



Aus- und Weiterbildungskurs „Lärm- und Schallschutz“

Werner Stalder
dipl. Bau. Ing. HTL / dipl. Akustiker SGA
Listrighöhe 11
CH – 6020 Emmenbrücke

STALDERLAERMSCHUTZ.COM

September 2019

Ergänzungen 17 – 08 – 2022



Ehrenkodex

ANLEITUNG

EINLADUNG / PROGRAMM WEITERBILDUNGSKURS 2023

1. ALLGEMEINES ZUM LÄRM
2. GRUNDBEGRIFFE DER AKUSTIK
3. SCHALLEMPFINDUNG
4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN
5. LÄRMERMITTLUNG
6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN
7. STRASSENLÄRM
8. EISENBAHNLÄRM
9. SCHIESSLÄRM
10. INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM
11. FLUGLÄRM
12. BAULÄRM
13. LÄRM VON VERANSTALTUNGEN («DISCOLÄRM»)
14. ALLTAGSLÄRM
15. RAUMAKUSTIK
16. LUFTSCHALL IM GEBÄUDE
17. (SCHALLSCHUTZ-) FENSTER
18. KÖRPERSCHALL IM GEBÄUDE
19. HAUSTECHNISCHE ANLAGEN
20. Fotos – SANIERUNGEN (Art. 16 ff USG / Art. 13 ff. LSV)
21. Fotos – NEUBAUTEN (Art. 20 ff USG / Art. 29 ff. LSV)

QUELLENVERZEICHNIS UND DANKE

CURRICULUM VITAE – WERNER STALDER



Die Käufer bestätigen, dass

- das COPYRIGHT von Werner Stalder für das Skript vollumfänglich respektiert wird,
- das käuflich erworbene Skript in der elektronischen Fassung nur alleine benutzt wird,
- das individuelle Benutzer-Passwort nicht anderen Personen mitgeteilt oder zugänglich gemacht wird,
- das Skript nicht auf einem zentralen Server abgespeichert wird, so dass es von anderen Benutzern eingesehen werden kann, und dass
- weder das ausgedruckte und hernach gescannte Skript, noch jenes in elektronischer Form auf einer Internetseite aufgeschaltet resp. verlinkt wird, in einer Tauschbörse erscheint oder in irgendwelcher Art veräussert wird.

Besten Dank!

PS: Jedes erworbene Skript ist mit mehreren Techniken codiert.

Haftungsausschluss von Werner Stalder:

Aufgrund der Unverbindlichkeit der Informationen im Skript ist jede Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Qualität und Zuverlässigkeit der Informationen sowie für Ergebnisse, die durch die Nutzung der Informationen erzielt werden können, ausgeschlossen.

Anregungen zum Skript-Inhalt:

Konstruktive Anregungen, Korrekturvorschläge, Ergänzungen, Hinweise auf fehlerhafte Links, etc. werden gerne entgegengenommen.

EMails bitte an: werner.stalder@hotmail.ch

[Kontakt](#)



ANLEITUNG

Klicken Sie an beliebiger Stelle mit gleichzeitig gedrückten STRG- resp. Ctrl- und Home-Taste um zum Inhaltsverzeichnis und dort auf das gewünschte Hauptkapitel und hernach auf die jeweiligen Unterkapitel zu gelangen.

Klicken Sie im Inhaltsverzeichnis, im Verzeichnis der Unterkapitel, im Abbildungsverzeichnis oder bei Querverweisen (sogenannten Links) mit der linken Maustaste auf das Element, um die entsprechende Seite im vorliegenden Dokument zu finden. Bei den verlinkten Stellen erscheint der Cursor jeweils mit einem «Händchen».

Sie können jederzeit mit einem Stichwort und der Funktion «Suchen» auf die jeweiligen Stellen im Skript gelangen.

Im Skript werden in den Fusszeilen teilweise die Suchbegriffe in GOOGLE angegeben. Dies soll die Quellensuche im Internet erleichtern, weil die Links oftmals sehr lang sind und bereits nach kurzer Zeit nicht mehr funktionieren.

Jeweils gelb hinterlegte Textpassagen sind direkte Links zu Wikipedia:

[Wikipedia](#)

Jeweils blau unterstrichene Textpassagen sind direkte Links ins Internet:

[Links ins Internet](#)

Jeweils grün unterstrichene Textpassagen sind direkte Links im jeweiligen Hauptkapitel:

[Links innerhalb des Hauptkapitels](#)

Empfehlenswert ist die Zuschaltung eines zweiten Monitors, um mit der Funktion F10 den Bildschirm zu erweitern. Damit werden das Skript auf dem einen Bildschirm und die mit den Links verknüpften Website's oder EXCEL-Blätter auf dem zweiten Bildschirm angezeigt

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Einladung zum Aus- und Weiterbildungskurs 2023

Kursdaten, Kurszeiten: 14 Abende

jeweils montags, 18:00 bis 21:20 Uhr

9., 16., 23., 30. Januar, 6., 13. Februar, 6., 13., 20., 27. März, 3., 17., 24. April, 1. Mai
(Reservetag 8. Mai 2023)

Kursleiter / Referent:

Werner Stalder, dipl. Ing. HTL / dipl. Akustiker SGA
Team- und Projektleiter Dienststelle Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern (bis 2016)
Nebenamtlicher Dozent Hochschule für Technik und Architektur HTA Luzern (bis 2006)
Diplomexperte Hochschule für Technik und Architektur HTA Luzern (bis 2006)
Weiterbildungskurse, Referate, Schulungen zu „Lärm- und Schallschutz“ (seit 1987)



Weitere Fachreferenten:

Dr. Matthias Brechbühl, Norsonic Brechbühl AG (CadnaA, Messgeräte, akustische Kamera)
Dr. Sascha Fässler, Projektleiter, Kanton Basel-Stadt (Wärmepumpen)
Dr. Kurt Heutschi, Senior Scientist Empa (SonRoad)
Roger Schürmann, Bereichsleiter, Stadt Luzern (Tempo 30)
Michael Strickler, Strassenlärmspezialist, Kanton Aargau (lärmarme Strassenbeläge)

Kursort:

Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kanton Aargau, Entleberstrasse 22,
5000 Aarau, Sitzungszimmer „Aare“

Die Räumlichkeiten werden verdankenswerter Weise durch den Kanton Aargau (Kontaktpersonen Dejan Milo und Heiko Loretan) zur Verfügung gestellt. Für die Mitarbeitenden des Kantons Aargau wird keine Kursgebühr erhoben.

Lehrmittel:

Skript „Lärm- und Schallschutz“, farbig, Papierform, ca. 400 Seiten (2017)

1. ALLGEMEINES ZUM LÄRM
2. GRUNDBEGRIFFE DER AKUSTIK
3. SCHALLEMPFINDUNG
4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN
5. LÄRMERMITTLUNG
6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN
7. STRASSENLÄRM
8. EISENBAHNLÄRM
9. SCHIESSLÄRM
10. INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM
11. FLUGLÄRM
12. BAULÄRM 2) 2019
13. LÄRM VON VERANSTALTUNGEN 2) 2020
14. ALLTAGSLÄRM
15. RAUMAKUSTIK
16. LUFTSCHALL IM GEBÄUDE 2) 2022
17. (SCHALLSCHUTZ-) FENSTER 1)
18. KÖRPER-SCHALL IM GEBÄUDE 1) 2) 2022
19. HAUSTECHNISCHE ANLAGEN 1) 2) 2022
20. FOTOS - SANIERUNGEN (Art. 16 ff USG / Art. 13 ff. LSV)
21. FOTOS - NEUBAUTEN (Art. 20 ff USG / Art. 29 ff. LSV)

¹⁾ Diese Kapitel bzw. Themen werden am Kurs nur am Rande behandelt
²⁾ Letzte Überarbeitung des Skriptes

Werkstoffliches:

Frontalunterricht, Power-Point-Applikationen mit zahlreichen Video- und Geräuschbeispielen, Messgeräte- und Softwaredemos, stoffbezogene Diskussion, Fallbeispiele und Fragebeantwortung

Rezensionen:

[Rückmeldungen](#) von früheren Teilnehmerinnen und Teilnehmern

Kurskosten:

CHF 1'650.- (Kursgebühr), zzgl. Kursunterlagen CHF 250.-

Teilnehmerzahl:

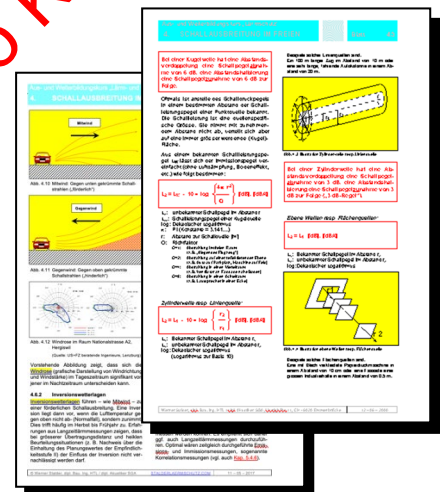
Maximal 30 Personen vor Ort in Aarau

Hinweise:

Die Anmeldungen werden nach ihrem zeitlichen Eingang priorisiert.

Auskunft / Anmeldung:

werner.stalder@hotmail.ch; [Anmeldeformular](#)





- Online-Teilnahme:** Der Kurs wird online mit «zoom» übertragen. Technisch wird hierfür ein sehr grosser Aufwand betrieben. Es werden mehrere PC's und Kameras im Einsatz sein, um auch die Versuche und Demonstrationen online verfolgen zu können. Beat Stalder (Bruder von Werner Stalder) wird als Video-/«zoom»-Assistent agieren und permanent mit den online-Teilnehmenden in Kontakt stehen. Vor Kursbeginn wird den Interessierten auf Wunsch anlässlich eines Test-Meetings das Handling mit «zoom» erklärt. Die Teilnehmenden brauchen keine «zoom»-Lizenz. Die Teilnehmenden können nach Absprache alle oder nur einzelne Kursabende online verfolgen oder persönlich in Aarau anwesend sein. Die Vorträge werden nicht aufgezeichnet. Eine Aufzeichnung durch die Teilnehmenden ist u.a. aus urheberrechtlichen Gründen untersagt.
- Rückerstattungen:** Im Falle von unerwarteten Restriktionen hinsichtlich der Nutzung des Sitzungszimmers in Aarau (z.B. Pandemie, Energiekrise) müssen alle Teilnehmenden auf die online-Übertragung wechseln. Sollte der Kurs (aus welchen Gründen auch immer) nicht beendet werden können, wird je ausfallender Kurstag Fr. 100.- rückerstattet. Ferien- oder krankheitsbedingte Ausfälle oder anderweitige Absenzen von den Teilnehmenden werden nicht rückvergütet.
- Kursunterlagen:** Zu Beginn des Kurses wird den Teilnehmenden das ca. 400-seitige Skript in Papierform (A4-Ordner) abgegeben. Zudem wird den Teilnehmenden spätestens nach dem ersten Kursabend ein Link zum download des entsprechenden, personalisierten *.pdf zugestellt.
- Kursbestätigung:** Nach Abschluss des Kurses wird den Teilnehmenden eine Kursbestätigung zugestellt.

Kursdaten:

Januar 2023						
Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
						1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

Februar 2023						
Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27						

März 2023						
Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

April 2023						
Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Mai 2023						
Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14

	1. bis 14. Kurstag
	Luzerner- resp. Basler Fasnacht, Ostermontag
	Reservetag



1. ALLGEMEINES ZUM LÄRM

1.	ALLGEMEINES ZUM LÄRM	2
1.1	Was ist eigentlich Lärm.....	2
1.2	Bedeutende Lärmquellen.....	3
1.3	Wirkungen des Lärms.....	3
1.4	Ziel der Lärmbekämpfung.....	4
1.5	Lärm, Akustik und Schall	5
1.6	Ruhe / Stille	5
1.7	Klangraumgestaltung.....	5

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1.1	Unsere Ohren können wir nicht schliessen	2
Abb. 1.2	Hohe Akzeptanz für natürliche Geräusche	2
Abb. 1.3	Begeistertes Publikum in einer Disco	2
Abb. 1.4	Jodelnde Appenzeller	2
Abb. 1.5	Blitz am Nachthimmel	2
Abb. 1.6	Werbeplakat der Lärmigen Schweiz (ca. 1980)	3
Abb. 1.7	Tages- und Nachtzyklus des Menschen	4
Abb. 1.8	Schlafzyklen.....	4
Abb. 1.9	Typische Schallübertragungen	5
Abb. 1.10	Reflexionsarmer Raum («schalltoter Raum»)	5
Abb. 1.11	Karikatur „Lass mich in Ruhe ...“	5

Abkürzungen:

BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
ES:	Empfindlichkeitsstufe
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich (Baudirektion, Tiefbauamt)
IGW:	Immissionsgrenzwert
Leq:	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _{max} :	Maximalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
REM:	Traumschlaf (REM: Rapid Eye Movement)
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



1. ALLGEMEINES ZUM LÄRM

1. ALLGEMEINES ZUM LÄRM

1.1 Was ist eigentlich Lärm

Eine prägnante Definition von Lärm ist «unerwünschter Schall». Unwillkommene, unangenehme, belästigende oder gar gesundheitsgefährdende Schallereignisse werden als Lärm bezeichnet. Es hängt aber offensichtlich von sehr vielen äusseren und persönlichen Einflussgrössen ab, ob ein bestimmtes Geräusch als unerwünscht, d.h. als Lärm wahrgenommen wird oder nicht. Demgegenüber gilt zu beachten, dass Schall ein physikalischer Vorgang und daher frei von einer persönlichen Wertung ist. Bekanntlich findet erst nach der Aufnahme des Schallereignisses durch unsere Ohren und der Weiterleitung des Reizes zum Gehirn die individuelle und subjektive Bewertung statt.

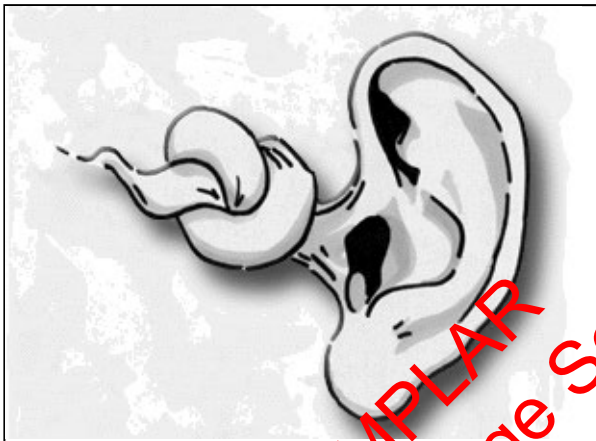


Abb. 1.1 Unsere Ohren können wir nicht schließen...

Es gibt Schallereignisse, die überwiegend angenehm empfunden werden, wie z.B. natürliche Geräusche (Vogelgezwitscher, Plätschern eines Baches, Blätterrauschen im Wald, Windgeräusche im Freien, etc.).



Abb. 1.2 Hohe Akzeptanz für natürliche Geräusche

Musik wird ebenfalls als angenehm empfunden, wobei hier bereits Differenzierungen, je nach der persönlich bevorzugten Stilrichtung (Volksmusik, Klassik, Popmusik, etc.), der momentanen Tätigkeit, der physischen und psychischen Verfassung usw. gemacht werden müssen.



Abb. 1.3 Begeistertes Publikum in einer Disco



Abb. 1.4 Jodelnde Appenzeller

Daneben gibt es Schallereignisse, die bekanntermassen aufreizen, nervös machen oder erschrecken, wie z.B. vorbeifahrende Autos, tief fliegende Flugzeuge, Knalle, Donnergrollen, usw.



Abb. 1.5 Blitz am Nachthimmel

Mit den vorgenannten Zusammenhängen wird das Grundproblem der Lärmbekämpfung deutlich angezeigt, indem das subjektive und individuelle Moment des Lärms betont wird.



Der Nachtschwärmer, welcher nach Mitternacht im Bad eines Mehrfamilienhauses in voller Lautstärke singt, erzeugt seiner Ansicht nach Musik als Ausdruck eines guten Lebensgefühls. Dieser Schall wird erst beim erholungssuchenden, schlafbedürftigen, gestressten Nachbarn zum Lärm. Ebenso fällt es einem engagierten Schützen schwer sich vorzustellen, dass er bei der Ausübung seines liebsten Hobbys Lärm erzeugen könnte. Schliesslich wird in einer Disco absichtlich sehr intensiver Schall erzeugt, ohne dass dies vom Besucher als Lärm bezeichnet würde. Ob die Nachbarn und Anwohner einer solchen Vergnügungsstätte gleich empfinden?

In der Praxis ist es schwierig, Einigkeit über ein umfassendes und konsequentes Lärmbekämpfungsprogramm zu erzielen, weil Lärm grundsätzlich nur von den andern, niemals von einem selbst gemacht wird. Besonders deutlich wird dies beim Strassenlärm, jener Lärmart, welche in der Schweiz mehr Leute stört, als alle anderen Lärmarten zusammen. Da zugleich die grosse Mehrheit selbst Verursacher ist, wird auf diesem Gebiet kein oder jeweils nur ein sehr kleiner Fortschritt erzielt.



Abb. 1.6 Werbeplakat der [Lärmliga Schweiz](#) (ca. 1980)

Beim Begriff „unerwünschter Schall“ handelt es sich um einen psychologischen Ausdruck. In den letzten Jahren wurde der Fokus (leider) weg vom Psychologischen gelegt und primär auf die gesundheitlichen Folgen des Lärms gerichtet. Geräusche sind unter diesen Voraussetzungen dann Lärm, wenn die Auswirkungen der Lärmbelastigungen das körperliche, seelische und/oder soziale Wohlbefinden mindern oder zu Krankheiten führen. In letzterem Fall stehen die medizinischen Folgen im Vordergrund. Dabei wird die

Beweisführung immer schwieriger, weil Krankheiten oftmals nicht nur auf eine Ursache, sondern auf das Zusammenwirken verschiedener Wirkungen zurückzuführen ist.

1.2 Bedeutende Lärmquellen

Heute ist der Mensch zahlreichen Geräuschquellen ausgesetzt. Vor der Industrialisierung waren es vor allem Geräusche der Natur und des Menschen selbst, die in Erscheinung traten. Im Maschinenzeitalter, bedingt durch die fortschreitende Modernisierung haben sich diesen natürlichen Geräuschquellen neue hinzugefügt, aber mit längerer Einwirkungsdauer und wesentlich höherer Intensität.

Lärmquellen mit besonderer Bedeutung:

- Strassenverkehrslärm
- Eisenbahnlärm
- Fluglärm (zivile Luftfahrt, Kleinaviatik, Militär, Modellflug)
- Industrie- und Gewerbelärm
- Lärm von Schiessanlagen u. ä.
- Freizeitlärm (Fussballmatch, Disco, Freiluftkonzerte etc.)
- Baulärm (Abbau-, Ramm-, Vibrationsvorgänge, LKW-Fahrten, etc.)
- Nachbarschaftslärm (Hundegebell, Rasenmäher, Laubbläser, Kuhglocken, Wohnungslärm)

1.3 Wirkungen des Lärms

Die Wissenschaftler sind noch immer damit beschäftigt, die vielfältigen Zusammenhänge zwischen Lärm und Gesundheitsgefährdung aufzuklären. Es sind bereits viele Wirkungen erkannt worden, die von Unbehaglichkeit (Schlafstörungen, Sprachstörungen, Konzentrationsschwierigkeiten, etc.), den physischen Auswirkungen (z.B. Unruhe, Nervosität, Ärger, Gereiztheit, etc.), den physiologischen Auswirkungen (u. a. Erhöhung des Blutdruckes und der Atem- und Herzschlagfrequenzen) bis hin zu Gewebeschädigungen im Ohr reichen.

Es ist erwiesen, dass sich die gesundheitsbeeinträchtigenden Wirkungen des Lärms nicht nur auf die allgemein bekannten Hörschäden (nach wie vor verbreitete Berufskrankheit) beschränken. Bereits bei relativ geringer Lärmeinwirkung kann die Funktion der nervösen Zentren sowie des Organismus als Ganzes beeinflusst und gestört werden. Die Lärmreize können im weiteren ungesunde Alarmreaktionen im Körper auslösen (Schreckreaktionen, Weckreize, Herzklopfen, Anstieg des Blutdruckes). Solche Reaktionen sind an sich Schutzmechanismen des Körpers, die jeweils nur bei erhöhter Gefahr oder einer direkten Bedrohung ausgelöst werden sollten. Als unmittelbare Folgen solcher Lärmbelastungen sind hormonale Störungen, Stressreaktionen u. a. nicht selten.



Aus medizinischer Sicht muss den Schlafstörungen die grösste Bedeutung beigemessen werden, weil der Beanspruchung am Tag eine Phase der Erholung (Wiederherstellung der physischen und psychischen Kräfte) folgen muss, um die Gesundheit langfristig erhalten zu können. Lärmspitzen von ca. 55 dB(A, Fast) am Ohr des schlafenden Menschen liegen zwar unter dem Pegel von 60 dB(A), wie er vom BAFU in Anlehnung an die Regelung der LSV für Fluglärm angegeben wird. Dennoch ist mit Aufweckreaktionen zu rechnen, jedoch ist deren Wahrscheinlichkeit gering (BGE 1A.159/2005)

Ein L_{eq} von 50 dB(A) nachts (Immissionsgrenzwert der Empfindlichkeitsstufe II) in der Mitte des offenen Fensters entspricht ungefähr einem L_{eq} von 35 bis 40 dB(A) beim Ohr des schlafenden Menschen bei einem gekippten oder spaltgeöffneten Fenster. In ca. 1% der Fälle mit Strassenverkehr liegt der Maximalpegel mindestens 11 dB(A) über dem L_{eq} . Daraus resultiert ein L_{max} von ca. 46 bis 51 dB(A, Fast). D.h. bei eingehaltenem IGW / ES II (50 dB(A) in der Nacht) sind keine statistisch nachweisbaren Aufwachreaktionen zu verzeichnen.

Chronische Übermüdung, frühzeitige Ermüdung, innere und äussere Nervosität, erhöhte Reizbarkeit, spürbare Abnahme der Leistungsbereitschaft, etc., sind Beispiele von negativen Folgen solcher Schlafstörungen.

