2016). Offensichtlich wird ausschliesslich tieffrequenter Schall auch lauter wahrgenommen als Schall über das gesamte Frequenzspektrum (Elias & Villot, 2012). Da es bei abgestrahltem Körperschall massiv weniger Betroffene (CH ca. 40'000) gibt als bei klassischen Lärmproblemen (CH z.B. 1.2 Mio Strassenverkehrslärmbetroffene), sind die gesundheitliche Auswirkungen oder die Störwirkung auch weniger gut untersucht.

Ein weiterer Punkt sind die Kosten. Bei abgestrahltem Körperschall sind erforderliche Massnahmen oft aufwändiger, besonders wenn die Problematik bei tiefen Frequenzen liegt oder wenn Massnahmen im Nachhinein getroffen werden müssen (Sanierung). Meist geht es auch um eine geringe Anzahl Betroffener was dazu führt, dass selten ein attraktives «Kosten / Nutzen – Verhältnis» vorliegen dürfte.

Es verwundert daher nicht, dass das «Problem» eine wesentlich geringere Priorität genießt als die klassischen Lärmthemen (Verkehrslärm, Industrie- und Gewerbelärm etc.). Dagegen könnte man einwenden, dass die SIA 181, die BEKS und die Wegleitung zur ArGV3 – jede in ihrem Bereich – sich durchaus getrauen, die Thematik anzugehen. Fakt ist jedoch, dass bis heute eine Ausführungsverordnung und damit auch gewisse Anforderungen fehlen.

5 Mögliche Lösungen

5.1 Bewertungsgrundlage USG

Bei Problemen mit abgestrahltem Körperschall, für die sich keine konkreten Anforderungswerte finden, stellt das USG die massgebende Bewertungsgrundlage dar. Insbesondere die folgenden Abschnitte definieren den Handlungsrahmen (siehe dazu auch Kapitel 3.3):

- **«Vorsorgeprinzip»**
«Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.» (Art. 11 Abs. 2 USG)
 - Der Anlagenbetreiber hat also die Emissionen zu begrenzen. Solange er die Emissionen mit Massnahmen, die den obigen Kriterien entsprechen weiter reduzieren kann, hat er diese Massnahmen zu treffen. Dabei spielen die bereits bestehende Lärmbelastung oder die Einhaltung von Grenzwerten keine Rolle¹.

¹ Neben der Prüfung, ob eine Massnahme technisch und betrieblich umsetzbar ist, wird eine Massnahme oft auch auf ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis geprüft. Auch wenn ein finanzkräftiger Konzern die finanziellen Mittel hätte, heisst dies nicht zwingend, dass alleine aufgrund des Vorsorgeprinzips unsinnige Massnahmen zu treffen sind (z.B. seinen gesamten Maschinenpark auszutauschen, um bei einem einzigen Betroffenen eine Verbesserung von 1 dB zu erzielen). Sollten Grenzwerte nicht eingehalten sein, so sieht dies wieder anders aus (Anordnung von Sanierung, Antrag auf Erleichterungen, etc.)

- **«Emissionsbegrenzungen»**
«Begrenzungen werden durch Verordnungen oder, soweit diese nichts vorsehen, durch unmittelbar auf dieses Gesetz abgestützte Verfügungen vorgeschrieben.» (Art. 12 Abs. 2 USG)
→ Gibt es keine Verordnung, die entsprechende Begrenzungen vorschreibt, so hat die Vollzugsbehörde Emissionsbegrenzungen zu verfügen, die sich auf das USG abstützen. Im Prinzip scheint die Behörde dabei relativ frei, solange sie dem Schutzgedanken des USG Rechnung trägt. Eine Berufung auf den Stand der Technik, die Anwendung von zweckmässigen Grenzwerten aus dem Ausland (Normen, Richtlinien, evtl. sogar Gesetze) oder eine Anwendung von Grenzwerten aus anderen Schweizer Normen, die ein ähnliches Schutzziel haben ist aus Sicht der Autoren durchaus denkbar.
- **«Schallschutz neue Gebäude»**
«Wer ein Gebäude erstellen will, das dem längeren Aufenthalt von Personen dienen soll, muss einen angemessenen baulichen Schutz gegen Aussen- und Innenlärm sowie gegen Erschütterungen vorsehen.» (Art. 21 Abs. 1 USG). Und weiter «Der Bundesrat bestimmt durch Verordnung den Mindestschutz» (Art. 21 Abs. 2 USG).
→ Die Bauherrschaft hat angemessene bauliche Massnahmen zum Schutz der Nutzer zu treffen. Da wie in Kapitel 3.3 ausgeführt eine entsprechende Ausführungsverordnung fehlt, ist auch hier zu beurteilen, was als «angemessen» gelten soll. Eine Berufung auf den Stand der Technik, die Anwendung von zweckmässigen Grenzwerten aus dem Ausland (Normen, Richtlinien, evtl. sogar Gesetze) oder eine Anwendung von Grenzwerten aus anderen Schweizer Normen, die ein ähnliches Schutzziel haben ist aus Sicht der Autoren auch hier denkbar. Für einen Teil des abgestrahlten Körperschalls ist der Mindestschutz auf einem «Umweg» über LSV und SIA 181 definiert.²