Im Berufs- und Alltagsleben kann Lärm unmittelbar die Konzentrationsfähigkeit stören, die Aufmerksamkeit beeinträchtigen, die Sprachverständlichkeit schmälern oder Alarmsignale akustisch überdecken. Oft kann damit die Zunahme von Fehlern, sowie die Ursache von Unfällen oder Leistungseinbussen erklärt werden.



Abb. 1.7 Tages- und Nachtzyklus des Menschen

Literatur: [Auswirkungen des Lärms](#) (BAFU)

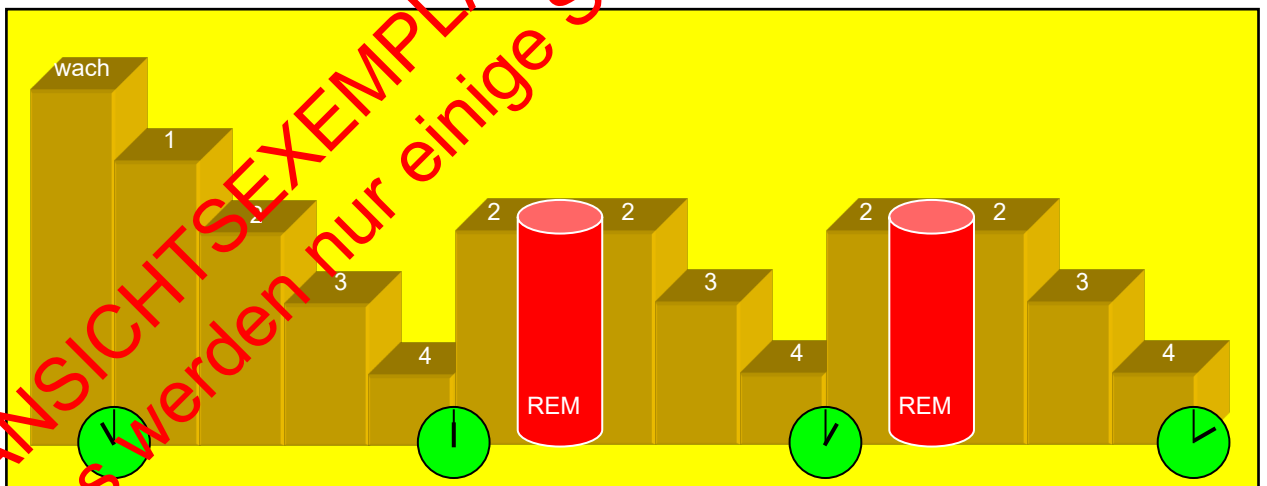


Abb. 1.8 Schlafzyklen

Während der Nacht wechselt das Schlafniveau in etwa stündlich; insgesamt 6 bis 8 Zyklen pro Nacht

1: Leichter Schlaf, die Muskeln erschlaffen. Die Körpertemperatur sinkt.

2: Der Schlafende kann durch wenig laute Geräusche geweckt werden.

REM: Rapid Eye Movement; Traumschlaf

3 + 4: Tiefschlaf. Herzschlag und Atmung sind gleichmässig. Der Schlafende ist durch laute Geräusche weckbar.

1.4 Ziel der Lärmbekämpfung

Ziel der Lärmbekämpfung ist den Menschen gegen alle Arten von Lärmeinwirkungen zu schützen, die ihn bei der Arbeit, in der Freizeit, in der Erholungsphase, während des Schlafs stören oder gar seine Gesundheit gefährden.

«Eines Tages wird der Mensch den Lärm ebenso unerbittlich bekämpfen müssen wie die Cholera und die Pest.»

Robert Koch (1843 - 1910)



2. GRUNDBEGRIFFE DER AKUSTIK

4

2.1	Definition von Schall	4
2.1.1	Longitudinalwellen (Dichtewellen).....	4
2.1.2	Transversalwellen.....	4
2.1.3	Biegewellen	4
2.1.4	Wasserwellen	4
2.2	Schallübertragungen.....	4
2.2.1	Luftschall	4
2.2.2	Körperschall.....	5
2.2.3	Kombinierte Schallübertragungen.....	6
2.2.4	Flüssigkeitsschall.....	6
2.2.5	Emissionsbegrenzung	6
2.3	Schalldruck p [Pa]	6
2.4	Schalldruckpegel L [dB].....	7
2.5	Pegelarithmetik	7
2.6	Typische Geräusche mit den jeweiligen Schalldruck- resp. Pegelwerten.....	8
2.7	Pegelgenauigkeit / Pegelrundung.....	9
2.8	Schallgeschwindigkeit v [m/s]	9
2.9	Wellenlänge λ [m].....	9
2.10	Frequenz f [Hz]	9
2.11	Zusammenhang zwischen c , λ , f	10
2.12	Dopplereffekt	10
2.13	Überschallknall	10
2.14	Oszillogramm und Spektrum	11
2.14.1	Reiner Ton.....	11
2.14.2	Klang	11
2.14.3	Geräusch	12
2.14.4	Weisses Rauschen / rosa Rauschen.....	12
2.15	Mittelungspegel L_{eq} [dB(A)]	13
2.16	Statistische Pegel [dB(A)].....	13
2.17	Beurteilungspegel L_r [dB(A)].....	14
2.18	Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{den} [dB(A)]	15
2.19	Schallenergiepositionspegel L_E [dB(A)]	15

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 2.1	Longitudinalwellen	4
Abb. 2.2	Animierte Longitudinalwellen	4
Abb. 2.3	Animierte Transversalwellen	4
Abb. 2.4	Animierte Biegewellen	4
Abb. 2.5	Animierte Wasserwellen	4
Abb. 2.6	Luftschallquellen	5
Abb. 2.7	Fishfinder (Lowrance und Garmin)	5
Abb. 2.8	Körperschallquellen	5
Abb. 2.9	Luftdrucküberlagerter Schalldruck	6
Abb. 2.10	Verlauf des Schalldruckes bei einem reinen Ton (Sinus-Schwingung)	6
Abb. 2.11	Animierte Sinus-Schwingung	6
Abb. 2.12	Pegelzunahme bei 2- bzw. 10-facher Leistung	7
Abb. 2.13	Prinzipdarstellung der Schallpegeladdition	7
Abb. 2.14	Typische Geräusche mit den jeweiligen Schalldruck- resp. Pegelwerten	8
Abb. 2.15	Illustration Schallausbreitung bei Punkt A und B	9
Abb. 2.16	Schallwellenausbreitung als Longitudinalwelle	9
Abb. 2.17	Mittenfrequenzen Oktav- und Terzbänder	9
Abb. 2.18	Schema Doppler-Effekt	10
Abb. 2.19	Animierter Doppler-Effekt	10
Abb. 2.20	Schema Unter- / Überschallknall	10
Abb. 2.21	F/A-18 Hornet im Überschallflug mit «Wolkenscheibeneffekt» ¹⁾	11
Abb. 2.22	Animierte Quellen-Geschwindigkeiten	11
Abb. 2.23	Kegelförmige Ausbreitung der Druckwelle	11
Abb. 2.24	Schlierenaufnahme Sturmgewehrschuss Stgw 57	11
Abb. 2.25	Prinzipschema – Sinus-Schwingung (reiner Ton) ¹⁾	11
Abb. 2.26	Spektrum Kammerton a' (reiner Ton $f = 440$ Hz)	11
Abb. 2.27	Überlagerung von reinen Tönen ¹⁾ mit ganzzahligen Verhältnis zum Grundton (Klang)	12
Abb. 2.28	Geige Stimmtön a' (f Grundton = 440 Hz)	12
Abb. 2.29	Normalisiertes Spektrum Strassenverkehrslärm	12
Abb. 2.30	Spektrum Boing 707, Landung, 280 m	12
Abb. 2.31	Spektrum Mündungsknall Sturmgewehr 57, 7 m	12
Abb. 2.32	Spektrum weisses Rauschen ¹⁾ (Zunahme: +3 dB pro Oktave)	12
Abb. 2.33	Spektrum rosa Rauschen ¹⁾ (konstanter Pegel)	13
Abb. 2.34	Pegel- / Zeitverlauf eines Geräusches mit L_{eq} und statistischen Pegelwerten	13
Abb. 2.35	Pegel- / Zeitverlauf eines Geräusches und L_{eq}	14
Abb. 2.36	dito, sortiert mit abnehmenden Pegelwerten und statistischen Pegeln	14
Abb. 2.37	Statistische Pegelmessung, Nationalstrasse A2, S>N, Camignolo (TI); $f = 80$ Hz	14
Abb. 2.38	Statistische Pegelmessung, Nationalstrasse A2, S>N, Camignolo (TI); $f = 1/250$ Hz	14
Abb. 2.39	Statistische Pegelmessung, Nationalstrasse A2, Erstfeld (UR), Gesamtschallpegel in dB(A)	14
Abb. 2.40	Statistische Pegelmessung, Nationalstrasse A2, Erstfeld (UR); $f = 80$ Hz, 17.00 bis 18.00 Uhr	14
Abb. 2.41	Schema mit L_{eq} und Beurteilungspegel L_r	15

ANSICHT DER ENGLISH SEITE pro Kapitel gezeigt!
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt!)



Abkürzungen:

c:	Schallgeschwindigkeit [m/s]
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
f _s :	Geräuschfrequenz der stillstehenden Quelle [Hz]
f _z :	Geräuschfrequenz der «zufahrenden» Quelle [Hz]
f _w :	Geräuschfrequenz der «wegfahrenden» Quelle [Hz]
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _{max} :	Maximalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _r ':	Beurteilungspegel [dB(A)]
L _{den} :	Tag-Abend-Nacht-Pegel [dB(A)]
L _{day} :	A-bewerteter äquivalenter Dauerschallpegel, Messung am Tag; 7 bis 19 Uhr [dB(A)]
L _{evening} :	dito; Messung am Abend, 19 bis 23 Uhr [dB(A)]
L _{night} :	dito; Messung in der Nacht, 23 bis 7 Uhr [dB(A)]
L _E :	Schallexpositionspegel [dB(A)]; andere Bezeichnung: Schall-Wirkpegel
L ₅₀ :	Statistischer Pegel (während 50% der Messzeit erreichter / überschrittener Pegel) [dB(A)]
L ₉₉ :	Statistischer Pegel (während 99% der Messzeit erreichter / überschrittener Pegel (Grundgeräusch) [dB(A)]
L ₁ :	Statistischer Pegel (während 1% der Messzeit erreichter / überschrittener Pegel (seltene Spitzen) [dB(A)]
L _{0.1} :	Stat. Pegel (während 0.1% der Messzeit erreichter / überschrittener Pegel (sehr seltene Spitzen) [dB(A)]
log:	Dekadischer Logarithmus, log ₁₀ (Logarithmus zur Basis 10)
Oktave:	Verdoppelung der Schwingungszahl, z.B. von 125 Hz auf 250 Hz oder 2'000 Hz auf 4'000 Hz
p:	Effektiver Schalldruck p [Pa]
p ₀ :	Referenzschalldruck (p ₀ = 0.00002 Pa) (= Hörschwelle bei 1'000 Hz)
SEL:	Frühere Bezeichnung für den Schallexpositionspegel L _E [dB(A)]
Δs:	Benötigter Wegstrecke [m]
Δt:	Benötigte Zeit [s]
t:	Zeitdauer des Pegelwertes [s]
T ₀ :	Referenzzeit (T ₀ = 1 s) [s]
T:	Gesamte Mess-/ oder Beurteilungszeit (= Σ t _i) [s]
Terze:	1/3 Oktave, 3 Terzen entsprechen einer Oktave (100 Hz, 125 Hz, 160 Hz)
v:	(Schall-)Geschwindigkeit [m/s]
v _Q :	Geschwindigkeit der bewegten Quelle [m/s]
λ:	Wellenlänge [m]
λ _s :	Wellenlänge des Geräusches der stillstehenden Quelle [m]
λ _z :	Wellenlänge des Geräusches bei der «Zufahrt» [m]
λ _w :	Wellenlänge des Geräusches bei der «Wegfahrt» [m]
ν:	Lufttemperatur [°C]
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



2. GRUNDBEGRIFFE DER AKUSTIK

2.1 Definition von Schall

Unter Schall versteht man mechanische Schwingungen und Wellen in einem gasförmigen, flüssigen oder festen Stoff, mit Schwingungszahlen im Hörbereich des menschlichen Gehörs, d.h. mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 20'000 Hz.

Schallwellen mit Frequenzen unterhalb von 16 Hz nennt man Infraschall, solche über 20'000 Hz Ultraschall. Auf Schallwellen ausserhalb des menschlichen Hörbereichs wird im Folgenden nicht näher eingetreten.

Im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen (z.B. Lichtstrahlen, Radiowellen, etc.) können sich Schallwellen im luftleeren Raum nicht fortpflanzen, da sie zur Schallausbreitung einen materiellen Träger, z.B. ein Gas, eine Flüssigkeit oder einen Feststoff benötigen.

Bei der Schallausbreitung wird u. a. zwischen Longitudinalwellen und Transversalwellen unterschieden.

2.1.1 Longitudinalwellen (Dichtewellen)

Die Schwingungsbewegung einer **Longitudinalwelle** (longitudinal waves) erfolgt in der Ausbreitungsrichtung der Welle. Die einzelnen Moleküle bewegen sich vor und zurück, nur der Zustand in der Welle, z.B. die maximale Dichte, wandert (vgl. Abb. 2.1 und Abb. 2.2).

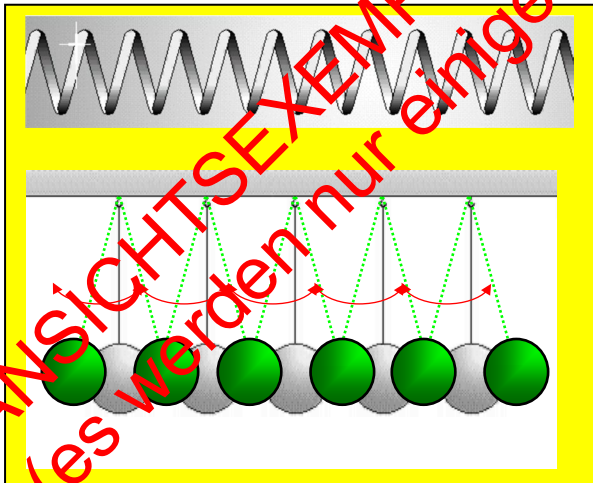


Abb. 2.1 Longitudinalwellen

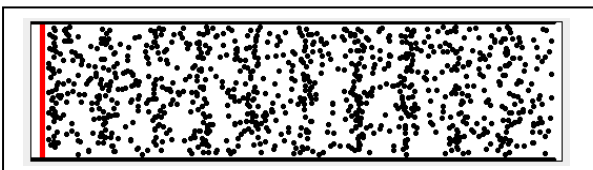


Abb. 2.2 Animierte Longitudinalwellen

www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html

2.1.2 Transversalwellen

Die Schwingungsbewegung einer **Transversalwelle** (transverse waves) erfolgt senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung; z.B. Saitenschwingung, Membrane). Die einzelnen Moleküle bewegen sich auf und ab, nur der Zustand in der Welle, z.B. die maximale senkrechte Auslenkung, wandert (vgl. Abb. 2.3).

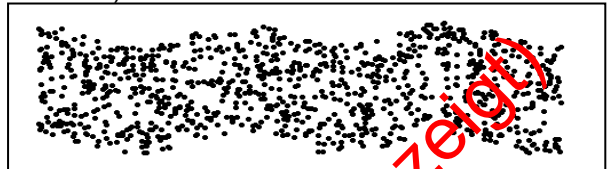


Abb. 2.3 Animierte Transversalwellen

www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html

2.1.3 Biegewellen

Biegewellen (rayleigh surface waves) sind transversale Wellen, die sich beispielsweise in Balken (z.B. Trangel) und in Platten (z.B. Glocken).

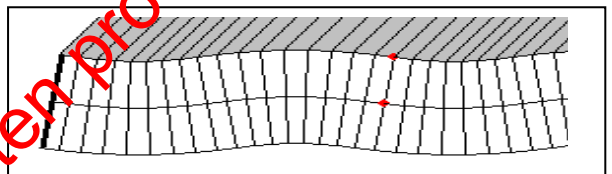


Abb. 2.4 Animierte Biegewellen

www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html

2.1.4 Wasserwellen

Wasserwellen (water waves) sind Oberflächenwellen an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft oder interne Wellen an der Grenzfläche zwischen zwei unterschiedlich dichten Wasserschichten im Ozean. Es sind alle Wasserspiegelauslenkungen mit Periodendauern von Zehntelsekunden bis Stunden (Gezeitenwelle) gemeint.

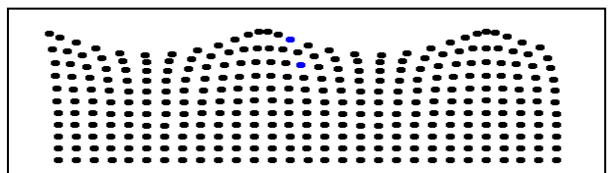


Abb. 2.5 Animierte Wasserwellen

www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html

2.2 Schallübertragungen

2.2.1 Luftschall

Als **Luftschall** werden mechanische Schwingungen bezeichnet, die sich in Luft ausbreiten. Die **Schallgeschwindigkeit** ist in der Luft verhältnismässig langsam (v in Luft bei +20 °C: ca. 340 m/s).



Beispiele sind:

Menschliche Stimme (Stimmbänder als Membrane, Rachen als Resonanzkörper), Blasinstrumente, Haushaltgeräte (Staubsauger, etc.).



Abb. 2.6 Luftschallquellen

Direkter Schall:

Schallwellen, die sich auf dem kürzesten Weg durch die Luft von der Quelle zum Empfänger ausbreiten.

Indirekter Schall:

Schallwellen, die sich durch ein- oder mehrfache Reflexionen an Bauteil- oder Geländeoberflächen, Gegenständen, etc., von der Quelle zum Empfänger gelangen.

Echo (Widerhall):

Echos sind stark reflektierte Schallwellen, die später als ca. 20 bis 50 Millisekunden nach dem Direktschall beim Empfänger eintreffen. Echos sind insbesondere dann leicht wahrnehmbar, wenn nur eine oder nur wenige reflektierende Flächen existieren (z.B. Felswände). Tiere (z.B. Fledermäuse) oder blinde Menschen können sich anhand des Echos orientieren.¹⁾

Ein **Echolot** ist ein in der Schifffahrt verwendetes Gerät zur elektroakustischen Messung von Wassertiefen (Lorung). Gemessen wird die Zeit, die zwischen der Aussendung eines Schallimpulses (Wasserschall) und der Ankunft der vom Boden oder schwimmenden Gegenständen (z.B. Fische) reflektierten Schallwellen verstreicht. Eine sehr ähnliche Funktion haben Sonargeräte. Diese werden aber nicht zur Bestimmung der Wassertiefe, sondern für die überwiegend horizontale Untertiefenortung vor allem für militärische Zwecke oder jüngst in der Sportfischerei eingesetzt.

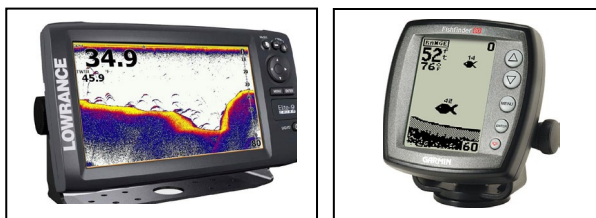


Abb. 2.7 Fishfinder (Lowrance und Garmin)

Nachhall:

Unter **Nachhall** versteht man mehrfach reflektierte Schallwellen in einem Raum, die sich mit dem Direktschall oder miteinander vermischen, ohne dass die reflektierten Wellen am Ohr als einzelnes Ereignis wahrgenommen werden können (vgl. Kap. 15, Raumakustik).

2.2.2 Körperschall

Als **Körperschall** werden mechanische Schwingungen bezeichnet, die sich in festen Stoffen ausbreiten. Die **Schallgeschwindigkeit** ist in festen Stoffen in der Regel deutlich grösser als in der Luft. In Stahl beispielsweise breitet sich der Schall ca. 15x schneller aus, als in der Luft (v in Stahl: ca. 5'000 m/s).

Beispiele sind:

Hämmern, Fallenlassen, von Gegenständen, Begehen des Bodens (Trittschall), Bassgeige, etc.

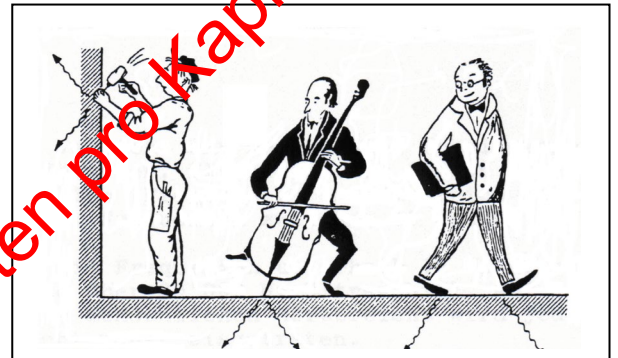


Abb. 2.8 Körperschallquellen

Körperschall kann durch den Menschen vor allem bei tiefen Frequenzen taktil, d.h. durch berühren wahrgenommen werden. Hörbar ist nur der abgestrahlte Luftschall. Der Körperschall wird durch Abstrahlung von Wänden, Decken, Böden, Leitungen oder anderen Oberflächen in Luftschall umgewandelt, den das Ohr schliesslich wahrnimmt („sekundärer Luftschall“).

Eine Ausnahme bildet in den Schädelknochen übertragener Körperschall, der direkt vom Innenohr wahrgenommen werden kann (Knochenleitung). Dieser Mechanismus ist nicht auf die Funktionsfähigkeit des Mittelohres angewiesen. Diese Eigenschaft wird bei Knochenleitungshörgeräten und für die Diagnose bei Schallleitungsstörungen und Erkrankungen wie einem Hörsturz (u.a. mit der **Stimmgabel**) ausgenutzt.

>> **Demo:** Schwingen einer Stimmgabel sichtbar gemacht²⁾

1) Google: akustische Ortung Sehen mit den Ohren

2) Google: Russspur einer Stimmgabel Stephan Müller

**Trittschall:**

Trittschall ist eine spezielle Art des Körperschalls. Dieser entsteht z.B. beim Begehen des Bodens oder einer Treppe. In der Bauakustik ist der Trittschall die wichtigste Art des Körperschalls.

2.2.3 Kombinierte Schallübertragungen

Neben reinen Luft- oder Körperschallübertragungen gibt es auch Kombinationen davon.

Beispiele sind:

Klavier, Bassgeige, Wärmepumpen, etc.

2.2.4 Flüssigkeitsschall

Breiten sich Schallwellen in Flüssigkeiten aus (z.B. Verständigung von Delphinen im Wasser, Sonargeräte), so handelt es sich um Flüssigkeitsschall. Die **Schallgeschwindigkeit** ist in flüssigen Stoffen in der Regel deutlich grösser als in der Luft. In Wasser beispielsweise breitet sich der Schall ca. 4x schneller aus, als in der Luft (v in Wasser bei $+10\text{ °C}$: ca. $1'440\text{ m/s}$).

2.2.5 Emissionsbegrenzung

Es ist wichtig, die verschiedenen Schallausbreitungsarten konsequent zu unterscheiden, weil zur Dämmung / Dämpfung) verschiedene konzeptionelle Massnahmen notwendig sind:

Luftschall: \Rightarrow **Abkapseln**

Körperschall: \Rightarrow **Abfedern**

2.3 Schalldruck p [Pa]

Die durch eine Störung erzeugten Druckschwankungen, welche sich dem stationären atmosphärischen Luftdruck überlagern, werden als **Schall-druck** bezeichnet. Die Abkürzung für den Schalldruck ist p und die Einheit ist Pascal (Pa):

$$1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$$

Beispiel:

Ort: ETH Zürich, ca. 490 m ü. M.
Luftdruck: $100'000\text{ Pa}$ (1000 hPa ; 1 bar)

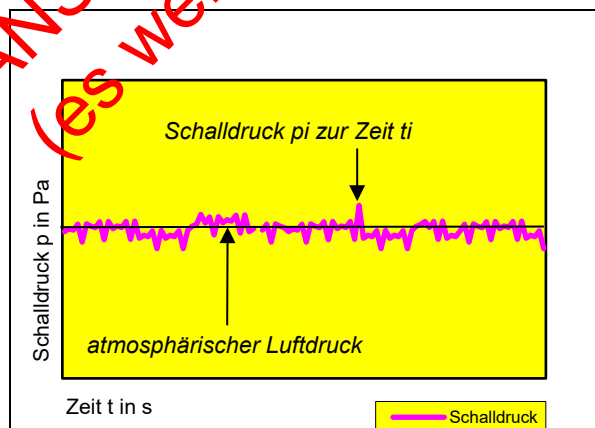
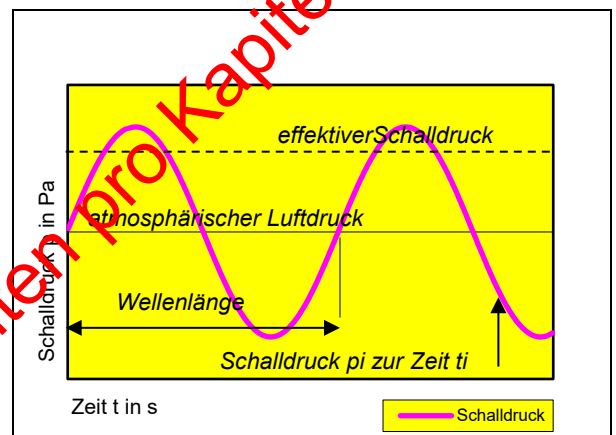


Abb. 2.9 Luftdrucküberlagerter Schall-Druck

Hinweise:

- Die den atmosphärischen Luftdruck überlagernden Schalldruckschwankungen sind ca. 1 Mio. mal kleiner als der Luftdruck selbst.
- Wetterveränderungen lassen den Luftdruck innert Tagen um mehrere tausend Pa schwanken.
- Die Abnahme des Luftdruckes mit zunehmender Höhe hat zur Folge, dass sich der Luftdruck am Ohr bei einer tiefen Kniebeuge um ca. 10 Pa ändert.
- Die Strömungserscheinungen um Fahrzeuge herum, verursachen im Innern des Fahrzeugs Druckschwankungen von mehreren 10 Pa.
- Die schnellen Luftdruckschwankungen, die wir als Schall wahrnehmen, liegen bei einem normalen Gespräch nur etwa bei 0.05 Pa ($1/2'000'000$ des atmosphärischen Luftdruckes).

Abb. 2.10 Verlauf des Schalldruckes bei einem reinen Ton (**Sinus-Schwingung**)

Gemessen wird nicht der momentane Schalldruck, sondern der **effektive Schalldruck** als quadratischer Mittelwert des momentanen Schalldruckes.

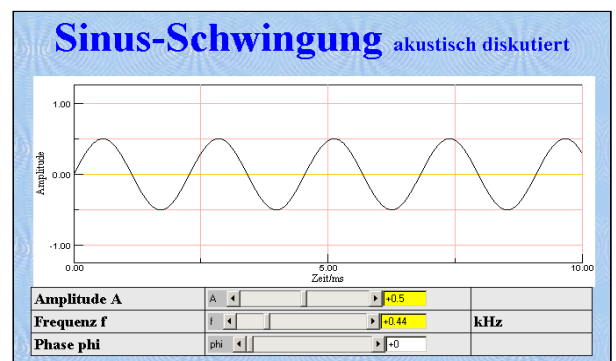


Abb. 2.11 Animierte Sinus-Schwingung

www.schul-physik.de



3. SCHALLEMPFINDUNG

3.	SCHALLEMPFINDUNG	3
3.1	Bau und Funktionsweise des menschlichen Ohrs.....	3
3.2	Hörbereich des Menschen.....	3
3.3	Reizschwelle und Schmerzgrenze	3
3.4	Relatives und absolutes Gehör	4
3.5	Lokalisation (Ortung)	4
3.6	Maskierung (Verdeckung).....	4
3.7	Schwebung	4
3.8	Interferenzen.....	5
3.9	Gehörillusionen.....	5
3.10	Lautstärke Λ [phon].....	5
3.11	Lautheit N [sone]	5
3.12	A-bewerteter Schallpegel.....	6
3.13	Spektrum-Addition (-Subtraktion)	7
3.14	Wahrnehmbarkeit von Schallpegelveränderungen	7
3.15	Hörschäden	8
3.16	Hörgeräte	9
3.17	Gehörschutzmittel.....	9
3.18	Lästigkeit von Geräuschen	10

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 3.1	Schematische Darstellung menschliches Ohr	3
Abb. 3.2	Hörfläche des menschlichen Gehörs	3
Abb. 3.3	Illustration der Schwebung	4
Abb. 3.4	Illustration der Interferenzen	5
Abb. 3.5	Illustration der Lautstärkebestimmung	5
Abb. 3.6	International genormte Kurven gleicher Lautstärke	5
Abb. 3.7	Lautheitsdiagramm (gültig von 40 - 120 phon)	6
Abb. 3.8	Charakteristik des A-, B-, C- und D- Frequenzbewertungsfilters	6
Abb. 3.9	Spektren von Grundaufgabe 1	7
Abb. 3.10	Geräuschspektrum von Grundaufgabe 2	7
Abb. 3.11	Geräuschspektrum von Grundaufgabe 3	7
Abb. 3.12	Illustration Spektrum-Addition	7
Abb. 3.13	Audiogramm mit typischen Hörverlusten	8
Abb. 3.14	Bezüglich Gehörschäden unkritische Schalldosis	9
Abb. 3.15	Hörrohre von Beethoven / Modernes digitales Phonak-Hörgerät	9
Abb. 3.16	Gehörschutz für Musiker / konventionelle Schaumstoffpfropfen	9
Abb. 3.17	Aktiv Gehörschutz von Peltor / Gehörschutz mit Antischall-Prinzip	9
Abb. 3.18	Kreissäge / Kaminschlott	10
Abb. 3.19	Gefechtsschiessen / Trafogeräusch	10
Abb. 3.20	Verkehrsgeschall / Bachrauschen	10
Abb. 3.21	Autobahnärm / Bahnärm	10
Abb. 3.22	Spektren Strassenärm / Eisenbahnärm	10
Abb. 3.23	Grosse Lärmempfindlichkeit nachts / geringe Lärmempfindlichkeit tags	10
Abb. 3.24	Variables Geräusch ohne Maskierung / variables Geräusch mit Maskierung	10
Abb. 3.25	Illustration Nachbarschaftslärm	10

Abkürzungen:

c:	Schallgeschwindigkeit [m/s]
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB]
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _{max} :	Maximalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _r :	Beurteilungspegel [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
L _{A tot} :	A-bewerteter Gesamtschallpegel [dB(A)]
ΔL _A :	Frequenzabhängige Korrektur des A-Filters [dB]
L _z :	Z-bewerteter Pegel im Frequenzbereich zwischen 8 Hz und 20 kHz (früherer linearer Pegel) [dB]
L _{z tot} :	Z-bewerteter Gesamtpegel im Frequenzbereich zwischen 8 Hz und 20 kHz [dB]
Λ:	Lautstärke [phon]
N:	Lautheit [sone]
λ:	Wellenlänge [m]

BSG: Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz ([SR 814.01](#))
 LSV: Lärmschutz-Verordnung ([SR 814.41](#))

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



3. SCHALLEMPFINDUNG

3.1 Bau und Funktionsweise des menschlichen Ohrs

Die nachfolgende Illustration zeigt den **Bau des menschlichen Ohrs**. Über Ohrmuschel und Gehörgang gelangt der Luftschall zum Trommelfell und versetzt dieses in Schwingung. Diese Membranschwingung wird durch eine Hebeluntersetzung (Hammer, Amboss, Steigbügel) auf das ovale Fenster übertragen, welches das luftgefüllte Mittelohr vom flüssigkeitsgefüllten **Innenohr** trennt. Die erwähnte Hebeluntersetzung dient dabei als Impedanzanpassung zwischen Gas und Flüssigkeit, damit nicht der grösste Teil der Schallenergie am Übergang reflektiert. Im Innenohr (**Hörschnecke**, lateinisch Cochlea) wird auch die in Flüssigkeit eingebettete Basilarmembran in Schwingung versetzt und damit auch die zu tausenden vorhandenen, empfindlichen **Haarzellen** verformt. Die einzelnen Haarzellen registrieren die Verformung und wandeln sie in Nervenimpulse (elektrische Signale) um, die dann an das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet werden.

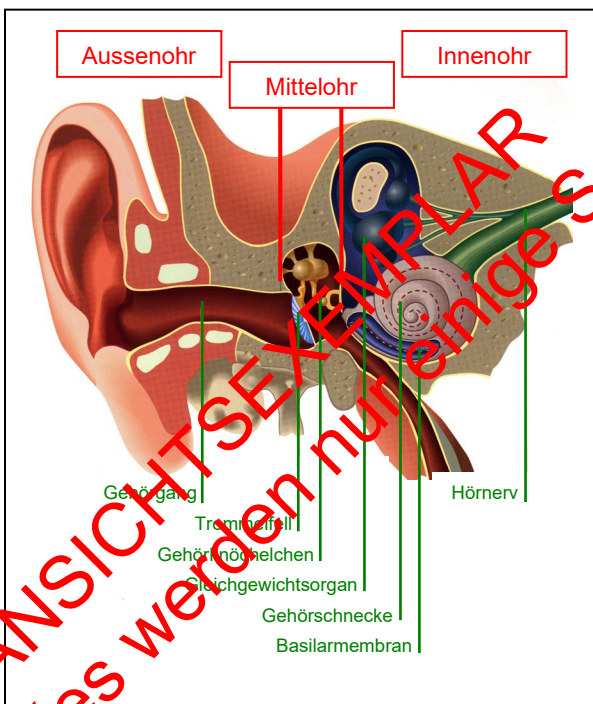


Abb. 3.1 Schematische Darstellung menschliches Ohr

3.2 Hörbereich des Menschen

Das menschliche Ohr nimmt Geräusche im Frequenzbereich von ca. 16 Hz bis ca. 20'000 Hz wahr, wobei die Empfindlichkeit vor allem im oberen Frequenzbereich mit zunehmendem Alter beträchtlich sinkt. Schallwellen mit Frequenzen unter 16 Hz (**Infraschall**) empfindet der Mensch als Erschütterung oder Vibration. Obwohl wir solche

von Wärmepumpen, Klimaanlage oder Strassenverkehrslärm abgestrahlte tieffrequente Geräusche u.U. nicht mit unseren Ohren hören, können diese belästigend sein. Tiere haben zum Teil die Fähigkeit Geräusche mit Frequenzen über 20'000 Hz (**Ultraschall**) wahrzunehmen. So nutzt z. B. die **Fledermaus** die hohen Frequenzen (15 bis 150 kHz) zur Erkennung von reflektierenden Wasseroberflächen, Nahrung (Mücken) oder Hindernissen aus. In der Tierdressur (Hunde, Delphine, „Killerwale“) sind Pfeifen üblich, die Schallwellen mit Frequenzen über 20 kHz aussenden.

Früher weitverbreitete Ultraschall-Fernbedienungsgeräte für Fernsehen, usw. basierten ebenfalls auf ausgesandten Schallimpulsen mit Frequenzen über dem Hörbereich des menschlichen Ohrs. Diese wurden jedoch vollumfänglich durch Infrarot-Fernbedienungsgeräte ersetzt.

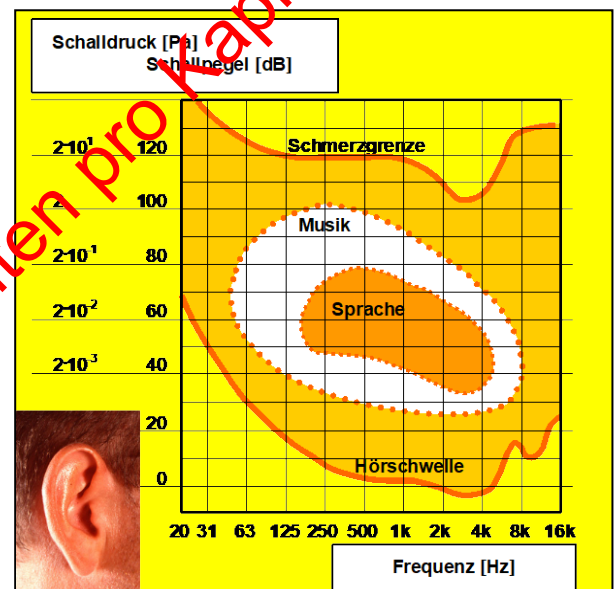


Abb. 3.2 Hörfläche des menschlichen Gehörs

Hörfläche:

Die **Hörfläche** des menschlichen Ohrs wird durch den Bereich zwischen der Hörschwelle und der Schmerzgrenze gebildet. Sie ist in der Abb. 3.2 illustriert.

3.3 Reizschwelle und Schmerzgrenze

Die Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs ist stark frequenzabhängig und von der Intensität des einfallenden Schalls abhängig. Für mittlere und hohe Frequenzen ist das Ohr bedeutend empfindlicher, als für tiefe und sehr hohe Frequenzen.

> **Lernvideo:** wissen+lernen Frequenzdurchlauf ¹⁾

1) Google: Tonbeispiel #102 Frequenzdurchlauf

**Reiz- oder Hörschwelle:**

Für unser Ohr gibt es eine untere Grenze (**Hörschwelle**), welche die Schallintensität eines Geräusches überschreiten muss, um im Ohr überhaupt einen Reiz auszulösen bzw. damit ein Geräusch überhaupt wahrgenommen werden kann. Bei der Definition des Schallpegels ist ein Referenzschalldruck p_0 zu Grunde gelegt, der gerade der Hörschwelle des menschlichen Ohres bei 1'000 Hz entspricht. Diese untere Grenze ist aber nicht für jede Frequenz gleich hoch. Im Gegenteil, sie ist stark frequenzabhängig. Für normalhörende Personen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren kann die Hörschwelle wie folgt näher umschrieben werden.

Hörschwelle bei:	20 Hz:	ca. 70 dB
	63 Hz:	ca. 32 dB
	250 Hz:	ca. 9 dB
	1'000 Hz:	ca. 3 dB
	2'000 Hz:	ca. 0 dB
	4'000 Hz:	ca. -3 dB
	8'000 Hz:	ca. 17 dB

(Akustische) Schmerzgrenze:

Wird die Intensität eines Geräusches gesteigert, so nähert man sich einer oberen Grenze (**Schmerzgrenze**), bei dessen Schall nicht mehr als solcher, sondern als Schmerz empfunden wird. Diese obere Grenze ist deutlich weniger von der Frequenz abhängig. Sie liegt ungefähr bei 120 dB.

3.4 Relatives und absolutes Gehör

Die meisten Menschen haben ein **«relatives» Gehör**. Sie unterscheiden die Tonhöhen, in dem sie sich an einem Intervall orientieren. Sie können zwei aufeinanderfolgende Töne oder Geräusche relativ zueinander beurteilen.

Personen mit einem **absoluten Gehör** (Tonhöhengedächtnis) haben die meist angeborene, selten auch erlernte Fähigkeit, die Höhe eines beliebig gehörten Tons zu bestimmen, d. h. seine Tonklasse innerhalb eines Tonsystems (wie C, C#, D, D# usw.) zu benennen, ohne dabei einen Bezugston zu hören. Herbert von Karajan (1908 bis 1989) hatte offenbar bis ins hohe Alter die Gabe eines absoluten Gehörs.

3.5 Lokalisation (Ortung)

Der Mensch kann mit seinem beidohrigen (binauralen) Hören mittel- und hochfrequente **Geräusche lokalisieren (orten)**. Es ist möglich zu beurteilen, ob sich eine Quelle vor, hinter, links, rechts oben und/oder unten befindet. Zudem kann die Geräuschenfernung aufgrund bisher gemachter Erfahrungen geschätzt werden. Von zentraler Bedeutung ist hierfür die Laufzeitdifferenz, die Pegeldifferenz und die – u.a. bedingt durch die Kopfform – unterschiedlich

wahrgenommenen Frequenzen an beiden Ohren. Bei tiefen Frequenzen (z.B. Helikopter) ist eine Ortung allerdings nicht möglich. Dieses Phänomen erklärt, weshalb bei einem Surround-System nur ein **Subwoofer** (Basslautsprecher) benötigt wird.

3.6 Maskierung (Verdeckung)

Maskierungseffekte (auch Verdeckung genannt) bewirken beim menschlichen Gehör, dass die Person in einem Geräusch bestimmte Frequenzanteile nicht oder nur mit verringerter Sensitivität wahrnehmen kann. Maskierungseffekte sind wie die Lautstärkeempfindung Teil unserer alltäglichen Hörerfahrung. Sie treten z.B. auf, wenn sich verschiedene Quellen überlagern. Dadurch können Schallanteile verdeckt und einzelne Quellen nicht mehr oder nicht mehr so gut wahrnehmbar sein. In einem Grossraumbüro können mit einem künstlichen Geräusch (Lüftungsaggregat, Zierbrunnen, etc.) oder mit Hintergrundmusik Störungen anderer Personen oder Geräte (Drucker) maskiert werden, was von Vorteil sein kann. Problematisch ist es hingegen, wenn bei der Umsetzung eines Lärmbekämpfungskonzepts Lärmquellen gedämpft oder sogar eliminiert werden, die andere, subjektiv störendere Geräusche bisher in günstiger Weise maskiert haben.

> **Demovideo 1:** Verdeckung durch Verkehrslärm ²⁾

> **Demovideo 2:** Maskierung 1 kHz-Ton ³⁾

3.7 Schwebung

Strahlen zwei Quellen Schallwellen mit beinahe übereinstimmender Frequenz aus, so nimmt man nicht getrennte Töne, sondern ein Ton wahr, dessen Lautstärke immer wieder kleiner und größer wird. Dieses Phänomen wird als **Schwebung** bezeichnet und kann durch die Überlagerung der beiden Wellen erklärt werden.

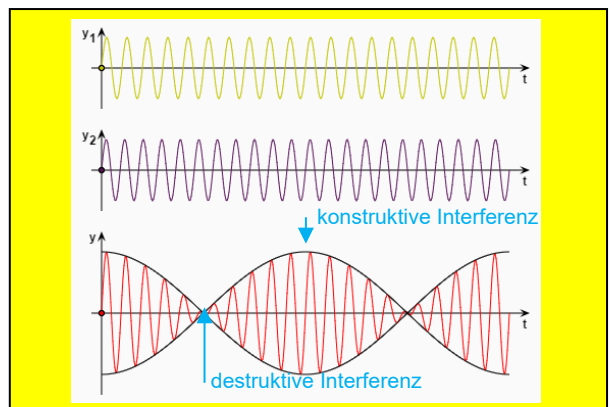


Abb. 3.3 Illustration der Schwebung

> **Animation:** Leifiphysik / W. Fendt ⁴⁾

> **Lernvideo 1:** Schwebung easy erklärt ⁵⁾

> **Lernvideo 2:** Schwebung mit Stimmgabeln demonstriert ⁶⁾

2) Google: Geniale Illusionen für deine Ohren

3) Google: Hearing Test - Can You Hear the 1 kHz Tone

4) Google: Leifiphysik Schwebungen Simulation

5) Google: Akustische Schwebung easy erklärt

6) Google: Experimente mit Stimmgabeln Stephan Müller



3.8 Interferenzen

Wenn sich zwei Wellen überlagern, können sie sich gegenseitig verstärken (konstruktive Interferenz) oder auslöschen (destruktive Interferenz).

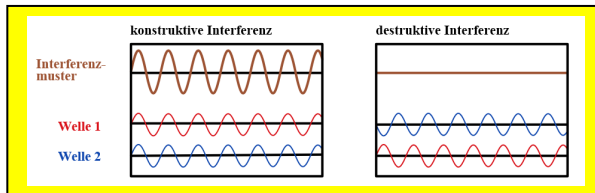


Abb. 3.4 Illustration der Interferenzen

> [Lernvideo](#): Was ist Interferenz ⁷⁾

3.9 Gehörillusionen

Nicht nur die Augen, sondern auch unser Gehör lässt sich täuschen.