5.2 Wie wird abgestrahlter Körperschall anderswo gehandhabt

In einem Europäischen Projekt, welches mögliche Lösungen zur Verringerung von eisenbahn-induzierten Erschütterungen untersuchte, wurde unter anderem auch erhoben, welche Normen, Vorschriften und Richtlinien für abgestrahlten Körperschall existieren (Elias & Villot, 2012). Ergänzt durch eigene Recherchen der Autoren lässt sich ein erster Überblick gewinnen, wie in anderen Ländern mit abgestrahltem Körperschall umgegangen wird.

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass häufig eine Kombination aus Durchschnittspegel (L_{Aeq}) und Maximalpegel ($L_{AF,max}$ oder $L_{AS,max}$) verwendet wird, um abgestrahlten Körperschall zu charakterisieren und entsprechende Grenz- oder Richtwerte festzulegen. Häufig wird auch in verschiedene «Schutzqualitäten», wie z.B. gut/ausreichend oder A/B/C/D unterschieden. Um eine gewisse Vergleichbarkeit zu schaffen, wurden nach Möglichkeit die Anforderungen an einen guten Standard in städtischen Wohnzonen gewählt. Übertragen auf die LSV entspräche dies in etwa den Planungswerten für Wohnnutzungen in der Empfindlichkeitsstufe ES III.

Da die Werte jedoch auch in ihrer Erhebung nicht ganz deckungsgleich sind (mit / ohne Korrektur, lauteste Nachtstunde / über ganze Nacht gemittelt, unterschiedliche Nachtzeit, unterschiedlicher Frequenzbereich etc.) lassen sich diese nicht 1:1 vergleichen. Sie können uns aber doch ein recht gut aufzeigen, in welchem Bereich sich die Anforderungen bewegen.

Gruppieren Anforderungen an abgestrahlten Körperschall aus terrestrischem Verkehr und solchem aus Industrie- und Gewerbe sowie Kraftwerke zeigt sich folgendes Bild:

² Es gibt Kantone, die analog dem Vorgehen in der LSV für Aussenlärm verlangen, dass die Planungsrichtwerte der BEKS eingehalten sind, wenn ein Neubau an der Bahn erstellt wird (z.B. Kanton Aargau).

Terrestrischer Verkehr

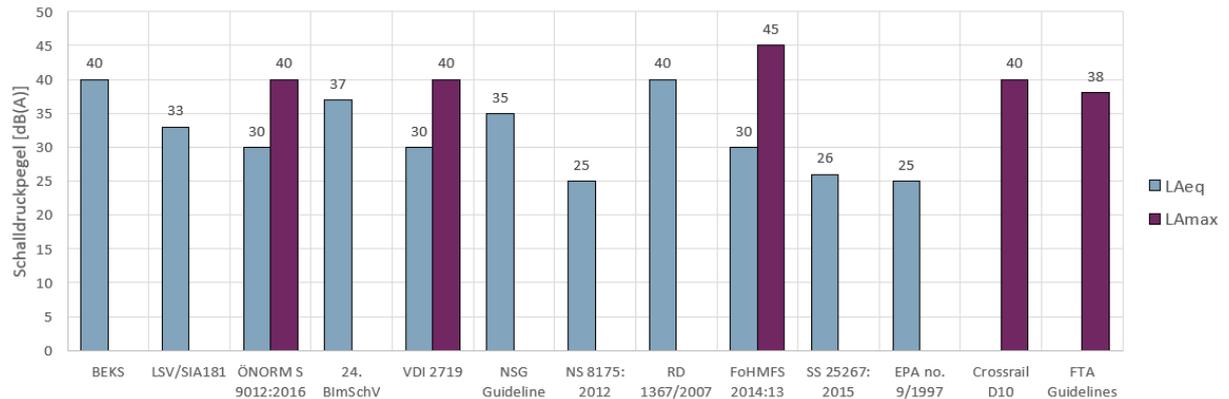


Abbildung 2: Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus terrestrischem Verkehr tagsüber