- > [Demovideo 1](#): 4 geniale Illusionen für deine Ohren ⁸⁾
- > [Demovideo 2](#): Psychoakustische Phänomene und akustische Täuschungen ⁹⁾

3.10 Lautstärke Δ [phon]

Da das Schallempfinden des menschlichen Ohrs stark frequenzabhängig ist, ist es naheliegend, dass man zwei Töne mit gleichem Schallpegel aber mit unterschiedlicher Frequenz, nicht als gleich laut empfindet. Neben der physikalischen Grösse (Schalldruck) wurde daher auch eine rein subjektive Grösse, die Lautstärke definiert. Die Lautstärke wird in «phon» angegeben. Die Definition der Lautstärke beruht auf dem subjektiven Vergleich zweier Schallvorgänge. Für diesen Vergleich wurde der 1'000 Hz-Ton als Referenzton gewählt. Die Lautstärkeskala entspricht daher bei 1'000 Hz genau der Dezibelskala. Um die Lautstärke eines bestimmten Schallvorganges zu bestimmen, vergleicht man den vorhandenen Schall des Geräusches mit dem 1'000 Hz Referenzton. Die Intensität des Referenztons wird soweit gesteigert, bis der Referenzton subjektiv gleich laut empfunden wird, wie das vorhandene Geräusch. Der beim Referenzton ablesbare Schallpegel entspricht der Lautstärke des beurteilten Schallvorganges in phon. Die Kurven gleicher Lautstärke wurden anhand zahlreicher Untersuchungen mit normalhörenden Personen im Alter zwischen 18 und 25 Jahren bestimmt. Die für reine Töne ermittelte Schar der Kurven gleicher Lautstärke ist international genormt.

Verschiedene gleich laute Töne mit 50 phon:

20 Hz	bei	92 dB
125 Hz	bei	54 dB
1'000 Hz	bei	50 dB
4'000 Hz	bei	42 dB

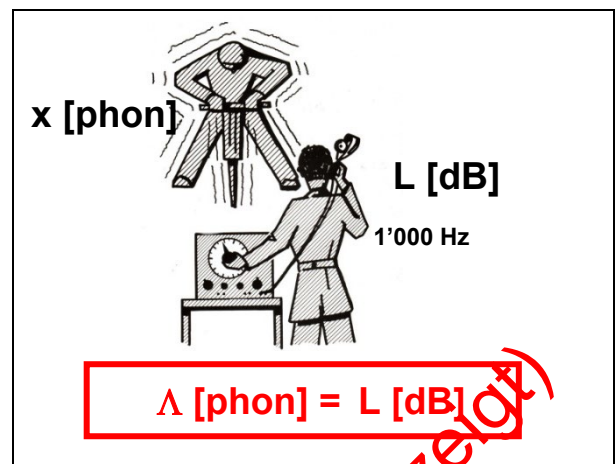


Abb. 3.5 Illustration der Lautstärkebestimmung

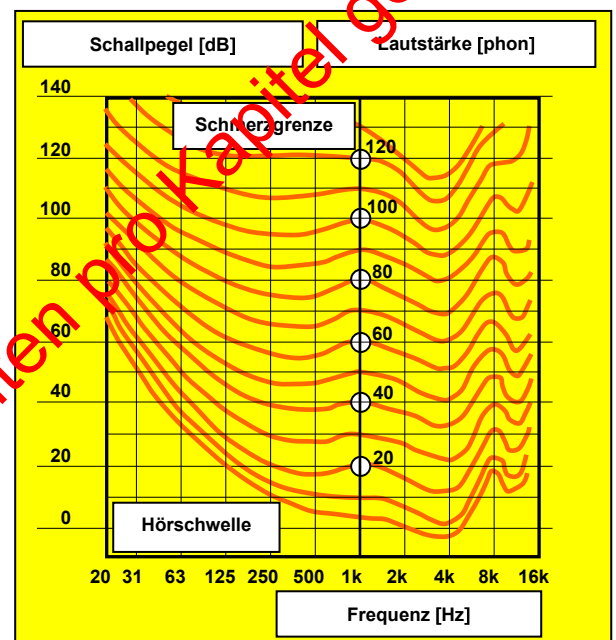


Abb. 3.6 International genormte Kurven gleicher Lautstärke

3.11 Lautheit N [sone]

Die Lautheit in sone ist eine psychoakustische Masseneinheit für die Beurteilung eines Schallereignisses. Einem Lautstärkepegel von 40 phon wird die Lautheit 1 sone zugeordnet. Ein doppelt so laut empfundener Schall hat dann eine Lautheit von 2 sone, ein vierfach so laut empfundener Schall eine von 4 sone und ein halb so laut empfundener Schall eine von 0.5 sone.

$$N_{40-120 \text{ phon}} = 2 \left[\frac{\Delta - 40}{10} \right] \text{ [sone]}$$

N: Lautheit [sone], gültig von 40 bis 120 phon ¹⁰⁾

Δ : Lautstärke [phone]

> [Rechner](#):

Umrechnung phon <=> sone zwischen 40 und 120 phon

Umrechnung phon <=> sone zwischen 8 und 40 phon

7) Google: Was ist Interferenz YouTube

8) Google: 4 Geniale Illusionen für deine Ohren

9) Google: Psychoakustische Phänomene und akustische Täuschungen

10) Danke an Kurt Eggenschwiler, EMPA, für den Hinweis



4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

4.	SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN	4
4.1	Schallentstehung	4
4.2	Schallausbreitung	4
4.3	Dämpfungen und Reflexionen	4
4.4	Geometrische Dämpfung	4
4.4.1	Kugelwelle (Kugelquelle oder Punktschallquelle)	4
4.4.2	Schallleistungspegel L_w	5
4.4.3	Zylinderwelle (Zylinder- oder Linienquelle)	5
4.4.4	Ebene Wellen (Flächenquelle)	6
4.5	Luftdämpfung (Luftabsorption)	7
4.6	Einflüsse Meteorologie	7
4.6.1	Wind (Brechung, Refraktion)	7
4.6.2	Inversionswetterlagen	8
4.6.3	Abschätzung des Wind- und Inversionseinflusses	9
4.6.4	Regen	9
4.6.5	Schneebedecktes Terrain	9
4.7	Bodeneffekt («Bodendämpfung»)	9
4.8	Hindernisdämpfung	10
4.8.1	Berechnung Hinderniswirkung nach Maekawa	11
4.8.2	Einfluss Schirmwert z	12
4.8.3	Einfluss von Länge und Höhe auf Wirkung und Kosten	13
4.8.4	Doppelhindernisse	13
4.8.5	In der Länge begrenztes Hindernis	13
4.8.6	Generelle Anforderungen an Lärmschutzsysteme	13
4.8.7	Faustregeln (gültig für Strassenlärm)	14
4.8.8	Spoiler-Systeme	14
4.8.9	Wahrnehmung von Lärmschutzwänden durch Anwohner	15
4.8.10	Beispielsammlung von Lärmschutzwänden	15
4.9	Reflexion von Schallwellen	15
4.10	Anforderungen an Lärmschutzsysteme (Dämmung und Absorption)	17
4.10.1	Frühere Anforderungen in der Schweiz	17
4.10.2	Heutige Absorptions-Anforderungen in der Schweiz	18
4.10.3	Heutige Schalldämm-Anforderungen in der Schweiz	20
4.10.4	Alterungsverhalten	20
4.11	Bewuchsdämpfung	20
4.12	Beugung von Schallwellen (Diffraktion)	21

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 4.1	Grundaufgabenstellung bei der Schallausbreitung	4
Abb. 4.2	Illustration Kugelwelle (Kugelquelle oder Punktschallquelle)	4
Abb. 4.3	Illustration zwei abstrahlender Kugelquellen	5
Abb. 4.4	Illustration Kugelwellen	5
Abb. 4.5	Illustration Richtfaktor Q	5
Abb. 4.6	Illustration Zylinderwelle (Linienquelle)	5
Abb. 4.7	Auf einer Linie abstrahlende Kugelquellen	6
Abb. 4.8	Illustration ebene Welle (Flächenquelle)	6
Abb. 4.9	Charakteristik Schallpegelabnahme	6
Abb. 4.10	Mitwind: Gegen unten gekrümmte Schallstrahlen („förderlich“)	8
Abb. 4.11	Gegenwind: Gegen oben gekrümmte Schallstrahlen („hinderlich“)	8
Abb. 4.12	Windrose im Raum Nationalstrasse A2, Hergiswil	8
Abb. 4.13	Inversionslage: Gegen unten gekrümmte Schallstrahlen („förderlich“)	8
Abb. 4.14	Normale Temperaturschichtung: Gegen oben gekrümmte Schallstrahlen („hinderlich“)	8
Abb. 4.15	Gemessene Dämpfung, Lärmschutzprojekt A2 Kriens, Aegerter & Bosshardt, Basel	8
Abb. 4.16	Durch Wind und Inversionslagen beeinflusste Hinderniswirkung	9
Abb. 4.17	Regennasse Fahrbahn (Sprühfahnenbildung)	9
Abb. 4.18	Emissionsnahe Messungen, Nationalstrasse A2, S>N, Camignolo (TI)	9
Abb. 4.19	Beispiel einer destruktiven Interferenz („Wellenauslöschung“)	10
Abb. 4.20	Bodeneffekt in Funktion der mittleren Höhe des Schallstrahls über Terrain	10
Abb. 4.21	Illustration Hinderniswirkung	10
Abb. 4.22	Wirkung schwach schalldämmendes Hindernis	10
Abb. 4.23	Wirkung gut schalldämmendes Hindernis	10
Abb. 4.24	Illustration Schirmwert z ($z = QK + KE - QE$)	11
Abb. 4.25	Frequenzabhängige Hinderniswirkung	11
Abb. 4.26	Grundaufgabe für Berechnung Hinderniswirkung	11
Abb. 4.27	Gegenüberstellung Lärmschutzwand / -Damm	12
Abb. 4.28	Schalltechnisch gleichwertige Geometrien von Lärmschutzwänden	12
Abb. 4.29	Lärmschutzwände mit unterschiedlicher Hinderniswirkung	12
Abb. 4.30	Lärmschutzbauwerke A2 Chiasso (TI)	12
Abb. 4.31	Optimal konzipiertes Hindernis nahe am Immissionsort	12
Abb. 4.32	Lärmschutzwand auf Böschungsoberseite eines Einfamilienhauses	12
Abb. 4.33	Lärmschutzwände mit $\alpha = 150^\circ$ und $\beta = 90^\circ$	13
Abb. 4.34	Schemaskizze Doppelhindernis	13
Abb. 4.35	In der Länge begrenztes Hindernis	13
Abb. 4.36	Holzlärmschutzwand, Wohnüberbauung Kapf, Emmenbrücke LU	14
Abb. 4.37	Lärmschutzwand mit fraglicher Wirkung, Vallasterstrasse, Stadt Luzern	14
Abb. 4.38	Caltra-Top Spoiler	14
Abb. 4.39	Tubosider-Aufsatz	14
Abb. 4.40	Umfrage der SLS: Wie hoch schätzen sie die Wirkung der Lärmschutzwand?	15
Abb. 4.41	Gesetzmassigkeit von reflektiertem Schall	16
Abb. 4.42	Animation einer Reflexion	16
Abb. 4.43	Kritische Reflexionen der A2 in Hergiswil NW	16
Abb. 4.44	... an der Fassade der Wohnüberbauung	16
Abb. 4.45	Typische Reflexionen an schallharter Lärmschutzwand (Schnittdarstellung)	16
Abb. 4.46	Pegel-Zeit-Diagramm mit Lärmschutzwand	16
Abb. 4.47	Pegel-Zeit-Diagramm mit Lärmschutzwand und mit gegenüberliegenden Reflexionen	17
Abb. 4.48	Schallreflektierende Wand zwischen Eisenbahnlinie und Autobahn	17
Abb. 4.49	Typische Reflexionen an einer Fassade	17
Abb. 4.50	Grobbeurteilung von Reflexionsstrahlen	17
Abb. 4.51	Prinzip Absorbersystem	17
Abb. 4.52	Verschiedene Abdeckungen (ALU-Lochblech; SINUS-Lochblech; Lava-Beton und Holzlattung)	17
Abb. 4.53	Schallabsorbierende Steinkörbe, A2/A14 Emmen	18
Abb. 4.54	Hallraum	18
Abb. 4.55	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Lärmschutzwänden durch EMPA	18
Abb. 4.56	Pegelerhöhungen bei unterschiedlichen Absorptionskennwerten	19
Abb. 4.57	Transparentes, in sehr beschränktem Mass absorbierendes Lärmschutzwandsystem	19
Abb. 4.58	Abgestrahlte Schallenergie bei reflektierender oder absorbierender Oberfläche	19



4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

Abb. 4.59	Querschnitt – A2-Hergiswil, Ist-Situation mit bergseitigem Galeriebauwerk.....	19
Abb. 4.60	... dito, Lärmisophonen, Ist-Situation mit bergseitigem Galeriebauwerk (10-fach-Reflexionen).....	19
Abb. 4.61	... dito, Lärmstudie mit talseitigem Lärmschutzwandsystem.....	19
Abb. 4.62	... dito, Lärmstudie, Lärmisophonen	20
Abb. 4.63	... dito, Lärmstudie, Differenzen Lärmisophonen	20
Abb. 4.64	Dämpfung von Bewuchs	20
Abb. 4.65	Thuja-Hecke mit fraglicher akustischer Wirkung	20
Abb. 4.66	Querschnitt – A2-Hergiswil, Lärmstudie, Beugungseffekte an Hinderniskanten	21
Abb. 4.67	Beugungseffekte an verschiedenen Hindernissen	21

Abkürzungen:

A1:	„reflektierend“
A2:	„wenig absorbierend“
A3:	„absorbierend“
A4:	„hochabsorbierend“
c:	Schallgeschwindigkeit [m/s]
DL _α :	Einzahl-Angabe der Schallabsorptions-Eigenschaften [dB]
DL _R :	Einzahl-Angabe der Luftschalldämm-Eigenschaften [dB]
EP:	Empfangspunkt
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB] [dB(A)]
ΔL:	Schallpegeldifferenz [dB] [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
L _E :	Schallexpositionspegel [dB(A)]; andere Bezeichnung: Schallwirkpegel, früherer SEL
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _{max} :	Maximalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _r :	Beurteilungspegel [dB(A)]
L _H :	Hinderniswirkung [dB] [dB(A)]
L _i :	Normierter, A-bewerteter Schalldruckpegel des Verkehrslärms im i-ten Terzband [dB]
L _R :	Reflexionseinfluss [dB] [dB(A)]
L _W :	Schallleistungspegel [dB] [dB(A)]
L _Z :	Z-bewerteter Schallpegel [dB], früherer «linearer» Pegel
log:	Dekadischer Logarithmus, log ₁₀ (Logarithmus zur Basis 10)
N:	Fresnel'sche-Zahl [-]
Q:	Richtfaktor [-]
R _w :	Bewertetes, im Labor gemessenes Schalldämmmass [dB]
R' _w :	Bewertetes, am Bau gemessenes Schalldämmmass [dB]
R _i :	Schalldämmmass i-ten Terzband [dB] im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5'000 Hz [dB]
r:	Abstand zur Schallquelle [m]
z:	Schirmwert [m]
QK:	Strecke Quelle – Hinderniskante [m]
KE:	Strecke Hinderniskante – Empfänger [m]
QE:	Strecke Quelle – Empfänger [m]
α:	Schallabsorptionsgrad [-]
α _i :	Schallabsorptionsgrad im i-ten Terzband im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 5'000 Hz [-]
λ:	Wellenlänge [m]
π:	PI (Konstante = 3.141....)
φ:	Aspektwinkel (Schalleinfallswinkel) [°]
υ:	Lufttemperatur [°C]

USG: Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz ([SR 814.01](#))

LSV: Lärmschutz-Verordnung ([SR 814.41](#))

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

4.1 Schallentstehung

Jeder schwingende Körper, der sich in einem Luft-raum befindet, regt die ihn umgebenden Luftteilchen an und bewirkt somit eine Störung (vgl. Kap. 2.1). Es ist sinnvoll zwischen folgenden Schallerzeugern zu unterscheiden.

- Schwingende feste Körper (z. B. Streichinstrumente, Telefon- und Lautsprechermembranen, Schlaginstrumente usw.)
- Schwingende Luftsäulen (z. B. Blasinstrumente, Orgel usw.)
- Rasch bewegte Körper (Peitsche, Flugzeugpropeller, etc.)
- Plötzliche Druckerhöhung (Explosionen, Knalle, etc.)

Die **menschliche Stimme** ist eine komplizierte Kombination von schwingenden festen Körpern (Stimmbänder) und schwingenden Luftsäulen (Resonanzen des Nasen- und Rachenraumes).

Für die **Bauakustik** sind vor allem die schwingenden festen Körper sowie schwingende Luftsäulen massgebend. Die Schallenergie, die von solchen Druckerzeugern ausgeht, findet ihre Weiterleitung als **Luftschall** und/oder **Körperschall**.

In der Lärmbekämpfung treten auch Probleme mit rasch bewegten Körpern sowie mit plötzlichen Druckschwankungen (Überschallknall, Fluglärm, Schiesslärmmmissionen, etc.) auf.

4.2 Schallausbreitung

Zur Ausbreitung von Schall wird ein elastisches Medium benötigt, im Vakuum ist keine Schallübertragung möglich. Nachfolgend werden die wichtigsten Phänomene bei der **Schallausbreitung** behandelt.

4.3 Dämpfungen und Reflexionen

Oft kennt man an einem Messpunkt EP₁ den von einer bestimmten Quelle erzeugten Schallpegel L_{EP1} und möchte wissen, wie hoch der Schallpegel L_{EP2} am Beobachtungspunkt EP₂ ist.

Die Abnahme des Schallpegels zwischen der Quelle und dem Empfangspunkt (**Dämpfung**) hängt im Wesentlichen von den Abstandsverhältnissen und von der geometrischen Art der sich ausbreitenden Schallwellen ab. Zudem ist zu analysieren, ob **Reflexionen** vorhanden sind, die eine Pegelerhöhung verursachen können.

Neben der geometrischen Dämpfung (im Regelfall wesentlichster Dämpfungseffekt) sind weitere Dämpfungseinflüsse (insbesondere allfällig vorhandene Hindernisse, sogenannte **Schallschirme**) im Ausbreitungsfeld zu berücksichtigen.

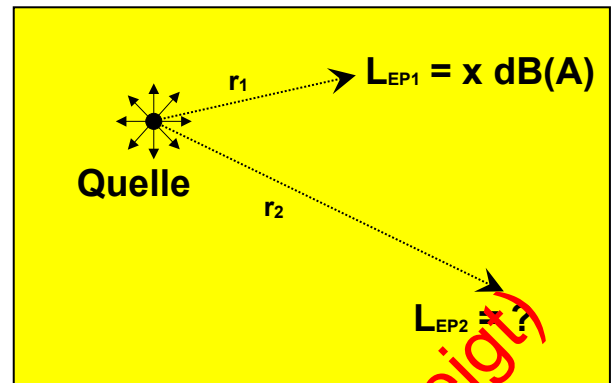


Abb. 4.1 Grundaufgabenstellung bei der Schallausbreitung

4.4 Geometrische Dämpfung

4.4.1 Kugelwelle (Kugelquelle oder Punktschallquelle)

Die **Kugelwelle** (verursacht durch eine Kugel- oder Punktschallquelle) ist eine sich gleichmäßig in alle drei Raumrichtungen in streng konzentrischen Wellenfronten ausbreitende Welle.

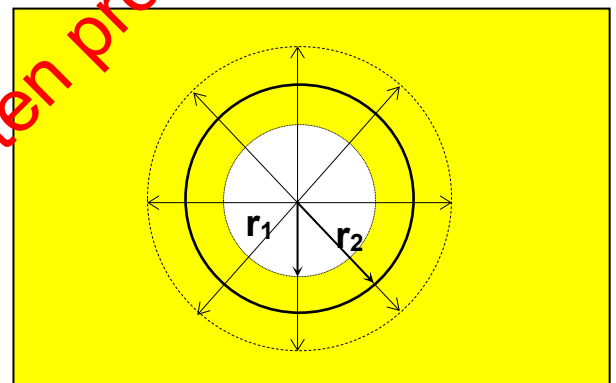


Abb. 4.2 Illustration Kugelwelle (Kugelquelle oder Punktschallquelle)

> **Animationen:** Animierte Kugelwellen ¹⁾

$$L_2 = L_1 - 20 \cdot \log \left\{ \frac{r_2}{r_1} \right\} \quad [\text{dB}], [\text{dB(A)}]$$

L₁: Bekannter Schallpegel einer Kugelquelle im Abstand r₁

L₂: Unbekannter Schallpegel im Abstand r₂

log: Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)

> Rechner 1: [Kugelwelle](#) ²⁾

> Rechner 2: [Kugelwelle](#) ³⁾

> Rechner 3: [Kugelwelle](#) ⁴⁾

Beispiele von Kugelquellen sind:

Ein Auto in 30 m Entfernung, ein Kompressor in 5 m Abstand oder ein Flugzeug in 350 m Höhe, etc.

1) Google: Spherical Wave Youtube

2) <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-entfernung.htm>

3) <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-abstandsgesetz.htm>

4) <https://www.schweizer-fn.de/akustik/schallpegelaenderung/schallpegel.php>



Bei einer Kugelwelle hat eine Abstandsverdoppelung eine Schallpegelabnahme von 6 dB, eine Abstandshalbierung eine Zu-nahme von 6 dB zur Folge.