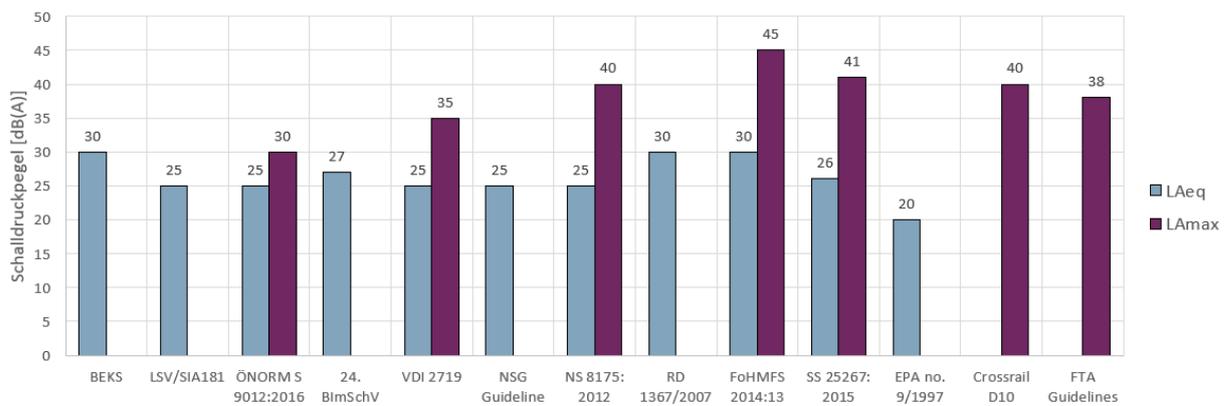


Abbildung 3: Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus terrestrischem Verkehr nachts

Die Gesetze, Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte, die betreffend dem Durchschnittspegel tagsüber bei $L_{Aeq} = 25 - 40$ dB(A) und nachts meist bei $L_{Aeq} = 25 - 30$ dB(A) liegen. Was die Maximalpegel betrifft, so liegen die Grenzwerte tagsüber meist um L_{Amax} ca. 40 dB(A) und nachts eher etwas tiefer bei L_{Amax} ca. 35 – 40 dB(A).

Insgesamt gehört die BEKS eher zu den grosszügigeren Richtlinien. Insbesondere wenn man bedenkt, dass die Grenzwerte in der Niederländischen NSG Guideline bei Tonhaltigkeit um 5 dB verschärft werden. Damit zählen sie zusammen mit den Werten der dänischen Umweltbehörde (EPA) zu den strengsten, die eine Begrenzung des nächtlichen Durchschnittspegels auf $L_{Aeq} \leq 20$ dB(A) fordern.

Industrie- und Gewerbe, Kraftwerke

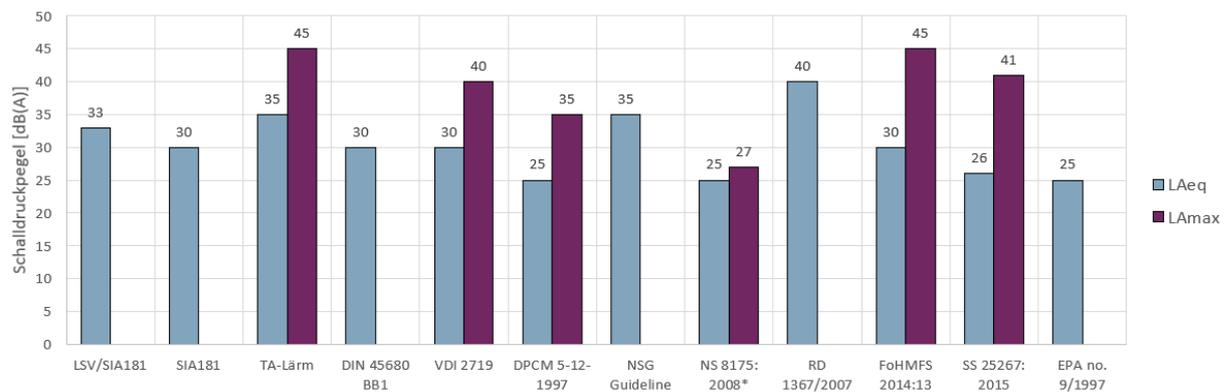


Abbildung 4: Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus Industrie- und Gewerbe sowie Kraftwerken tagsüber

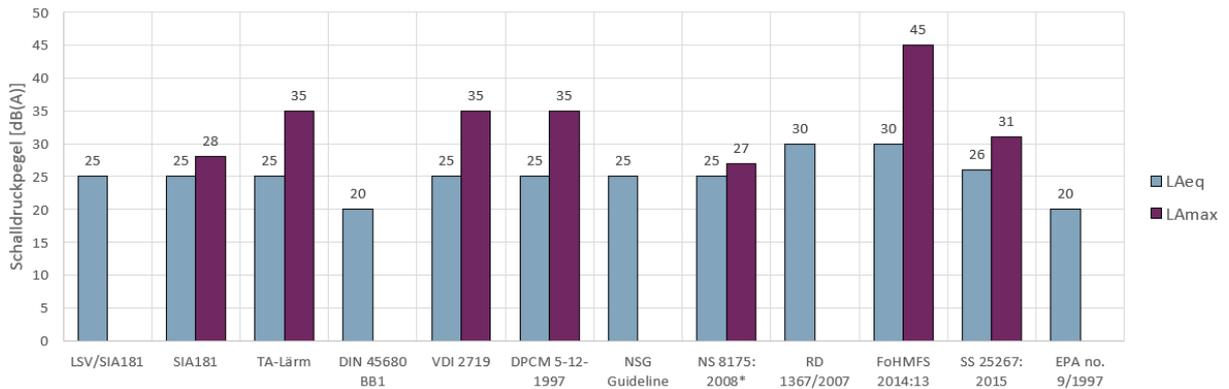


Abbildung 5: Anforderungen an den abgestrahlten Körperschall aus Industrie- und Gewerbe sowie Kraftwerken nachts

Die Gesetze, Normen und Richtlinien definieren Grenzwerte, die betreffend dem Durchschnittspegel tagsüber meist bei $L_{Aeq} = 25 - 35$ dB(A) und nachts bei $L_{Aeq} = 20 - 30$ dB(A) liegen. Was die Maximalpegel betrifft, so liegen die Grenzwerte tagsüber recht breit gestreut, oft in einem Bereich um $L_{Amax} = 35 - 45$ dB(A) und nachts etwas enger beieinander, meist bei $L_{Amax} = 27 - 35$ dB(A).

Die SIA 181 bewegt sich da im Mittelfeld. Berücksichtigt man jedoch die Zuschläge für Ton- und Impulshaltigkeit, zählt sie zu den strengeren Richtlinien.

5.3 Lösungsvorschläge

Zwischenfazit

Eine verlässliche Prognose des abgestrahlten Körperschalls ist bei vielen Quellen (bis jetzt) nicht etabliert (vgl. Kapitel 4.4). Dies macht es auch für Betreiber schwierig, die Auswirkungen Ihrer Anlagen einzuschätzen und entsprechend wirksame Massnahmen zu treffen, selbst wenn es Grenzwerte gäbe. Dazu kommt, dass aufgrund der häufig auftretenden tieffrequenten Anteile auch Messungen sehr anspruchsvoll und nur schwer reproduzierbar sind. Auch die Auswirkungen von tieffrequentem Körperschall in Kombination mit weiteren Sinnesreizen, wie Erschütterungen oder Infraschall auf den Menschen scheinen noch zu wenig bekannt.

Zusammengefasst braucht es weitere Abklärungen, um belastbare Grenzwerte festlegen zu können. Allerdings bieten sowohl die diskutierten Gesetze, Normen und Richtlinien (vgl. Kapitel 3.3f) sowie die das Vorgehen und die Anforderungswerte anderer Länder (vgl. Kapitel 5.2) gute Anhaltspunkte, um den Schutz von Betroffenen im Sinne des USG in Werte zu fassen und so den Vollzug nach USG etwas zu erleichtern.