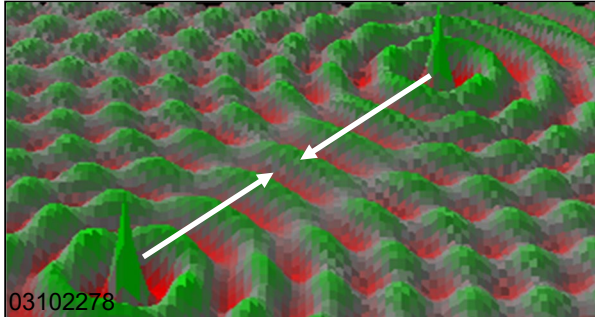


Abb. 4.3 Illustration zwei abstrahlender Kugelquellen

(Pfad zwischen den beiden Quellen: Interferenz)

> Animation 1: Animierte 2D-Kugelwellen ⁵⁾

> Animation 2: Animierte 3D-Kugelwellen ⁶⁾

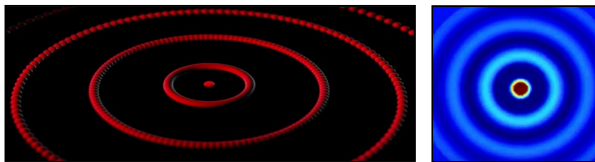


Abb. 4.4 Illustration Kugelwellen

4.4.2 Schallleistungspegel L_w

Oftmals ist anstelle des Schalldruckpegels in einem bestimmten Abstand der Schallleistungspegel einer Kugelquelle bekannt. Die Schallleistung ist eine quellenspezifische Grösse. Sie nimmt mit zunehmendem Abstand nicht ab, verteilt sich aber auf eine immer grösser werdende (Kugel-)Fläche.

Aus einem bekannten Schallleistungspegel L_w lässt sich der Immissionspegel vereinfacht (ohne Luftdämpfung, Bodeneffekt, etc.) wie folgt bestimmen:

$$L_2 = L_w - 10 \cdot \log \left\{ \frac{4 \pi r^2}{Q} \right\} \quad [\text{dB}], [\text{dB(A)}]$$

L_2 : Unbekannter Schallpegel im Abstand r
 L_w : Schallleistungspegel einer Kugelquelle
 \log : Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)

π : PI (Konstante = 3.141....)

r : Abstand zur Schallquelle [m]

Q : Richtfaktor

$Q = 1$: Abstrahlung im freien Raum

(z. B. „fliegendes Flugzeug“)

$Q = 2$: Abstrahlung auf einer reflektierenden Ebene

(z. B. Auto auf Parkplatz, Maschine auf Feld)

$Q = 4$: Abstrahlung in einen Viertelraum

(z. B. Ventilator an Fassade nahe Boden)

$Q = 8$: Abstrahlung in einen Achtelraum

(z. B. Lautsprecher in einer Ecke)

> Rechner 1: [Schallleistung in Schalldruck](#) ⁷⁾

> Rechner 2: [Schallleistung in Schalldruck](#) ⁸⁾

Umrechnungen von einem Schallleistungspegel in einen Schalldruckpegel in 1 m Abstand:

KQ: Kugelquelle

$$L_{1m} = L_w - 11 \text{ dB}$$

> KQ in der Luft

$$L_{1m} = L_w - 11 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

> KQ nahe Boden

$$L_{1m} = L_w - 11 \text{ dB} + 6 \text{ dB}$$

> KQ an Fassade nahe Boden

$$L_{1m} = L_w - 11 \text{ dB} + 9 \text{ dB}$$

> KQ in Ecke nahe Boden

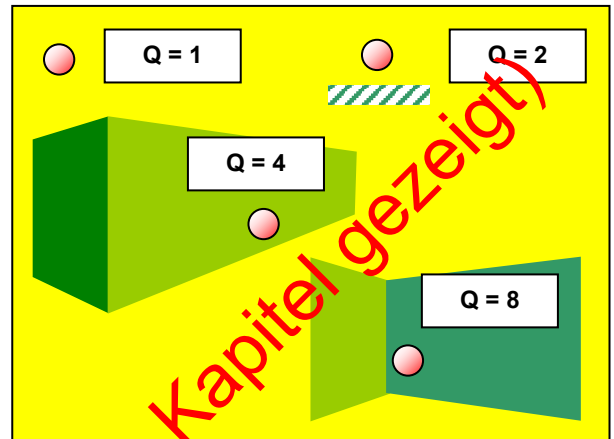


Abb. 4.5 Illustration Richtfaktor Q

> [Schallemissionsmessungen an Maschinen](#), suva ⁹⁾

> Schallleistung und Abnahmemessungen, suva (Bestell-Nr. 66027.d).

4.4.3 Zylinderwelle (Zylinder- oder Linienquelle)

Eine Welle einer Zylinder- oder Linienquelle ist eine sich gleichmäßig von der Quelle in zwei Raumrichtungen ausbreitende Welle.

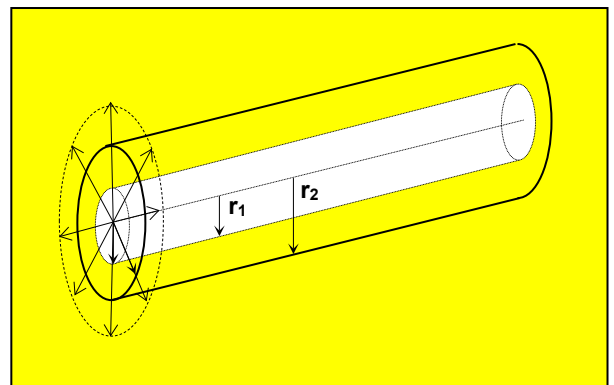


Abb. 4.6 Illustration Zylinderwelle (Linienquelle)

$$L_2 = L_1 - 10 \cdot \log \left\{ \frac{r_2}{r_1} \right\} \quad [\text{dB}], [\text{dB(A)}]$$

L_1 : Bekannter Schallpegel einer Zylinderquelle im Abstand r_1

L_2 : Unbekannter Schallpegel im Abstand r_2

\log : Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)

⁵⁾ Google: Falstad ripple

⁶⁾ Google: Falstad wavebox

⁷⁾ <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-schallleistung.htm>

⁸⁾ <https://www.masenv.co.uk/noisecalculator>

⁹⁾ Google: Schallemissionsmessungen an Maschinen



Befinden sich stationäre oder bewegte Kugelquellen auf einer Linie, entsteht eine Wellenfront analog einer Zylinderwelle.

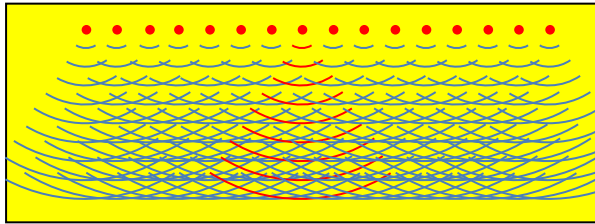


Abb. 4.7 Auf einer Linie abstrahlende Kugelquellen

Beispiele von Linienquellen sind:

Ein 100 m langer Zug im Abstand von 10 m, eine sehr lange, fahrende Autokolonne in einem Abstand von 20 m oder eine Transportleitung für Granulat in der Industrie.

Bei einer Zylinderwelle hat eine Abstandsverdoppelung eine Schallpegelabnahme von 3 dB, eine Abstandshalbierung eine Zunahme von 3 dB zur Folge („3 dB-Regel“).

4.4.4 Ebene Wellen (Flächenquelle)

$$L_2 = L_1 \text{ [dB], [dB(A)]}$$

L_1 : Bekannter Schallpegel einer Flächenquelle im Abstand r_1
 L_2 : Unbekannter Schallpegel im Abstand r_2

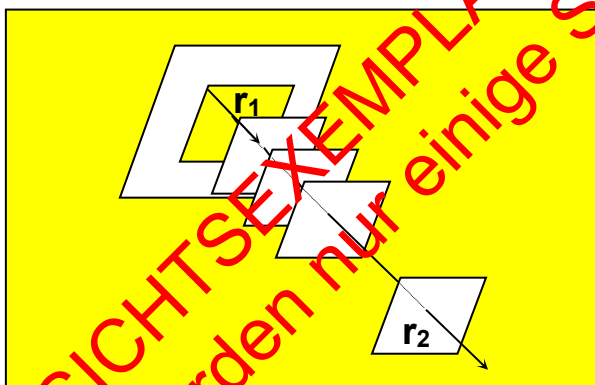


Abb. 4.8 Illustration ebene Welle (Flächenquelle)

Beispiele von Flächenquellen sind:

Eine sehr grosse, mit Blech verkleidete Maschine (z.B. Papierdruckmaschine) in einem Abstand von 10 m oder eine Fassade einer grossen Industriehalle in einem Abstand von 0.5 m.

Bei einer Flächenquelle hat eine Veränderung des Abstands keine Schallpegelveränderung zur Folge.

Wichtige Hinweise:

- Die Abnahme des Schallpegels von 6 dB bzw. 3 dB pro Abstandsverdoppelung bei Kugel- bzw. Zylinderwellen hat rein geometrischen Charakter und ist **frequenzunabhängig**.

- In der Praxis kommen alle drei Wellentypen vor, teilweise jedoch nur angenähert. Es wird von einer Kugelwelle gesprochen, wenn die Abmessungen der Schallquelle im Verhältnis zur Mess- und Empfangspunktentfernung relativ klein sind.
- Schallquellen, die längs einer Linie unendlich ausgedehnt sind, gibt es in der Praxis nicht. Ist der seitliche Abstand zwischen Mess- und Beobachtungspunkt klein gegenüber der Länge der Schallquelle (z. B. Eisenbahnzug, Autokolonne), so können die Schallwellen angenähert als zylinderförmig betrachtet werden.
- Bereits ab einem Abstand von ca. $1/3$ ihrer Länge beginnt sich eine Linienschallquelle (z.B. Transportleitung, Förderband, grosses Industriegebäude, etc.) wie eine Kugelquelle zu verhalten.
- Der Fall von ebenen Wellen (keine Schallpegelabnahme) ist in der Praxis bei sehr grossen Maschinen oder bei Fassadenkonstruktionen grosser Industriegebäude anzutreffen. Eine solche Flächenquelle verhält sich ab einem Abstand von ca. $1/3$ der grössten Dimension (z. B. Hallenlänge) bereits ähnlich einer Kugelquelle.

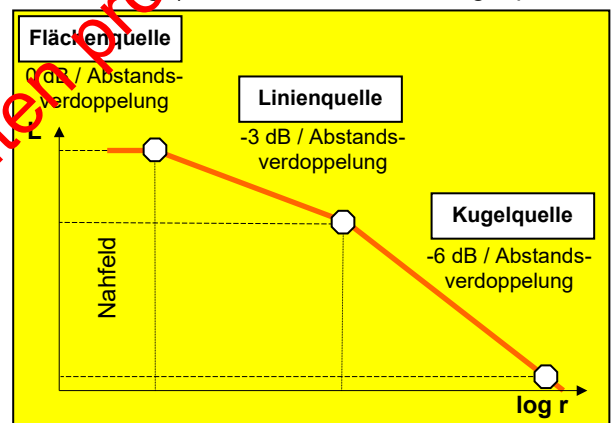


Abb. 4.9 Charakteristik Schallpegelabnahme

Grundaufgaben:

- Ein einzelnes Auto verursacht in einem Abstand von 7 m während seiner Vorbeifahrt einen Schallpegel L_{\max} von 65 dB(A, Fast). Wie gross ist die geometrische Schallpegelabnahme, wenn der Abstand verdreifacht wird?
 $[L = -9.5 \text{ dB(A)} \approx -10 \text{ dB(A)}]$
- Wie gross ist die geometrische Dämpfung bei einem Ventilator, bei dem der Grundabstand von 50 m auf 10 m verändert wird?
 $[L_{10 \text{ m}} = +14.0 \text{ dB(A)} \approx +14 \text{ dB(A)}]$
- In einem Abstand von 1 m vor der Papiermaschine „Carolina“ ($l = 150 \text{ m}$, $h = 25 \text{ m}$) ist ein Pegel von 95 dB(A) zu verzeichnen. Wie gross ist der Pegel in einem Abstand von 1.5 m?
 $[L_{1.5 \text{ m}} = 95 \text{ dB(A)}]$


[Link](#)

5.	LÄRMERMITTLUNG (Messung / Berechnung)	4
5.1	Kann Lärm überhaupt ermittelt werden?	4
5.2	Lärmberechnung	4
5.2.1	Quellenspezifische Berechnungsmodelle	4
5.2.2	Wellentheoretische Betrachtungen	5
5.3	Lärmmessung	6
5.3.1	Einführung	6
5.3.2	Wichtigste messtechnische Grössen	6
5.3.3	A-bewerteter Schallpegel	6
5.3.4	Mittelungspegel L_{eq}	6
5.3.5	Statistische Pegel	7
5.3.6	Schallexpositionspegel L_E (früherer SEL)	7
5.3.7	Schallleistungspegel L_W	7
5.3.8	Schallintensität I	8
5.3.9	Z-bewerteter Schallpegel	8
5.3.10	Oktav-, Terz- bzw. Schmalbandspektren	8
5.3.11	Schallpegelregistrierung	8
5.3.12	Geräuschaufzeichnung	9
5.3.13	Aufbau Schallpegelmesser	9
5.3.14	Wichtigste Einstellungen am Schallpegelmesser	10
5.3.15	Smartphone als Schallpegelmesser	11
5.3.16	Praktische Hinweise für Lärmmessungen	11
5.3.17	Kurzzeit- vs. Langzeitlärmmessungen	13
5.4	Beispiele von Lärmmessprotokollen und Detailauswertungen (Rothenburg)	14
5.4.1	Protokoll personell begleitete, einstündige Kurzzeitlärmmessung	14
5.4.2	Detailauswertungen Kurzzeitlärmmessung	15
5.4.3	Protokoll personell unbegleitete Langzeitlärmmessung (Deck- und Ergebnisblatt)	16
5.4.4	Protokoll Langzeitlärmmessung (Stunden-Verlauf 30-Sekunden- L_{eq} , $-L_{min}$, und $-L_{max}$)	17
5.4.5	Detailauswertungen Langzeitlärmmessung (Pegel-Zeit-Diagramme)	18
5.4.6	Detailauswertungen Langzeitlärmmessung (Histogramme)	18
5.4.7	Korrelationen Langzeitlärmmessung	19
5.5	Beispiele von Lärmmessprotokollen und Detailauswertungen (Dierikon)	20
5.6	Korrelationen Emissions-/ Immissionsmessungen (Kriens)	23
5.7	Schallmessungen am Massstabmodell	24
5.8	Akustische Kamera	24
5.8.1	Was ist die Akustische Kamera?	24
5.8.2	Woraus besteht die Akustische Kamera?	24
5.8.3	Wofür ist die Akustische Kamera?	24
5.8.4	Mit den Augen hören	24
5.9	Angaben zur Genauigkeit (Ermittlungsunsicherheit)	25
5.9.1	Grundsätze	25
5.9.2	Fragen Genauigkeit (Ermittlungsunsicherheit)	25
5.9.3	Überlegungen des Script-Verfassers	25
5.9.4	Zur Erinnerung: Messerfahrung im Alltag	25
5.9.5	Genauigkeit der Messgeräte	25
5.9.6	Unsicherheit Mikrofonaufstellung	25
5.9.7	Unsicherheit Betriebsdaten Strassenlärm	25
5.9.8	Unsicherheit Lärmberechnung Strassenlärm	25
5.9.9	Unsicherheit Betriebsdaten Schiesslärm	25
5.9.10	Unsicherheit Messungen Schiesslärm	25
5.9.11	Unsicherheit Industrie- / Gewerbelärm	25



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 5.1	Fotorealistische 3D-Ansicht CadnaA-Berechnungsprogramm	5
Abb. 5.2	Isophonendarstellung Fluglärmbelastung CadnaA-Berechnungsprogramm	5
Abb. 5.3	Wellentheoretische Betrachtungen (Quelle: EMPA, Dr. Kurt Heutschi)	5
Abb. 5.4	Historische Messgeräte von Brüel&Kjaer und modernes Gerät von Norsonic	6
Abb. 5.5	$L_{eq} = 71 \text{ dB(A)}$ – Regen	7
Abb. 5.6	$L_{eq} = 71 \text{ dB(A)}$ – Strassenlärm	7
Abb. 5.7	$L_{eq} = 71 \text{ dB(A)}$ – Hämmern	7
Abb. 5.8	$L_{eq} = 71 \text{ dB(A)}$ – Schiessen	7
Abb. 5.9	Pegelstatistik gemessen mit Norsonic 121	7
Abb. 5.10	Illustration Schallintensität I	8
Abb. 5.11	Prinzip der Schallintensitätsmessung mit zwei Mikrofonen in definiertem Abstand	8
Abb. 5.12	Terzspektrum gemessen mit Norsonic 121	8
Abb. 5.13	Pegel-Zeitverlauf in dB(A), Fast gemessen mit Norsonic 121	9
Abb. 5.14	„Marker“-Tabelle beim Norsonic 121	9
Abb. 5.15	Im Pegelschrieb sichtbare Fremdgeräuscheinwirkungen (morgentliches Vogelgezwitscher)	9
Abb. 5.16	Schematischer Aufbau Schallpegelmesser	10
Abb. 5.17	Dasselbe Geräusch, gemessen mit den Zeitkonstanten Spitze, Impuls, Fast und Slow	10
Abb. 5.18	L , L_{eq} , L_{max} , Terz- und Schmalbandspektrum, Pegelschrieb	11
Abb. 5.19	Pistonphon (RION)	12
Abb. 5.20	Kalibrator (Norsonic)	12
Abb. 5.21	Mikrofon Mitte offenes Fenster	12
Abb. 5.22	Mikrofon bei Freifeldmessung	12
Abb. 5.23	Auf Fassade oder Fenster aufgesetztes Mikrofon	12
Abb. 5.24	Protokoll Kurzzeitleärmessung (Planteam GHS AG, heute Sinus AG)	14
Abb. 5.25	Pegel-Zeitdiagramme Kurzzeitleärmessung (Werner Stalder, Dienststelle vif)	15
Abb. 5.26	Histogramme Kurzzeitleärmessung (Werner Stalder, Dienststelle vif)	15
Abb. 5.27	Protokoll Langzeitleärmessung ; Deck- und Ergebnisblatt (Planteam GHS AG, heute Sinus AG)	16
Abb. 5.28	Protokoll Langzeitleärmessung; Stunden-Verlauf 30-Sekunden- L_{eq} , L_{min} und L_{max}	17
Abb. 5.29	Pegel-Zeit-Diagramme Langzeitleärmessung (Werner Stalder, Dienststelle vif)	18
Abb. 5.30	Histogramme Langzeitleärmessung (Werner Stalder, Dienststelle vif)	18
Abb. 5.31	Korrelationen Langzeitleärmessung (Werner Stalder, Dienststelle vif)	19
Abb. 5.32	Protokoll 4h-Kurzzeitleärmessung (AF-Consult, heute AFRY)	20
Abb. 5.33	Markierte Störgeräusche während 90-minütiger Kurzzeitleärmessung (AF-Consult, heute AFRY)	20
Abb. 5.34	Parallel durchgeführte, mehrstündige, personell begleitete Kurzzeitleärmessungen (AF-Consult/AFRY)	21
Abb. 5.35	Ergebnisse personell unbegleitete Langzeitleärmessungen (AF-Consult, heute AFRY)	21
Abb. 5.36	Ergebnisse automatische Verkehrszählungen (Dienststelle vif)	21
Abb. 5.37	Korrelation 1-Minuten- L_{eq} zwei verschiedener Immissionsorte (AF-Consult, heute AFRY)	22
Abb. 5.38	Korrelation 1-Stunden- L_{eq} zwei verschiedener Immissionsorte	22
Abb. 5.39	Korrelation berechnete Emission / gemessener 1-Stunden- L_{eq} zwei verschiedener Immissionsorte	22
Abb. 5.40	Protokoll Langzeitleärmessung: Gute Korrelation Emissions- / Immission MP A	23
Abb. 5.41	Protokoll Langzeitleärmessung: Schlechte Korrelation Emissions- / Immission MP B	23
Abb. 5.42	Tageszeitabhängige Darstellung der Dämpfung (Emission – Immission)	23
Abb. 5.43	Massstabmodell eines Eisenbahneinschnittes mit Lok und Wagen	24
Abb. 5.44	Akustische Kamera (www.norsonic.ch)	24
Abb. 5.45	Akustische Kamera, Emissionen eines Fahrzeugmotors (www.norsonic.ch)	24
Abb. 5.46	Akustische Kamera, Emissionen eines Windkraftwerks (www.norsonic.ch)	25



Abkürzungen:

bSHT:	Bewerte Anzahl Schiesshalbtage (Anhang 7 LSV)
EP:	Empfangspunkt
F:	Zeitbewertung F (fast = schnell); Mittelungszeit 1/8 s
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
I:	Schallintensität [W/m ²]
I:	Spitzenwert Impuls mit zwei verschiedene Zeitkonstanten; Anstieg 35 ms, Abfall 1.5 s
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB] [dB(A)]
ΔL:	Schallpegeldifferenz [dB] [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
L _E :	Schallexpositionspegel [dB(A)]; andere Bezeichnung: Schall-Wirkpegel, früherer SEL
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _i :	Statistische Pegel, z.B. L ₁ , L ₁₀ , L ₅₀ , L ₉₀ , L ₉₉ [dB] [dB(A)]
L _{max} :	Maximalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _{min} :	Minimalpegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _r :	Beurteilungspegel [dB(A)]
L _{SPL} :	Momentaner Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB] [dB(A)]
L _W :	Schalleistungspegel [dB] [dB(A)]
L _Z :	Z-bewerteter Schallpegel [dB]; früherer «linearer» Pegel
Peak:	Spitzenwert Peak-Hold mit zwei verschiedene Zeitkonstanten; Anstieg 20 bis 50 μs, Abfall 2 s
S:	Zeitbewertung S (slow = langsam); Mittelungszeit 1 s
λ:	Wellenlänge [m]
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



5. LÄRMERMITTLUNG (Messung / Berechnung)

5.1 Kann Lärm überhaupt ermittelt werden?

Mit geeigneten Messgeräten (z. B. Handschallpegelmesser, Pegelschreiber, etc.) oder mit Hilfe von Modellberechnungen können zwar die physikalischen Einflussgrössen des Lärms (Schalldruck bzw. Schalldruckpegel, zeitlicher Pegelverlauf, Frequenzzusammensetzung des Geräusches, Mittelungspegel, etc.) ermittelt werden, nicht aber der Lärm selbst. Bis heute ist es – abgesehen von Prototypen – noch nicht gelungen, Geräte zu bauen, die es erlauben würden, die subjektive Störwirkung der verschiedenen Schallereignisse auf den Menschen und damit den eigentlichen Lärm befriedigend genau zu messen («Lautheitsmessungen»). In der Praxis wird dennoch der Begriff der Lärmermittlung (Lärmmessung oder Lärmberechnung) verwendet. Die Beurteilung der ermittelten Lärmimmissionen erfolgt nämlich dadurch, dass die schalltechnischen Grössen mit individuellen, den Lärmquellen angepassten Grenzwerten (z.B. mit den Belastungsgrenzwerten gemäss LSV) verglichen werden. Diese zulässigen Grenzwerte werden anhand der psychischen, physischen und sozialen Wirkung der einzelnen Schallereignisse, d.h. auf der Grundlage von soziopsychologischen Untersuchungen bei einer Vielzahl von lärmbelasteten Menschen festgelegt und berücksichtigen daher das subjektive Moment des Lärms zumindest im Ansatz.

5.2 Lärmberechnung

5.2.1 Quellspezifische Berechnungsmodelle

Vorhandene Lärmsituationen können für die meisten Lärmarten rechnerisch, mit speziell entwickelten Berechnungsmodellen, beschrieben und beurteilt werden. So gibt es solche für Strassenlärm, Eisenbahnlärm, Fluglärm, Lärm von 300m-Schiessanlagen, Industrie- und Gewerbelärm, etc.

Im Zusammenhang mit dem Vollzug der Umweltschutzgesetzgebung haben Berechnungsmodelle einen hohen Stellenwert. Damit kann eine einheitliche Lärmermittlung und Beurteilung gewährleistet werden. Zudem kann in den meisten Fällen der Ermittlungsaufwand auf ein noch vernünftiges Mass begrenzt werden. Allfällige, während den Messungen störend in Erscheinung tretende Witterungseinflüsse (Wind, Regen, Schnee, Nebel, etc.) können ebenso «ausgeschaltet» werden, wie quellenunabhängige Fremdgeräuscheinwirkungen während den Messungen (Lärm einer nahen Baustelle, Fluglärm, etc.).

Bei noch nicht erstellten Anlagen, so insbesondere bei den meisten Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP), sind Messungen gänzlich ausgeschlossen,

weshalb dort zur Prognose der künftigen Lärmimmissionen nur Modellrechnungen in Frage kommen.

Die Berechnungsmodelle werden laufend erweitert und verbessert. So empfiehlt es sich, z.B. beim jeweilig zuständigen kantonalen Amt für Umweltschutz (AfU), beim Bundesamt für Umwelt (BAFU), beim Bundesamt für Strassen (ASTRA) oder bei der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (EMPA) nach den neuesten Berechnungsmodellen sowie deren Eignung in der jeweilig spezifischen Situation zu erkundigen.

Im Kap. 7 wird auf zwei Berechnungsmodelle für Strassenverkehrslärm näher eingetreten:

- > «Stl-86+»-Strassenlärmberechnungsmodell
- > «EMPA₉₇»-Modell («StnRoad»)

Interessierte können weitere Berechnungsunterlagen für die Ermittlung und Beurteilung anderer Lärmarten gratis oder kostengünstig beim BAFU beziehen. Die Erläuterung der Berechnungsmodelle ist meist sehr gut, so dass ein versierter, durchschaulich mathematisch Begabter eine solche Berechnung verstehen und selbst durchführen kann, zumindest beim Strassenlärm. Für komplexere Situationen z.B. Fluglärm) sind allerdings Computersimulationen unumgänglich.

In der Schweiz sind vor allem die beiden nachfolgenden Computerprogramme für die Ermittlung und Beurteilung von Lärmimmissionen verbreitet:

	Strassenlärm (Stl-86+)	Parkplatzlärm (u.a. SN 640578)	Eisenbahnlärm (SEMIBEL)	Punkt- und Flächenquellen	Weitere Lärmarten
SLIP	x		x	x	
CadnaA	x	x	x	x	x

Informationen:

SLIP: [Grolimund+Partner AG](#), Bern

CadnaA: [Norsonic Brechbühl AG](#), Rüegsau

Weitere Programme sind u.a.:

IMMI: [Wölfel-Gruppe](#), D-97204 Höchberg

LIMA: [Stapelfeldt mbH](#), D-44141 Dortmund

Soundplan: [SoundPLAN GmbH](#), D-71522 Backnang

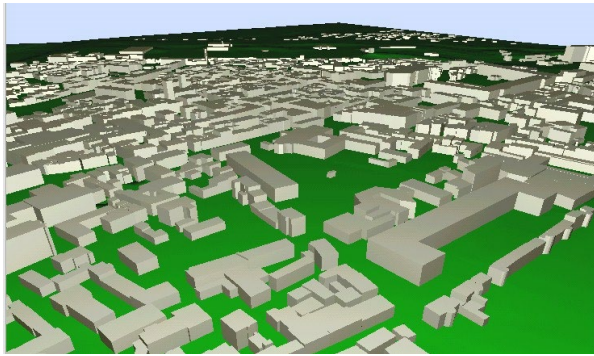


Abb. 5.1 Fotorealistische 3D-Ansicht CadnaA-Berechnungsprogramm

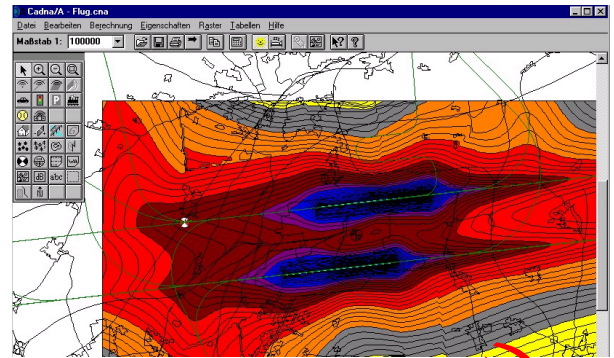


Abb. 5.2 Isophonendarstellung Fluglärmbelastung CadnaA-Berechnungsprogramm

5.2.2 Wellentheoretische Betrachtungen

Für grössere Sanierungsprojekte mit komplexen Rahmenbedingungen (Reflexionsflächen) empfiehlt es sich die Berechnungsergebnisse von konventionellen Ermittlungen mittels wellentheoretischer Betrachtungen (numerische Simulation mit einer im Zeitbereich arbeitenden Finiten Differenzen Methode) kritisch zu hinterfragen.

Die EMPA, Abteilung Akustik, hat sich hierfür spezialisiert. Kontaktperson: Dr. Kurt Heutschi ¹⁾

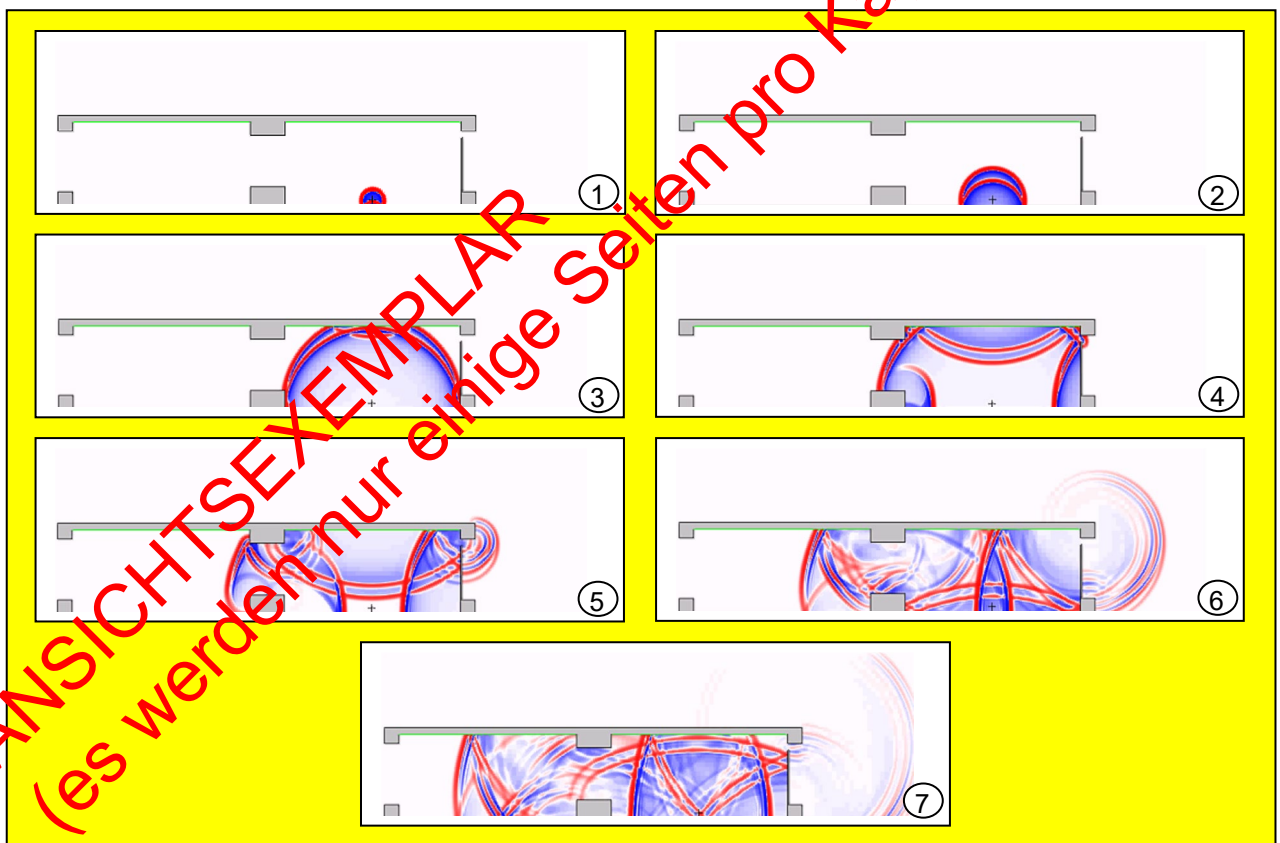


Abb. 5.3 Wellentheoretische Betrachtungen (Quelle: EMPA, Dr. Kurt Heutschi)

¹⁾ Google: Schallausbreitung in Eisenbahneinschnitten



5.3 Lärmmessung

5.3.1 Einführung

Schallvorgänge unterscheiden sich sowohl durch die Intensität, als auch durch das Spektrum. Bei den meisten Lärmarten variieren Intensität und Spektrum in Funktion der Zeit, sie sind praktisch nie konstant. Bei der Erfassung und Analyse beider Grössen ist daher eine zeitliche Mittelung erforderlich.

Bei der Wahl der Messmethode ist ein optimales Verhältnis von Genauigkeit und Mess- und Mittelungszeit anzustreben!

Die Mittelungszeit ist vernünftigerweise so zu begrenzen, dass sie unter der Periodendauer der tiefsten interessierenden Frequenz liegt. Aufgrund der Wellenlänge des tiefsten, vom menschlichen Ohr wahrnehmbaren Tons ($f = 20 \text{ Hz}$, $\lambda = 17 \text{ m}$) resultiert folglich mindestens eine Mittelungszeit von 0.1 s oder länger. Für viele Lärmarten ist aber gerade der zeitliche Wechsel in der Intensität und/oder im Spektrum charakteristisch und interessant. Eine allzu lange Mittelungszeit würde also diese schnell wechselnden Informationen allzu stark verwischen. Die Lärmesstechnik steht also zwei gegensätzlichen Forderungen gegenüber. Einerseits sollen einfache, auch für längerzeitige Betrachtungen gültige Resultate ausgewiesen werden. Andererseits soll die akustische Information im Hinblick auf die fachliche Beurteilung so detailliert wie möglich sein und daher sämtliche Einzelheiten über die zeitliche Variation der Intensität und des Spektrums beinhalten. Es liegt somit auf der Hand, dass die Lärmesstechnik nicht mit einem Standard alle Forderungen zu erfüllen vermag.



Abb. 5.4 Historische Messgeräte von Brüel&Kjaer und modernes Gerät von Norsonic

5.3.2 Wichtigste messtechnische Grössen

Mit der modernen Lärmesstechnik können Geräusche mit einem ein- oder zweikanaligen System erfasst werden. Der Frequenzbereich erstreckt sich heute von 0.1 (Vibrations- und Niederfrequenzmessungen) bis 20'000 Hz. Die Auflösung bis 10 ms ist kein Problem. Ein Dynamikbereich von 120 dB ist quasi Standard.

Folgende Messgrössen stehen dabei im Vordergrund:

- A-bewerteter Schallpegel (momentaner Schallpegel) mit L_{SPL} , L_{max} und L_{min}
- Energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} (Mittelungspegel)
- Statistische Pegel, L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{99} , etc.
- Schallexpositionspegel L_E (früherer Sound-Exposure-Level SEL)
- Schallleistungspegel L_w
- Schallintensität I
- Oktav-, Terz- oder Schmalbandspektren
- Raumakustische Parameter, u.a. Nachhallzeit
- Elektronische Schallpegelregistrierung
- Digitale Geräuschaufzeichnung (Audio-Datei)

5.3.3 A-bewerteter Schallpegel

Definition vgl. Kap. 3.12

- Einfach zu ermittelndes Mass.
- Der eingesetzte A-Filter berücksichtigt das Hörempfinden des menschlichen Ohrs weitgehend.
- Die einzelnen Pegelwerte können hinsichtlich der Störung mit gleich ermittelten Pegelwerten anderer Lärmanalysen verglichen werden.
- Die ermittelten maximalen und minimalen Schallpegel geben den Bereich einer variierenden lärmtechnischen Störung an.
- A-bewertete Schallpegel werden sinnvollerweise im Zusammenhang mit der Beurteilung von kontinuierlichen Geräuschen (Ventilatoren o.ä.), Vorbeifahrsituationen, einzelnen Stö ereignissen (Einzelschusspegel von Schiesslärm), Abnahmemessungen von Fahrzeugen und Geräten, etc., ermittelt.

5.3.4 Mittelungspegel L_{eq}

Definition vgl. Kap. 2.15.

- Mit dem energieäquivalenten Dauerschallpegel (Mittelungspegel) L_{eq} lassen sich zeitlich schwankende Lärmimmissionen anhand einer Beurteilungsgrösse lärmtechnisch charakterisieren und beurteilen.
- Der L_{eq} definiert ein zeitlich konstanter Pegel mit genau der gleichen Schallenergie, wie die des zeitlich veränderlichen Schallpegels im selben Beurteilungszeitraum.
- Mittels dem zugeschalteten A-Filter kann auch das Hörempfinden des menschlichen Ohrs direkt miteinbezogen werden. Dies gestattet aussagekräftige Vergleiche mit gleich ermittelten Pegelwerten von anderen Lärmsituationen anzustellen.



6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN

6.	RECHTLICHE GRUNDLAGEN	4
6.1	Gesetzhierarchie, Zuständigkeiten und Literatur	4
6.1.1	Gesetzhierarchie	4
6.1.2	Vollzug Bund	5
6.1.3	Vollzug Kantone	5
6.1.4	Fachstellen	5
6.1.5	Gerichte	5
6.1.6	Amtliche und systematische Sammlung	5
6.1.7	Literatur	5
6.2	Bundesgesetze	5
6.2.1	Schweiz. Zivilgesetzbuch (ZGB)	5
6.2.2	Umweltschutzgesetzgebung	5
6.2.3	Raumplanungsgesetzgebung	5
6.2.4	Strassenverkehrsgesetzgebung	5
6.2.5	Eisenbahngesetzgebung	6
6.2.6	Luftfahrtsgesetzgebung	6
6.2.7	Binnenschiffahrtsgesetzgebung	6
6.2.8	Seilbahngesetzgebung	6
6.2.9	Schiesswesen	6
6.2.10	Gesundheitsschutz im Bauwesen	6
6.2.11	Arbeitnehmerschutz	6
6.2.12	Tierschutz	6
6.3	Kantonale Gesetze (Luzern)	6
6.4	Kommunale Gesetze	6
6.5	Umweltschutzgesetz (USG)	7
6.6	Lärmschutz-Verordnung (LSV)	8
6.7	Wichtigste Begriffe und Regelungen in der LSV	9
6.8	Abgrenzung des Geltungsbereichs von USG und LSV zu ZGB	13
6.9	Typische Beurteilungsfälle	13
6.9.1	Anforderungen an neue Anlagen (LSV Art. 7 ff.)	13
6.9.2	Anforderungen an geänderte Anlagen (LSV Art. 8)	14
6.9.3	Anforderungen an bestehende Anlagen (LSV Art. 13 ff.)	15
6.9.4	3-stufiges Lärmbekämpfungskonzept bei Sanierungen (LSV Art. 13 ff.)	16
6.9.5	Kombinationen von neuen, (wesentlich) geänderten und bestehenden Anlagen	17
6.9.6	Anforderungen an neue / unerschlossene Bauzonen (LSV Art. 29 und 30)	17
6.9.7	Anforderungen an neue Gebäude (LSV Art. 31 ff.)	18
6.9.8	Anforderungen an den Schallschutz neuer oder geänderter Gebäude (LSV Art. 32 ff.)	19
6.10	Unbestimmte Rechtsbegriffe und Rechtsauslegung	19
6.11	Rechtsprechung	20
6.11.1	Neue Anlagen	20
6.11.2	Wesentliche resp. unwesentliche Anlageänderungen	20
6.11.3	Sanierungen	20
6.11.4	Tempo 30	20
6.11.5	Weitergehende Emissionsbegrenzungen im Rahmen der Vorsorge	21
6.11.7	Betriebliche und technische Möglichkeit sowie wirtschaftliche Tragbarkeit	21
6.11.8	Lärmvorbelastete Gebiete	21
6.11.9	Erleichterungen	21
6.11.10	Bauzonen	21
6.11.11	Lärmermittlung	21
6.11.12	Zonenkonformität	21
6.12	Präzisierungen zur Sanierungspflicht	21
6.13	Auszug aus Umweltschutzgesetz (USG)	22
6.14	Auszug aus eidg. Lärmschutz-Verordnung (LSV)	27
6.14.1	LSV – Textteil (Stand: 1. Januar 2016)	27
6.14.2	Anhang 1 LSV	34
6.14.3	Anhang 2 LSV	34
6.14.4	Anhang 3 LSV	34
6.14.5	Anhang 4 LSV	35
6.14.6	Anhang 5 LSV	35
6.14.7	Anhang 6 LSV	37
6.14.8	Anhang 7 LSV	38
6.14.9	Anhang 8 LSV	38
6.14.10	Anhang 9 LSV	39



In Diskussion stehende Änderungen von USG und LSV:

Derzeit sind verschiedene Änderungen von USG und LSV in Diskussion. Näheres dazu in folgenden Links:

USG: [Bundesrat eröffnet Vernehmlassung zur Änderung des Umweltschutzgesetzes zu Altlasten, Lärmschutz und Umweltstrafrecht \(8. September 2021\)](#)

Lärmschutz und Siedlungsentwicklung besser aufeinander abstimmen

Die Änderung zielt darauf ab, die Möglichkeiten zur Siedlungsentwicklung nach innen zu verbessern und gleichzeitig die Bevölkerung vor Lärm zu schützen. Neu soll das USG Kriterien für die Erteilung von Baubewilligungen in lärmbelasteten Gebieten enthalten. Diese Kriterien würden die derzeit in der Lärmschutzgesetzgebung vorgesehene Interessenabwägung ersetzen und so die Rechtssicherheit erhöhen.

Im Weiteren strebt die Revision an, den Schutz der Ruhe und die Entwicklung der Siedlungen nach innen besser aufeinander abzustimmen. So sind bei der Planung von zusätzlichem Wohnraum in lärmbelasteten Gebieten ruhige Freiräume zur Erholung vorzusehen. Damit setzt der Bundesrat eine Motion des Parlaments um.

LSV: [Revidierte Lärmschutz-Verordnung - Mehr Geld für weniger Lärm \(1.6.2022\)](#)

EKLB: Die Eidgenössische Kommission für Lärmbekämpfung (EKLB) empfiehlt dem Bundesrat, die Grenzwerte für Strassen-, Eisenbahn- und Fluglärm zu verschärfen. Sie kommt in ihrem [Bericht](#) von 2017 zum Schluss, dass die heutigen Grenzwerte veraltet sind – dies auf der Basis wissenschaftlicher Studien, welche die Auswirkungen von Lärm auf die Gesundheit untersuchten.