Vorgehen

Um das Vorgehen bei Problemfällen zu vereinheitlichen, schlagen die Autoren neben einem abgestuften Vorgehen «Orientierungswerte» vor, die sich auf die Schutzziele der Anforderungen aus der LSV und der SIA 181 abstützen. Diese Werte werden teils leicht angepasst, damit sich gleichzeitig im Bereich anerkannter Grenz- und Richtwerte befinden, wie sie in anderen europäischen Ländern angewendet werden. Sie erscheinen den Autoren daher geeignet, um einen Vollzug nach USG zu erleichtern.

5.4 Interner Körperschall < 50 Hz

Eine mögliche Lösung für den Umgang mit tieffrequentem internen Körperschall ist folgendes Vorgehen in 3 Stufen:

1. Stufe:

Die Anforderungen der SIA 181 werden wie bisher gemäss Norm angewendet.

2. Stufe:

Bei heiklen Bauvorhaben³ fordert die Vollzugsbehörde den Anlagenbetreiber, resp. die Bauherrschaft eines Neubaus auf, Massnahmen zum Schutz vor tieffrequentem Körperschall zu treffen. Es ist auch denkbar, dass der Anlagenbetreiber, resp. die Bauherrschaft verpflichtet wird, einen unabhängigen Experten beizuziehen.

3. Stufe:

Kommt es dennoch zu Problemen, dienen «Orientierungswerte» allen Beteiligten als Grundlage, um über die Erfordernis von weiteren Massnahmen und deren Kostenübernahme zu entscheiden.

5.4.1 Orientierungswerte für abgestrahlten Körperschall aus internen Quellen:

Ausdehnung des Schutzes gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen gemäss SIA 181 auf einen Frequenzbereich von 20 Hz – 5'000 Hz

Emissionsseitige Geräuschart (Senderraum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Orientierungswerte $L_{H,20}$		
<i>gering</i>	38 dB	43 dB	33 dB
<i>mittel</i>	33 dB	38 dB	28 dB
<i>hoch</i>	28 dB	33 dB	25 dB

Tabelle 5: Orientierungswerte mit dem Mindestschutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen (analog Tab. 6 SIA 181. 2020)

$L_{H,20}$: Orientierungswert L_H gültig von 20 Hz – 5'000 Hz

Die folgenden Abschnitte der SIA 181 würden für die Anwendung der Orientierungswerte angepasst:

In Ziff 3.4.4.1 würden die Ausführungen des Nachweises mittels Messung wie folgt angepasst:

Für von Dauergeräuschen (erweiterte Messmethode) gilt: $L_{H,tot} = L_{nT,A,20-5000} + K_2 + K_3$

In Ziff 3.4.4.2 würden die Ausführungen des Nachweises in der Projektierung wie folgt angepasst:

Für von Dauergeräuschen (erweiterte Messmethode) gilt: $L_{H,tot} = L_{nT,A,20-5000} + K_2 + K_3 + K_p$

Analoges gilt für Ziff. A.3.4

Die übrigen Ausführungen von Ziff. 3.4 blieben bestehen.

³ Z.B. Wohnbauten mit Kino, Diskothek oder Gewerbebetrieb im selben Gebäude; Wohnbauten mit grosser Seewasserpumpe, Holzschnitzelfeuerung u.dgl.

5.5 Externer Körperschall aus Industrie, Gewerbe, Kraftwerk und Strasse

Eine mögliche Lösung für den Umgang mit externem Körperschall aus Industrie, Gewerbe, Kraftwerk und Strasse ist folgendes Vorgehen in 3 Stufen:

1. Stufe:

Der Anlagenbetreiber berücksichtigt das Vorsorgeprinzip nach USG.

2. Stufe:

Bei heiklen Bauvorhaben⁴ fordert die Vollzugsbehörde den Anlagenbetreiber, resp. die Bauherrschaft eines Neubaus auf, Massnahmen zum Schutz vor abgestrahltem Körperschall zu treffen. Es ist auch denkbar, dass der Anlagenbetreiber, resp. die Bauherrschaft verpflichtet wird, einen unabhängigen Experten beizuziehen.

3. Stufe:

Kommt es dennoch zu Problemen, dienen «Orientierungswerte» allen Beteiligten als Grundlage, um über die Erfordernis von weiteren Massnahmen und deren Kostenübernahme zu entscheiden.

5.5.1 Orientierungswerte für abgestrahlten Körperschall aus externen Quellen:

Strassenverkehr

Umsetzung des Schutzziels der LSV und der SIA 181 bei Aussenlärm:

Beurteilungsperiode	Tag	Nacht
Lärmempfindlichkeit	Orientierungswerte $L_{S,20}$	
<i>gering</i>	<i>38 dB</i>	<i>30 dB</i>
<i>mittel</i>	<i>33 dB</i>	<i>25 dB</i>
<i>hoch</i>	<i>28 dB</i>	<i>20 dB</i>

Tabelle 6: Orientierungswerte mit dem Mindestschutz gegenüber abgestrahltem Körperschall aus Strassenlärm (in Anlehnung an Tab. 2 SIA 181. 2020)

$L_{S,20}$: Orientierungswert L_S für abgestrahlten Körperschall aus Strassen gültig von 20 Hz – 5'000 Hz

Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 3 dB reduzierten Werte gegenüber den Werten aus Tabelle 6

⁴ Z.B. Stanzwerk oder Giesserei neben Wohnzone, Kraftwerk oder Energiezentrale in der Nähe einer Wohnzone u.dgl.

Industrie, Gewerbe und Kraftwerk

Anwendung des Schutzes gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen gemäss SIA 181 auch auf externe Quellen und in einem Frequenzbereich von 20 Hz – 5'000 Hz. Dabei werden die Werte für eine Mischnutzung gemäss Ziff. 3.4.3.1 der SIA 181 herangezogen. Für die Einzelgeräusche werden die weniger strengen Anforderungen für Benutzungsgeräusche verwendet, obwohl es sich in den meisten Fällen um Funktionsgeräusche handeln dürfte.

Emissionsseitige Geräuschart	Einzelgeräusche		Dauergeräusche	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Lärmempfindlichkeit	Orientierungswerte $L_{IGK,20}$			
<i>gering</i>	43	38	33	28
<i>mittel</i>	38	33	30	25
<i>hoch</i>	33	28	30	25

Tabelle 7: Orientierungswerte mit dem Mindestschutz gegenüber abgestrahltem Körperschall aus externer Industrie, Gewerbe und Kraftwerken (in Anlehnung an Tab. 6 SIA 181, 2020)

$L_{IGK,20}$: Orientierungswert L_{IGK} für abgestrahlten Körperschall aus Industrie, Gewerbe und Kraftwerken gültig von 20 Hz – 5'000 Hz

Zur Ermittlung des Orientierungswerts L_{IGK} sind die üblichen Zuschläge K_2 und K_3 gemäss Ziff. A.3.3 der SIA 181 anzusetzen.

Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 4 dB reduzierten Werte gegenüber den Werten aus Tabelle 7. Dabei gilt 25 dB als Kleinstwert.

6 Literatur

- [1] Abteilung für Umwelt AG (2023, 31. März). *Erschütterungen und Körperschall*. <https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu/umwelt-natur-landschaft/umwelt/erschuetterungen-und-koerperschall>
- [2] Amt für Natur und Umwelt GR. (2023, 2. Juni). *Erschütterungen und Körperschall*. <https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/ekud/anu/themen/laerm/erschuetterungen/Seiten/info.aspx>
- [3] Amt für Umwelt und Energie BS. (2011). Lärmbegrenzung bei Haustechnikanlagen. Merkblatt LFS 1/96. https://www.aue.bs.ch/dam/jcr:9cbc747a-fb5c-42fd-b28f-73c2ba876cc4/lfs_1-96.pdf
- [4] Amt für Umwelt SG. (2023, 2. Juni). *Schutz vor Erschütterungen*. <https://www.sg.ch/umwelt-natur/umwelt/Vollzugshilfsmittel/gemeindeaufgaben-beim-laermschutz/schutz-vor-erschuetterungen.html>
- [5] Amt für Umweltschutz Stadt Bern. (2023, 16. März). *Beurteilung von Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall vor dem Inkrafttreten der Verordnung (ohne hausinterne Quellen)*. <https://www.bern.ch/themen/umwelt-natur-und-energie/larm/downloads-und-links/downloads/beurteilung-von-erschuetterungen-vor-vse-version.pdf>
- [6] Amt für Umweltschutz Stadt Bern. (2023, 16. März). *Bauen in erschütterungsbelasteten Gebieten: Auflagen in nicht erschlossenen Bauzonen*. <https://www.bern.ch/themen/umwelt-natur-und-energie/larm/downloads-und-links/downloads/bauen-im-erschuetterungsbelasteten-gebiet-nicht.pdf>
- [7] Amt für Umweltschutz Stadt Bern. (2023, 16. März). *Bauen in erschütterungsbelasteten Gebieten: Auflagen in erschlossenen Bauzonen*. <https://www.bern.ch/themen/umwelt-natur-und-energie/larm/downloads-und-links/downloads/bauen-im-erschuetterungsbelasteten-gebiet.pdf>
- [8] BAFU. (2023, 3. Juni). *Massnahmen gegen Erschütterungen*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/fachinformationen/massnahmen-gegen-laerm/massnahmen->