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 6.1	Terminologie: Emission – Transmission – Immission / Lärmschutz – Schallschutz	4
Abb. 6.2	Gesetzgebung Umweltlärm	4
Abb. 6.3	Gesetzgebung Arbeitnehmerschutz	4
Abb. 6.4	Gesetzgebung Nachbarschaftslärm	4
Abb. 6.5	Gesetzgebung Fahrzeuflärm	4
Abb. 6.6	Belastungsgrenzwerte und ihre Anwendungen	7
Abb. 6.7	Schematische Darstellung «Festlegung Belastungsgrenzwerte»	7
Abb. 6.8	Problematik bei der Festlegung der Belastungsgrenzwerte	8
Abb. 6.9	Schema mit L_{eq} , K_i und Beurteilungsspiegel L_r	8
Abb. 6.10	Belastungsgrenzwertschema gemässen Anhängen in der LSV	9
Abb. 6.11	Ortsfeste Anlagen mit zahlenmässig festgelegten Belastungsgrenzwerten	9
Abb. 6.12	Ortsfeste Anlagen ohne zahlenmässig festgelegte Belastungsgrenzwerte	9
Abb. 6.13	Strasse mit ihren relevanten Anlageteilen (inkl. Reflexionen an Fassaden)	10
Abb. 6.14	Industrielle Anlage mit ihren relevanten Anlageteilen	10
Abb. 6.15	Keine Anlagen im Sinne der Umweltschutz-gesetzgebung	10
Abb. 6.16	Illustration Referenzpunkt Mitte offenes Fenster	12
Abb. 6.17	Abgrenzung des Geltungsbereichs von USG und LSV zu ZGB (I)	13
Abb. 6.18	Abgrenzung des Geltungsbereichs von USG und LSV zu ZGB (II)	13
Abb. 6.19	Abgrenzung des Geltungsbereichs von USG und LSV zu ZGB (III)	13
Abb. 6.20	Anforderungen an neue Anlagen (I)	14
Abb. 6.21	Anforderungen an neue Anlagen (II)	14
Abb. 6.22	Anforderungen an neue Anlagen (III)	14
Abb. 6.23	Verkehrssystem vorher	14
Abb. 6.24	Verkehrssystem nachher (+: Mehrverkehr, -: Minderverkehr)	14
Abb. 6.25	Lärmrechtliche Beurteilung je Strassenabschnitt	14
Abb. 6.26	Anforderungen an bestehende öffentliche oder konzessionierte Anlagen	15
Abb. 6.27	Anforderungen an bestehende private Anlagen	15
Abb. 6.28	Vorgehensprinzip – geltende Belastungsgrenzwerte – Schallschutzfenstereinbau	15
Abb. 6.29	Stufe 1: Sind emissionsbegrenzende Massnahmen an der Quelle möglich?	16
Abb. 6.30	Stufe 2: Keine emissionsbegrenzende Massnahmen zwischen Quelle und EP möglich	16
Abb. 6.31	Stufe 2: Emissionsbegrenzende Massnahmen zwischen Quelle und EP hier möglich	16
Abb. 6.32	Stufe 3: Einbau von Schallschutzfenstern, soweit der AW überschritten wird	16
Abb. 6.33	Früheres Verkehrssystem am Seetalplatz (Luzern / Emmen)	17
Abb. 6.34	Neues Verkehrssystem am Seetalplatz (Luzern / Emmen)	17
Abb. 6.35	Anforderungen an neue oder noch unerschlossene Bauzonen (I)	18
Abb. 6.36	Anforderungen an neue oder noch unerschlossene Bauzonen (II)	18
Abb. 6.37	Anforderungen an neue Gebäude	18
Abb. 6.38	Lärmoptimierte Überbauung Schlossberg, Luzern	18
Abb. 6.39	Lärmabgewandte Orientierung der lärmempfindlichen Räume, Rankstrasse, Ebikon	18
Abb. 6.40	Was ist ein Fenster? Wo wird ermittelt?	20



Abkürzungen:

AS:	Amtliche Sammlung des Bundesrechts
ASTRA:	Bundesamt für Strassen
AW:	Alarmwert
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BAV:	Bundesamt für Verkehr
BAZL:	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Empfindlichkeitsstufe (I, II, III, IV)
EspaceSuisse:	Schweizer Verband für Raumplanung und Umweltfragen, früher VLP-ASPAN
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich (Baudirektion, Tiefbauamt)
IGW:	Immissionsgrenzwert
Ki:	Pegelkorrektur [dB(A)]
L:	Belastungsgrenzwert (AW, IGW, PW)
L':	Beurteilungspegel [dB(A)]
Leq:	Mittelungspegel [dB(A)]
LSP:	(Strassen-) Lärmsanierungsprojekt
PW:	Planungswert
SGA:	Schweizerische Gesellschaft für Akustik
sonBase:	GIS-Lärmdatenbank
SR:	Systematische Sammlung des Bundesrechts
SSF:	Schallschutzfenster
SSP:	Strassensanierungsprogramm (Begriff wird heute nicht mehr verwendet)
suva:	Schweizerische Unfallversicherung
URP:	Zeitschrift «Umweltrecht in der Praxis»
UVEK:	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VBS:	Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
VLP-ASPAN:	Schweizerische Vereinigung für Landesplanung VLP-ASPAN, heute EspaceSuisse
VUR:	Vereinigung für Umweltrecht
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
SLV:	Schall- und Laserverordnung (SR 814.49) seit 1.6.2019 ausser Kraft
V-NISSG:	Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (SR 814.711) in Kraft seit 1.6.2019
ZGB:	Schweizerisches Zivilgesetzbuch (210)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



6. RECHTLICHE GRUNDLAGEN

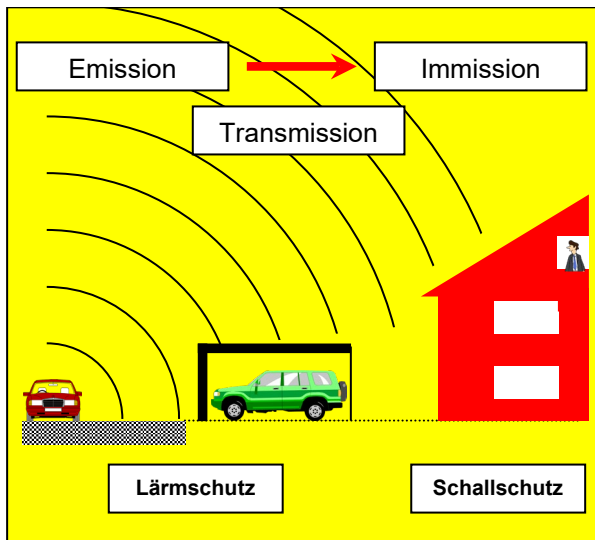


Abb. 6.1 Terminologie: Emission – Transmission – Immission / Lärmschutz – Schallschutz

Nachfolgend wird auf die wichtigsten gesetzlichen Grundlagen, welche sich ganz oder mindestens teilweise auf den Lärm beziehen, hingewiesen. Es gilt aber ausdrücklich zu berücksichtigen, dass die Auflistung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt. Zudem ist die jeweilig aktuelle Fassung zu berücksichtigen (vgl. Kap. 6.1.6).

6.1 Gesetzeshierarchie, Zuständigkeiten und Literatur

6.1.1 Gesetzeshierarchie

- **Bundesverfassung (BV)**
- **Gesetze, Bundesbeschlüsse**
- **Verordnungen**
- **Vollzugshilfen** (Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen etc.)

Grundsätze:

Vorordnungen dürfen einen übergeordneten Erlass nicht verletzen. Vollzugshilfen verdeutlichen, was in einem Erlass steht.

Die umweltrechtlichen Erlasse im Bereich Lärm sollen den Menschen vor schädlichen oder lästigen Lärmeinwirkungen bewahren. Sie schreiben vor, wie sich der oder die Einzelne zu verhalten hat, damit die öffentliche, aber auch die eigene Gesundheit geschützt wird. Sie richten sich an die Gemeinden, Kantone und den Bund.

Es handelt sich um Polizeirecht, ein individueller Verzicht auf Lärmschutzmassnahmen ist nicht möglich.



Abb. 6.2 Gesetzgebung Umweltschutz

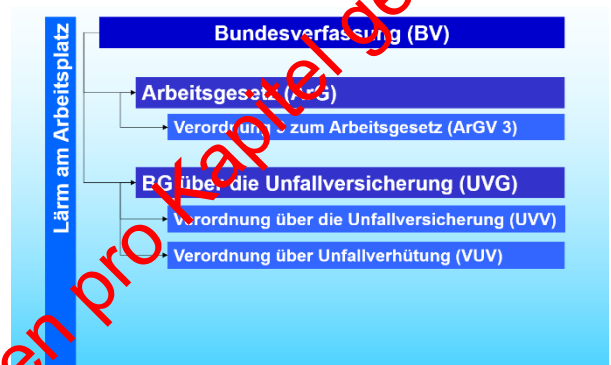


Abb. 6.3 Gesetzgebung Arbeitnehmerschutz



Abb. 6.4 Gesetzgebung Nachbarschaftslärm



Abb. 6.5 Gesetzgebung Fahrzeuglärm



6.1.2 Vollzug Bund

- **Eisenbahnen:**
Bundesamt für Verkehr ([BAV](#))
- **Zivile Flugplätze:**
Bundesamt für Zivilluftfahrt ([BAZL](#))
- **Anlagen der Landesverteidigung:** [VBS](#)
- **Nationalstrassen:**
[UVEK](#), Bundesamt für Strassen ([ASTRA](#))

Die Bundesstellen sind verantwortlich für:

- **Emissionsbegrenzungen:** LSV Art. 4, 7-9, 12
- **Sanierungen:** LSV Art. 13, 14, 16-18, 20
- **Ermittlung und Beurteilung von Lärmimmissionen:** LSV Art. 36, 37, 40

Nicht verantwortlich sind die Bundesstellen für:

- **Einbau Schallschutzfenster:** LSV Art. 45.3

6.1.3 Vollzug Kantone (Gemeinden)

- **Strassen** (exkl. Nationalstrassen)
- **Industrie-/ Gewerbebetriebe**
- **Schiessanlagen**

6.1.4 Fachstellen

Bundesamt für Umwelt, Abteilung Lärm und NIS:

[BAFU, Thema Lärm](#)

Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute (Cercle Bruit Schweiz):

www.cerclebruit.ch

Schweizerische Gesellschaft für Akustik (SGA):

www.sga-ssa.ch

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA):

www.empa.ch

Schweizerische Unfallversicherung (suva):

www.suva.ch/

6.1.5 Gerichte

Bundesgericht:

www.bger.ch/

Bundesverwaltungsgericht:

<http://www.bundesverwaltungsgericht.ch/>

6.1.6 Amtliche und systematische Sammlung

Amtliche Sammlung des Bundesrechts (AS):

Was nicht in der [amtlichen Sammlung](#) veröffentlicht ist, gilt nicht. Diese erscheint jede Woche. Sie wird von der Bundeskanzlei gepflegt.

Systematische Sammlung des Bundesrechts (SR):

Die [systematische Sammlung](#) ist eine regelmässig nachgeführte und nach Sachgebieten geordnete Sammlung der in der AS veröffentlichten und noch geltenden Erlasse.

6.1.7 Literatur

- **Kommentar zum Umweltschutzgesetz und Zeitschrift „Umweltrecht in der Praxis“ (URP)**
Vereinigung für Umweltrecht (VUR)
www.vur-ade.ch
- **Publikationen Lärm** (BAFU)
- **GIS-Lärmdatenbank sonBASE** (BAFU)
- **Stand der Lärmbelastung in der Schweiz** (BAFU)
- **Raumplanerische Massnahmen** (BAFU)

6.2 Bundesgesetze

6.2.1 Schweiz. Zivilgesetzbuch (ZGB)

[210](#)

Schweizerisches Zivilgesetzbuch vom 10. Dezember 1907 (ZGB)

III. Nachbarrecht

1. Art der Bewirtschaftung

Art. 684 1 Jedermann ist verpflichtet, bei der Ausübung seines Eigentums, wie namentlich bei dem Betrieb eines Gewerbes auf seinem Grundstück, sich aller übermässigen Einwirkung auf das Eigentum der Nachbarn zu enthalten.

2 Verboten sind insbesondere alle schädlichen und nach Lage und Beschaffenheit der Grundstücke oder nach Ortsgebrauch nicht gerechtfertigten Einwirkungen durch Rauch oder Ruck, lästige Dünste, Lärm oder Erschütterung.

6.2.2 Umweltschutzgesetzgebung

[814.01](#)

Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz; USG) vom 7. Oktober 1983

(Stand 1. Januar 2022)

Art. 11: *Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen soweit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.*

[814.41](#)

Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 (Stand 1. Juli 2021)

[814.49](#)

Schall- und Laserverordnung (SLV) vom 28. Februar 2007 (seit 1.6.2019 ausser Kraft)

[814.711:](#)

Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (SR) in Kraft seit 1.6.2019 (Stand 27. Februar 2019)

6.2.3 Raumplanungsgesetzgebung

[700](#)

Bundesgesetz über die Raumplanung (Raumplanungsgesetz, RPG) vom 22. Juni 1979 (Stand am 1. Januar 2019)

[700.1](#)

Verordnung über die Raumplanung (Raumplanungsverordnung, RPV) vom 28. Juni 2000 (Stand am 1. Juli 2022)

6.2.4 Strassenverkehrsgesetzgebung

[741.01](#)

Strassenverkehrsgesetz (SVG) vom 19. Dezember 1958

[741.11](#)

Verkehrsregelnverordnung (VRV) vom 13. November 1962

[741.41](#)

Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) vom 19. Juni 1995

[741.412](#)

Verordnung über technische Anforderungen an Transportmotorwagen und deren Anhänger (TAFV 1) vom 19. Juni 1995

[741.413](#)

Verordnung über technische Anforderungen an landwirtschaftliche Traktoren (TAFV 2) vom 16. November 2016

[741.414](#)

über die Anerkennung von EU-Genehmigungen und über technische Anforderungen an Motorräder, Leicht-, Klein- und dreirädrige Motorfahrzeuge sowie Motorfahräder (TAFV 3) vom 16. November 2016

[741.51](#)

Verordnung über die Zulassung von Personen und Fahrzeugen zum Strassenverkehr (VZV) vom 27. Oktober 1976

[741.511](#)

Verordnung über die Typengenehmigung von Strassenfahrzeugen (TGV) vom 19. Juni 1995



[510.710](#) Verordnung über den militärischen Strassenverkehr vom (VMSV) vom 11. Februar 2004

[725.116.21](#) Verordnung über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer im Strassenverkehr (MinVV) vom 7. November 2007

6.2.5 Eisenbahngesetzgebung

[742.101](#) Eisenbahngesetz (EBG) vom 20. Dezember 1957

[742.31](#) Bundesgesetz über die Schweizerischen Bundesbahnen (SBBG) vom 20. März 1998

[742.144](#) Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (BGLE) vom 24. März 2000

[742.144.1](#) Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE) vom 4. Dezember 2015

6.2.6 Luftfahrtsgesetzgebung

[748.0](#) Bundesgesetz über die Luftfahrt (Luftfahrtgesetz; LFG) vom 21. Dezember 1948

[748.01](#) Verordnung über die Luftfahrt (Luftfahrtverordnung, LFV) vom 14. November 1973

[748.112.11](#) Verordnung über die Gebühren des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (GebV-BAZL) vom 28. September 2007

[748.121.11](#) Verordnung des UVEK über die Verkehrsregeln für Luftfahrzeuge (VRV-L) vom 20. Mai 2015

[748.121.12](#) Verordnung über lärmbedingte Betriebseinschränkungen für Strahlflugzeuge vom 23. Februar 1994

[748.131.1](#) Verordnung über die Infrastruktur der Luftfahrt (VIL) vom 23. November 1994

[748.134.2](#) Verordnung über die Lärmzonen der Flughäfen Basel-Mülhausen, Genf-Cointrin und Zürich des EVED vom 23. November 1973

[748.134.3](#) Verordnung über die Lärmzonen der konzessionierten Regionalflugplätze des EVED vom 9. März 1984

6.2.7 Binnenschifffahrtsgesetzgebung

[747.201](#) Bundesgesetz über die Binnenschifffahrt (BSG) vom 3. Oktober 1975

[747.201.1](#) Binnenschifffahrtsverordnung (BSV) vom 8. November 1978

[747.301](#) Seeschifffahrtsverordnung vom 20. November 1956

6.2.8 Seilbahngesetzgebung

[743.25](#) Verordnung über subventionierte Luftseilbahnen mit Personenbeförderung ohne Bundeskonzession vom 24. Oktober 1961

6.2.9 Schiesswesen

[510.10](#) Bundesgesetz über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz; MG) vom 3. Februar 1995

[510.512](#) Verordnung über die Schiessanlagen für das Schiesswesen ausser Dienst (Schiessanlagen-Verordnung, SchAV) vom 15. November 2004

6.2.10 Gesundheitsschutz im Bauwesen

[842](#) Bundesgesetz über die Förderung von preisgünstigem Wohnraum (Wohnraumförderungsgesetz, WFG) vom 21. März 2003

[842.2](#) Verordnung über Bundeshilfe zur Förderung des Wohnungsbaues vom 22. Februar 1966

[843.1](#) Verordnung zum Wohnbau- und Eigentumsförderungsgesetz (VWEG) vom 30. November 1981

[0.822.722.0](#) Übereinkommen Nr. 120 vom 8. Juli 1964 über den Gesundheitsschutz im Handel und in Büros

6.2.11 Arbeitnehmerschutz

[822.11](#) Bundesgesetz über die Arbeit in Industrie, Gewerbe und Handel (Arbeitsgesetz; ArG) vom 13. März 1964

Art. 6: *Der Arbeitgeber ist verpflichtet, zum Schutze von Leben und Gesundheit der Arbeitnehmer sowie zum Schutze der Umgebung des Betriebes vor schädlichen und lästigen Einwirkungen alle Massnahmen zu treffen, die nach der Erfahrung notwendig sind, nach dem Stand der Technik anwendbar und den Verhältnissen des Betriebes angemessen sind.*

[822.113](#) Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3) vom 18. August 1993

[819.1](#) Bundesgesetz über die Sicherheit von technischen Einrichtungen und Geräten (STEG) vom 19. März 1976

[832.20](#) Bundesgesetz über die Unfallversicherung (UVG) vom 20. März 1981

6.2.12 Tierschutz

[455](#) Tierschutzgesetz vom (TSchG) vom 16. Dezember 2005

[455.1](#) Tierschutzverordnung (TSchV) vom 23. April 2008

6.3 Kantonale Gesetze (Luzern)

[SRL300:](#) Übertretungsstrafgesetz (UeStG) vom 14. September 1976

[SRL700:](#) Einführungsgesetz zum Bundesgesetz über den Umweltschutz (EGUSG) vom 30. März 1998

[SRL701:](#) Umweltschutzverordnung vom 15. Dezember 1998

[SRL705:](#) Verordnung über die Gebühren im Bereich des Umweltschutzes und des Gewässerschutzes vom 6. Juli 1999

[SRL735:](#) Planungs- und Baugesetz (PBG) vom 7. März 1989

[SRL736:](#) Planungs- und Bauverordnung (PBV) vom 1. August 2016

[SRL755:](#) Strassengesetz (StrG) vom 21. März 1995

[SRL756:](#) Strassenverordnung (StrV) vom 19. Januar 1996

[SRL848:](#) Gesetz über das Halten von Hunden vom 23. Oktober 1973

[SRL849:](#) Verordnung über das Halten von Hunden vom 10. Dezember 1973

[SRL980:](#) Gesetz über das Gastgewerbe, den Handel mit alkoholischen Getränken und die Fasnacht (Gastgewerbegesetz, GaG) vom 15. September 1997

[SRL981:](#) Verordnung zum Gesetz über das Gastgewerbe, den Handel mit alkoholischen Getränken und die Fasnacht (Gastgewerbeverordnung, GaV) vom 30. Januar 1998

[SRL300:](#) Übertretungsstrafgesetz (UeStG) vom 14. September 1976

[SRL800:](#) Gesundheitsgesetz (GesG) vom 13. September 2005

6.4 Kommunale Gesetze

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....



6.5 Umweltschutzgesetz (USG)

Seit dem 1. Januar 1985 ist das Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG, [SR 814.01](#)) in Kraft. Dieses soll Menschen, Tiere und Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen schützen und die Fruchtbarkeit des Bodens erhalten.

Vorgabe WHO (Verfassung, Präambel):

Schädlichkeit:

Beeinträchtigung des physischen oder psychischen Wohlbefindens

Lästigkeit:

Beeinträchtigung des sozialen Wohlbefindens;

Belastungsgrenzwerte L_r :

Im USG werden drei verschiedene Belastungsgrenzwerte L_r unterschieden:

⇒ Immissionsgrenzwert (IGW):

Für die Beurteilung der schädlichen oder lästigen Einwirkungen legt der Bundesrat durch Verordnung Immissionsgrenzwerte fest. Er berücksichtigt dabei auch die Wirkungen der Immissionen auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere (USG, Art. 13).

Die Immissionsgrenzwerte für Lärm und Erschütterungen sind so festzulegen, dass nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung Immissionen unterhalb dieser Werte die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden nicht erheblich stören (USG Art. 14).

Der IGW widerspiegelt die Schädlichkeits- und Lästigkeitsgrenze. Überschreitet eine Anlage (Strasse, Eisenbahnlinie, Industrie- / Gewerbeanlage, Schiessanlage, Flugplatz, etc.) den IGW, so gilt die Anlage als sanierungspflichtig. Beabsichtigt ein Bauherr im bereits erschlossenen, lärmbelasteten Gebiet ein neues Gebäude zu erstellen, so hat er im Baubewilligungsverfahren die Einhaltung des IGW nachzuweisen.

Kann der IGW bei einer neuen oder wesentlich geänderten Anlage nicht eingehalten werden, so wird der Gebäudeeigentümer dazu verpflichtet, die Fenster zu Lasten des Anlagenbesitzers gegen Schall zu dämmen.

⇒ Alarmwert (AW):

Zur Beurteilung der Dringlichkeit von Sanierungen kann der Bundesrat für Lärmimmissionen Alarmwerte festlegen, die über den Immissionsgrenzwerten liegen (USG Art. 19).

Der AW ist das Kriterium für die Dringlichkeit einer Sanierung. Der AW ist zahlenmässig in der Regel höher (oder gleich hoch) angesetzt wie der IGW.

Kann der AW bei einer öffentlichen oder konzessionierten Anlage nicht eingehalten werden, so wird der Gebäudeeigentümer dazu verpflichtet, die Fenster (in der Regel zu Lasten des Anlagenbesitzers) gegen Schall zu dämmen.

⇒ Planungswert (PW):

Für die Planung neuer Bauzonen und für den Schutz vor neuen lärmigen ortsfesten Anlagen legt der Bundesrat Planungswerte für Lärm fest. Diese Planungswerte liegen unter den Immissionsgrenzwerten (USG Art. 23). Sie konkretisieren das Vorsorgeprinzip.

Der PW dient der Lärmvorsorge und trägt planerisch zur Konfliktminderung bei. Er muss bei der Beurteilung von neuen Erschliessungen, resp. bei neuen Einzoningungen berücksichtigt und bei der Erstellung von neuen Anlagen eingehalten werden. Wird der PW eingehalten, liegt höchstens eine geringfügige Störung vor.