gegen-erschuetterungen.html#:~:text=Gem%C3%A4ss%20Artikel%2015%20des%20Umwelt-schutzgesetzes,es%20allerdings%20noch%20keine%20Ausf%C3%BChrungsverordnung

- [9] BAFU. (2023, 3. Juni). *Massnahmen gegen Strassenlärm*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/fachinformationen/massnahmen-gegen-laerm/massnahmen-gegen-strassenlaerm.html>
- [10] BAFU. (2023, 3. Juni). *Laufende und geplante Rechtsetzung 2023-2026 im Umweltbereich*. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/recht/fachinfo-daten/rechtsetzungsprogramm.pdf.download.pdf/rechtsetzungsprogramm.pdf>
- [11] Barbagallo, M. (2020). Building Acoustics – Regulations, parameters, studies. https://www.akustik.lth.se/fileadmin/tekniskakustik/education/2020_VTAF01/F8_Byggakustik1_VTAF01_2020.pdf
- [12] Billeter, P., Egger, A. & Müller, R. (2014). Neuer Ansatz zur Bestimmung des abgestrahlten Körperschalls in Räumen – Wie gross ist das Verbesserungspotential. <https://zcag.ch/wp-content/uploads/2022/02/2014-06-egger.pdf>
- [13] BUWAL (1999). Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenverkehrsanlagen (BEKS). https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/laerm/uv-umwelt-vollzug/weisung_fuer_diebeurteilungvonerschuetterungenundkoerperschallbe.pdf.download.pdf/weisung_fuer_diebeurteilungvonerschuetterungenundkoerperschallbe.pdf
- [14] Crossrail Information Paper. (2008). Groundborne noise and vibration. Crossrail. London
- [15] DIN 45680 (1997). Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Beuth-Verlag. Berlin
- [16] DIN 45680 Beiblatt 1 (1997). Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen. Beuth-Verlag. Berlin
- [17] Elias, P. & Villot M. (2012). Review of existing standards, regulations and guidelines as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration – Deliverable D1.4. RIVAS
- [18] Eniwa Kraftwerk AG (2021). Neues Flusskraftwerk Aarau – Beilage 5.5 zum UVB – Erschütterungen und Körperschall. Buchs
- [19] Fleischer, P. S. (2007). Erschütterungsquelle Schienenverkehr. *Tec21*, 133 (13), 25-31. <http://doi.org/10.5169/seals-108096>
- [20] FoHMFS (2014). Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus. Folkhälsomyndighetens författningssamling. Norstedts Juridik AB/Fritzes. Stockholm
- [21] Gerber, M. (2017). Stand der Forschung zur Belastungs-Wirkungsbeziehung von Immissionen durch Erschütterungen und abgestrahlten Körperschall. https://www.sgassa.ch/docs/events/8_gerber.pdf
- [22] GTA (2023, 26. März). *Erschütterungsschutz*. <https://gta-akustik.de/erschuetterungsschutz/>
- [23] Hepperle, E. (2000). Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall: ein Beispiel praxisorientierter Rechtsentwicklung. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 118 (14), 318. <http://doi.org/10.5169/seals-79904>
- [24] Hentschke, H. (2021). *Tieffrequenter Schall im Immissionsschutzrecht*. https://www.umwelt.sachsen.de/download/laerm_licht_mobilfunk/08_TfG_im_Immissionsschutzrecht_Hentschke.pdf
- [25] Jakobsen, J. (2001). Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration. *Journal of low frequency noise, vibration and active control*. 20 (3), 141-148. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1260/0263092011493091>
- [26] Kubicek, R. (1989). Vorkommen, Messung, Wirkung und Bewertung von extrem tieffrequentem Schall einschliesslich Infraschall in der kommunalen Wohnwelt. Dissertation TH Zwickau
- [27] Kubicek, R. (2003). Schutz vor tieffrequenten Geräuschen – Anforderungen an Messung und Beurteilung. *Seminar Geräuschemissionen und –immissionen bei tiefen Frequenzen*. Reinhardsgrimma
- [28] LAI. (2023, 12. Mai). *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Verminderung von Erschütterungs-immissionen*. https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/erschuetterungsleitfaden_veroeffentlicht_stand_2018_1529053753.pdf

- [29] Lassche, G. & Koppmans, F. (2001). Low frequency noise criteria: foundation, applicability and consequences. *Internoise 2001*. Den Haag, Holland
- [30] Miljøstyrelsen. (1997). Orientering Nr. 9 1997- Lavfrekvent støj, infralyd og vibrationer I eksternt miljø. Miljø- og Energiministeriet Miljøstyrelsen. København
- [31] Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Stønmålinger. (2012). Orientering Nr. 45 2012- Environmental noise regulation in Denmark. Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Stønmålinger, Hørsholm
- [32] Møller, H. (1987) Annoyance of Audible Infrasound. *Journal of Low frequency Noise and Vibration*, 6 (1)
- [33] NSG. (1999). NSG-Richtlijn Laagfrequent Geluid. Nederlandse Stichting Geluidhinder. Delft
- [34] ÖNORM:S 9012. (2016). Beurteilung der Einwirkung von Schwingungsimmissionen des landgebundenen Verkehrs auf den Menschen in Gebäuden – Schwingungen und sekundärer Luftschall. Österreichisches Normungsinstitut. Wien
- [35] Rutishauser, G. & Stühler, W. (2000). Baudynamik und Erschütterungsschutz: Einfluss baulastdynamischer Gebäudeeigenschaften auf Erschütterungsimmissionen. *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 118 (14), 313 - 317. <http://doi.org/10.5169/seals-79903>
- [36] Serra, M. & Asselineau, M. (2012) Solid borne noise in buildings: how does one cope?. *Acoustics 2012*. Nantes, France
- [37] Schmidt, M., Hansen, H., Böhler, C. & Scharff, M. (2016). Forschungsvorhaben zur Messung und Prognose der Einwirkung tieffrequenter Schalle an Immissionsorten für DIN 45680. Abschlussbericht. Deutsches Institut für Normung (DIN). Berlin
- [38] Schröder, M. (2017). *Tieffrequenter Lärm in Wohngebieten*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/dokumente/170314_tieffrequenter_laerm_04_schroeder.pdf
- [39] SECO (2023). *Wegleitung zur Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz*. Bern
- [40] SIA 181:1976 (1976). Schallschutz im Wohnungsbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich
- [41] SIA 181:1988 (1988). Schallschutz im Hochbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich
- [42] SIA 181:2006 (2006). Schallschutz im Hochbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich
- [43] SIA 181:2020 (2020). Schallschutz im Hochbau. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA. Zürich
- [44] SOSFS (2005). *Buller inomhus*. Socialstyrelsens kundtjänst, Stockholm
- [45] Tributsch, A. & Appel, S. (2019). Technische Aspekte des Schutzes vor Erschütterungen aus dem Schienenverkehr. https://www.fehmarnbelt-dialogforum.de/wp-content/uploads/2020/10/190523_Prae_FBQ-Dialog_Tributsch.pdf
- [46] VDI 2038:2013 (2013). *Sekundärer Luftschall – Grundlagen, Prognose, Messung, Beurteilung und Minderung*. Beuth-Verlag. Berlin
- [47] VDI 2719:1987 (1987). *Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen*. VDI-Verlag. Düsseldorf
- [48] Verwaltungsgericht SO. (2023, 2. Juni). *Urteil vom 12. August 2020 betreffend Kleinwasserkraftwerk Dünnern*. https://entscheidsuche.ch/docs/SO_Omni/SO_VG_001_VWBES-2020-18_2020-08-12.html
- [49] Winkler, B. (2018). Bauwerkserschütterungen: Ermittlung, Beurteilung und Massnahmen. *Bauphysik im Fokus - AMiP*. Januar 2018, 10 - 15. https://www.amip.at/wp-content/uploads/2020/12/Bauphysik_im_FOKUS_2018_AMiP_WEB.pdf
- [50] Eulitz, C. Zobel, P., Ost, L., Möhler, U. & Schröder, M. (2019). Ermittlung und Bewertung tieffrequenter Geräusche in der Umgebung von Wohnbebauung. Umweltbundesamt. Dessau-Rosslau