Lärmtechnische Beurteilung	L_r
Neue Bauzonen Erschliessung von Bauzonen Neue Anlagen	PW
Baubewilligungen Sanierung bestehende Anlagen	IGW
Sanierungsdringlichkeit Einbau von Schallschutzfenstern	AW

Abb. 6.6 Belastungsgrenzwerte und ihre Anwendungen

Die Belastungsgrenzwerte L_r , d.h. die einzeln zugeordneten Zahlenwerte in dB(A), sind nicht im USG, sondern in den Anhängen der LSV (vgl. Kap. 6.14.4 ff.) festgelegt. Bei dieser Festlegung berücksichtigt der Bundesrat einen Beurteilungspegel L_r' , welcher ein Lärm-mass (meist den L_{eq}) und ein Korrekturfaktor K beinhaltet.

Der Belastungsgrenzwert entspricht jenem Beurteilungspegel, welcher bei sozio-psychologischen Untersuchungen maximal einem 30%-igen Anteil von erheblich gestörten Personen entspricht.

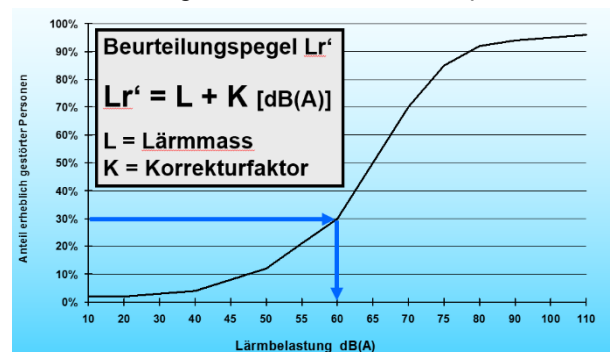


Abb. 6.7 Schematische Darstellung «Festlegung Belastungsgrenzwerte»



7. STRASSENLÄRM

7.	STRASSENLÄRM	10
7.1	Einleitung	10
7.2	Ermittlung von Strassenlärm	10
7.3	Strassenlärmmodell «StL86+»	11
7.3.1	Emissionswert L_{re} («StL86+») [dB(A)]	11
7.3.2	Grundwert L_G [dB(A)]	11
7.3.3	Mengenzuschlag L_M [dB(A)]	12
7.3.4	Steigungszuschlag L_i [dB(A)]	12
7.3.5	Belagszuschlag L_B [dB(A)]	12
7.3.6	Pegelkorrektur K_1 [dB(A)]	13
7.3.7	Gesamtdämpfung ΔL_D [dB(A)]	13
7.3.8	Abstandsämpfung ΔL_s [dB(A)]	13
7.3.9	Aspektwinkelverlust ΔL_ϕ [dB(A)]	13
7.3.10	Hindernisdämpfung ΔL [dB(A)]	13
7.3.11	Bodeneffekt ΔL_{Bo} [dB(A)]	14
7.3.12	Luftdämpfung ΔL_L [dB(A)]	14
7.3.13	Reflexionszuschlag ΔL_R [dB(A)]	14
7.3.14	Beurteilungspegel L_r [dB(A)]	14
7.3.15	Belastungsgrenzwert L_r [dB(A)]	14
7.3.16	Vergleich L_r mit L_r	14
7.3.17	EXCEL-Berechnungsblatt von Werner Stalder zur Bestimmung des Strassenlärms	15
7.3.18	EXCEL-Berechnungswerkzeuge der Fachstelle Lärmschutz Zürich	15
7.3.19	Berechnungsaufgaben ohne «Segmentierung»	15
7.3.20	Berechnungsaufgaben mit «Segmentierung»	16
7.3.21	Schemaskizzen verschiedener Übungsbeispiele	27
7.4	Emissionsmodell «EMPA97» und «SonRoad»	28
7.5	Strassenlärmmodell «SonRoad»	29
7.6	BUS-Modell 15	29
7.7	Bestimmung Verkehrsdaten aus Stichprobenzählungen	29
7.7.1	Verkehrsganglinien gemäss BUS-Modell 15	29
7.7.2	EXCEL-Berechnungsblatt zur Grobabschätzung der Verkehrsbelastung	31
7.7.3	Verkehrsanalyse-Systeme	31
7.8	Diskussion von wahrnehmbar stärkeren Strassenlärmimmissionen	31
7.8.1	Beispiel „Mehrverkehr auf HVS“	32
7.8.2	Beispiel „Mehrverkehr auf SS“	32
7.8.3	Beispiel „Mehrverkehr auf SS“	33
7.9	Normalisierung Messungen	33
7.10	Diskussion typischer Tag- / Nachtdifferenzen	33
7.10.1	Vorbemerkungen	33
7.10.2	Städtische Hauptverkehrsstrassen (HVS)	34
7.10.3	Mehrstreifige Hochleistungsstrassen (HLS)	34
7.11	Meteor. Effekte	35
7.12	Beläge	36
7.12.1	Belagsschichten	36
7.12.2	Neue Belagsbezeichnungen	36
7.12.3	Geräuschkomponenten	36
7.12.4	Belagsgütemessungen	37
7.12.5	CPX-Messungen (Anhänger messmethode)	37
7.12.6	SPB-Messverfahren	38
7.12.7	Vorgehen SPB-Vorbeifahrtsmessungen	39
7.12.8	Beispiele Vorbeifahrtsmessungen	39
7.12.9	Ergebnisse von (älteren) Belagsgütemessungen	40
7.12.10	Temperaturabhängige Belagskennwerte	41
7.13	Lärmarme Strassenbeläge	41
7.13.1	Definition lärmarme Beläge	41
7.13.2	Jahresberichte lärmarme Strassenbeläge innerorts	42
7.13.3	Semidichte Asphaltbeläge	42
7.13.4	Lärminderungspotential eines lärmarmen Belags	43
7.13.5	Offenporige Beläge (PA)	43
7.13.6	Belagsstandard auf Nationalstrassen	45
7.13.7	Nutzungsdauer («Lebensdauer»)	45
7.13.8	Neuer Belagsstandard im Kanton Aargau	45

Ab dem 1. Januar 2023 gilt das Quellenmodell «sonROAD18» zusammen mit dem Ausbreitungsmodell ISO 9613-2 als anerkannter Stand der Technik (vgl. Kap. 7.34). Berechnungen mit «StL86+» werden ab dann in den lärmrechtlichen Verfahren nicht mehr anerkannt.

Im vorliegenden Skript wird das Jahrzehnte lang angewandte und in der Praxis bewährte Modell gleichwohl noch abgehandelt, weil anhand dieses Modells viele akustische Überlegungen nachvollzogen werden können. In der Übergangszeit wird dieses Modell vermutlich von Fachleuten nach wie vor zur Plausibilisierung von «sonROAD18»-Berechnungsergebnissen verwendet, zumal es wesentlich einfacher zu Handhaben ist und nicht zwingend ein EDV-Modell voraussetzt.

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur originale Seiten pro Kapitel gezeigt)



7. STRASSENLÄRM

7.13.9	Lärmreduktion vs. Nutzungsdauer	45
7.13.10	Best Practice-Liste des BAFU	46
7.13.11	Mehrkosten für lärmarme Beläge.....	46
7.13.12	Bundesbeiträge an lärmarme Beläge	46
7.13.13	Spezielle Problemstellungen	46
7.14	In der Projektbewilligung festgelegte zulässige Immissionen	46
7.15	Zivilrechtliche Klagen bei übermässigem Strassenlärm.....	47
7.16	Schalltechnische Belagswirkung bei einem Lärmsanierungsprojekt.....	47
7.17	Bei einem Ersatz zu berücksichtigende Belagskennwerte.....	47
7.18	Alterung des Belags.....	47
7.19	Leise Reifen.....	48
7.20	Tempo 30.....	48
7.20.1	Pilotversuch Tempo 30 in Rothenburg.....	48
7.20.2	1h-Kurzzeitmessungen	49
7.20.3	Einwöchige Langzeitmessungen	49
7.21	Kreuzungen	53
7.21.1	Kreuzungszuschläge gemäss «Leitfaden Strassenlärm»	53
7.21.2	Kreuzungszuschläge gemäss Leitfaden Vollzugshilfe des Cercle Bruit	54
7.22	Kreisel.....	54
7.22.1	Kreiselmodellierung	55
7.22.2	Verkehr im Kreisel	56
7.23	Fahrbahnübergänge	56
7.24	Fahrbahnhaltestellen	57
7.24.1	Problematik von Fahrbahnhaltestellen in Beton	57
7.24.2	Fahrbahnhaltestellen in Waschbeton.....	57
7.25	Lärmemissionen von Strassenbahnen (Trams).....	58
7.26	Spezielle Reflexionen	58
7.26.1	Reflexionen an Fassaden, Stützmauern, Lärmschutzwänden	58
7.26.2	Reflexionen an «Zick-Zack»-Fassaden und strassenseitigen Erkern	59
7.26.3	Reflexionen an parallelen Systemen	59
7.26.4	Reflexionen an New Jersey-Elementen.....	60
7.26.5	Reflexionen an Waldrändern	60
7.26.6	Reflexionen an Signalisationstafeln	60
7.26.7	Reflexionen an Tünnflächen	61
7.27	Lärmbelastungskataster	62
7.27.1	Wozu dient ein Kataster?.....	62
7.27.2	Ermittlungskonzept	63
7.27.3	Berücksichtigte Empfangspunkte.....	63
7.27.4	Emissions- und immissionsbestimmende Faktoren	63
7.27.5	Modell-/ Ermittlungskorrekturen	63
7.27.6	Genauigkeit	64
7.27.7	Verkehrs- und Emissionsdaten	64
7.27.8	Immissionsdaten.....	64
7.28	«sonBASE» – GIS-Lärmdatenbank.....	65
7.29	Lärmsanierungsprojekt (LSP).....	65
7.29.1	(Sanierungs-) Erleichterungen.....	66
7.29.2	Ersatzmassnahmen (Einbau von Schallschutzfenstern).....	67
7.29.3	Maximal zulässige Lärmimmissionen (LSV Art. 37a).....	67
7.29.4	Kostentragung und Bundesbeiträge	67
7.30	Wirtschaftliche Tragbarkeit von Lärmschutzmassnahmen.....	68
7.30.1	Schriftenreihe Umwelt (SR Nr. 301).....	68
7.30.2	Optimierung der Interessenabwägung (UV-0609)	70
7.30.3	Wirkungsindex Strassen (Wlstr)	71
7.30.4	WTI- und Wlstr-Beispiele	72
7.30.5	Einheitliche Kostengrundlagen	72
7.30.6	Frühere Kosten-Nutzen-Faktoren	72
7.30.7	Weitere Beurteilungskriterien.....	73
7.31	«Leitfaden Strassenlärm».....	73
7.31.1	Einführung	73
7.31.2	Wichtigste Neuerungen gegenüber der früheren Praxis	73
7.31.3	Kriterien für den ersatzweisen Einbau von Schallschutzfenstern	74



7. STRASSENLÄRM

7.32	Abschätzung fensterspezifische Strassenlärmbelastung	74
7.33	CadnaA-Berechnungsprogramm	76
7.34	«sonROAD18»	79
7.34.1	Einführung zu «sonROAD18»	79
7.34.2	BAFU-Publikation «sonROAD18»	80
7.34.3	Referenzbedingungen	80
7.34.4	Hinweise zum Rollgeräusch	80
7.34.5	Akustische Belagsgüte (Belagskorrektur)	80
7.34.6	Belagsgütemessungen	81
7.34.7	SWISS10-Konverter	81
7.34.8	Webtool	82
7.34.9	Verkehrserhebungen mit Seitenradargeräten	84
7.34.10	Gefälle / Steigung / fahrtrichtungsgetrennte Modellierung	84
7.34.11	Signalisierte vs. gefahrene Geschwindigkeiten	85
7.34.12	Vergleich Emissions- und Immissionspegel («StL86+» vs. «sonROAD18»)	85
7.34.13	Schallausbreitung nach ISO 9613-2	86
7.34.14	Vertikale Abstrahlcharakteristik	87
7.34.15	Umrechnung vom «Freifeld» auf «Mitte offenes Fenster»	87
7.34.16	Modellunsicherheiten	87
7.34.17	Kreuzungen und Kreisel	87
7.34.18	Rundungsregeln	88
7.34.19	Anwendungsrichtlinie «sonROAD18» Kanton und Stadt Zürich	88
7.34.20	Modell- und Ermittlungskorrekturen	88
7.34.21	Immissionsmessungen	88
7.34.22	Ausblick	88

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 7.1	Normalisiertes Spektrum Strassenverkehrslärm	10
Abb. 7.2	Antriebs- und Rollgeräusche Personenwagen (PW) und Lastwagen (LKW)	10
Abb. 7.3	Grafik Grundwert L_G	11
Abb. 7.4	Grundabstand S_i	13
Abb. 7.5	Aspektwinkel φ_i	13
Abb. 7.6	Fallunterscheidung Hindernisberechnung	13
Abb. 7.7	Berechnung der mittleren Höhe h_m	14
Abb. 7.8	Reflexionen nach „Spiegelquellenmethode“	14
Abb. 7.9	Näherungsberechnung mit einem Segment à 180 °	16
Abb. 7.10	Genauere Berechnung mit Segmentierung (Beispiel: 6 Segmente à 30 °)	16
Abb. 7.11	Beispiel ohne LSW mit 6 Segmenten	17
Abb. 7.12	Beispiel LSW Segmente III und IV (φ LSW = 60°)	18
Abb. 7.13	Beispiel LSW Segmente II bis V (φ LSW = 120°)	19
Abb. 7.14	Beispiel LSW Segmente I bis VI (φ LSW = 180°)	20
Abb. 7.15	Situationsplan (Aufgabenstellung)	22
Abb. 7.16	Situationsplan (Lösung)	22
Abb. 7.17	Schnitt auf dem Pfad der Winkelhalbierenden (Lösung)	22
Abb. 7.18	dito, 10x überhöhte Zeichnung (Lösung)	22
Abb. 7.19	Situationsplan (Direktschall ohne Reflexion)	23
Abb. 7.20	Situationsplan (Näherung mit der Reflexion 1. Ordnung)	23
Abb. 7.21	Situationsplan (Näherung mit den Reflexionen 1. und 2. Ordnung)	23
Abb. 7.22	Situationsplan (Direktschall ohne Reflexion)	24
Abb. 7.23	Situationsplan (Reflexion 1. Ordnung)	24
Abb. 7.24	Situationsplan (Reflexion 2. Ordnung)	24
Abb. 7.25	Situationsplan (Direktschall ohne Reflexion)	25
Abb. 7.26	Situationsplan (Reflexion 1. Ordnung – Fassade links)	25
Abb. 7.27	Situationsplan (Reflexion 1. Ordnung – Fassade rechts)	25
Abb. 7.28	Situationsplan (Direktschall und Reflexion)	26
Abb. 7.29	Direktschall – Berechnung mit 1 Segment	27
Abb. 7.30	Direktschall – Berechnung mit 2 Segmenten	27
Abb. 7.31	Direktschall – Berechnung mit 3 Segmenten	27
Abb. 7.32	Direktschall – Berechnung mit 4 Segmenten	27
Abb. 7.33	Direktschall – Berechnung mit 5 Segmenten	27
Abb. 7.34	Direkt- und Reflexionsschall – 4 Segmente	27
Abb. 7.35	Direkt- und Reflexionsschall – 3 Segmente	27
Abb. 7.36	Direkt- und Reflexionsschall – 2 Segmente	27
Abb. 7.37	«SonRoad» Berechnungsmodell für Strassenlärm (2004)	29
Abb. 7.38	Verkehrszählgerät Vifacont II	31
Abb. 7.39	Typische 4-streifige HLS mit Mittelstreifen	34
Abb. 7.40	Vereinfachte (problematische) Modellierung im Berechnungsmodell mit lediglich 2 Fahrstreifen	35
Abb. 7.41	Der 2. Überholstreifen (rot) erfährt keine Hinderniswirkung, im Gegensatz zur Modellierung	35
Abb. 7.42	Korrekte Modellierung im Berechnungsmodell mit 5 separaten Fahrstreifen	35
Abb. 7.43	Belagsschichten	36
Abb. 7.44	Entstehung der Reifengeräusche	36
Abb. 7.45	Messanhänger Grolimund+Partner AG, Bern	37
Abb. 7.46	Messanhänger, Reifensatz und Mikrofone	37
Abb. 7.47	CPX-Messung, A2 Emmen	37
Abb. 7.48	CPX-Messwerte für PW, Ufhusen - Sursee	37
Abb. 7.49	CPX-Messwerte für PW, Ettiswil	37
Abb. 7.50	CPX-Messwerte für PW, Ruswil	38
Abb. 7.51	Auswertung CPX-Messungen Kanton ZH nach Belagstyp (Grolimund+Partner AG)	38
Abb. 7.52	Auswertung CPX-Messungen Kanton ZH nach Belagstyp (Grolimund+Partner AG)	38
Abb. 7.53	Messanordnung für die statistische Vorbeifahrtmethode (SPB)	39
Abb. 7.54	SPB-Belagsgütemessung Drain-Asphaltbelag	40
Abb. 7.55	SPB-Belagsgütemessung Beton-Belag	40
Abb. 7.56	Ergebnisse von (älteren) Belagsgütemessungen Innerorts und Ausserorts	41
Abb. 7.57	Temperaturkorrekturen für verschiedene Beläge	41
Abb. 7.58	Korrelation PW-Vorbeifahrten / Belagstemperatur	41
Abb. 7.59	„Nanosoft“-Belag	42



7. STRASSENLÄRM

Abb. 7.60	Lärmarme Strassenbeläge innerorts. Jahresberichte 2003 und 2010	42
Abb. 7.61	Vorbeifahrtspegel (L_{\max} in dB(A), Fast) bei verschiedenen Belägen ($v=50$ km/h)	42
Abb. 7.62	Übergang Drainasphalt- / Splittmastix-Belag, Nationalstrasse A1, Lausanne VD	43
Abb. 7.63	dito, seitlicher Randabschluss Brücke, Lösung Sekundärentwässerung	44
Abb. 7.64	Sprühfahne, Asphaltbetonbelag, A8 Alpnach	44
Abb. 7.65	Praktisch keine Sprühfahne, Drainbelag, A8 Alpnach	44
Abb. 7.66	Zeitungsartikel / Fotos von geplatzten Reifen	44
Abb. 7.67	Belagsschaden durch einen geplatzten LKW-Reifen	44
Abb. 7.68	Belagsschaden durch einen geplatzten LKW-Reifen	44
Abb. 7.69	Strategiekonzept Kanton Aargau	45
Abb. 7.70	Reifenetikette	48
Abb. 7.71	Tempo 30 – Versuch Flecken Rothenburg	48
Abb. 7.72	Tempo 30 – Versuch Flecken Rothenburg	48
Abb. 7.73	Tempo 30 – Versuch Flecken Rothenburg – Messstellen	48
Abb. 7.74	Tagesgang v_{85} vorher / nach $\frac{1}{2}$ Jahr Versuchsbetrieb	50
Abb. 7.75	Tagesgang Δv_{85} vorher / nach $\frac{1}{2}$ Jahr Versuchsbetrieb	51
Abb. 7.76	Korrelation gemessene Geschwindigkeit – gemessener Leq (Tempo 50 km/h)	51
Abb. 7.77	Korrelation gemessene Geschwindigkeit – gemessener Leq (Tempo 30 km/h)	51
Abb. 7.78	Korrelation Geschwindigkeit - Verkehrsmenge	51
Abb. 7.79	Korrelation berechneter Leq – gemessener Leq (Tempo 50 km/h)	52
Abb. 7.80	Korrelation berechneter Leq – gemessener Leq (Tempo 30 km/h nach $\frac{1}{2}$ Jahr)	52
Abb. 7.81	Langzeitlärmmessung 24h-Histogramme Montag - Sonntag	52
Abb. 7.82	Langzeitlärmmessung 24h-Histogramme Montag - Freitag	52
Abb. 7.83	Vergleich Ergebnisse Tempo 30-Versuch in Rothenburg mit Tempo 50 in Buchrain	53
Abb. 7.84	Mögliche Kreuzungszuschläge gemäss «Leitfaden Strassenlärm»	53
Abb. 7.85	Cercle Bruit-Publikation «Lärmtechnische Ermittlung bei Knoten und Kreiseln»	54
Abb. 7.86	Im Berechnungsmodell definierte Emissionsabschnitte einer komplexen Kreuzungssituation	54
Abb. 7.87	Kreisel St. Christoph, Rothenburgstrasse, Emmen	54
Abb. 7.88	2-streifiger Betonkreisel Schlottermilch, Sursee (Erstellung 2006)	55
Abb. 7.89	2-streifiger Betonkreisel Schlottermilch, Sursee	55
Abb. 7.90	Im Berechnungsmodell definierte Emissionsabschnitte einer komplexen Kreisselsituation	55
Abb. 7.91	Symmetrische Fahrströme in einem Kreisel	56
Abb. 7.92	Alter Fahrbahnübergang, Nationalstrasse A1, Morges VD	56
Abb. 7.93	«Finger»-Fahrbahnübergang, Nationalstrasse A1, Lausanne VD	56
Abb. 7.94	«Teppich»-Fahrbahnübergang, Seebücke, Stadt Luzern	56
Abb. 7.95	«Joint»-Fahrbahnübergang, Nationalstrasse A1, Lausanne VD	56
Abb. 7.96	Mögliche Ausbildung von Fahrbahnhaltestellen in Beton	57
Abb. 7.97	Strassenbahn (Tram) - Teil des Strassenlärms	58
Abb. 7.98	Bahn auf separatem Trasse - nicht Teil des Strassenlärms	58
Abb. 7.99	Typischer Vorbeifahrtspegel; EP im Freifeld	58
Abb. 7.100	Typischer Vorbeifahrtspegel; EP an Seitenfassade	58
Abb. 7.101	Typischer Vorbeifahrtspegel; EP an Seitenfassade und gegenüberliegende Reflexion	59
Abb. 7.102	Gebäudefassade mit teilweiser hochabsorbierender Oberfläche	59
Abb. 7.103	Zick-Zack-Fassaden und Erker	59
Abb. 7.104	Reflexionsuntersuchungen ohne New Jersey	59
Abb. 7.105	Reflexionsuntersuchungen mit New Jersey	60
Abb. 7.106	Reflexion an New Jersey-Element; ev. absorb. Wand / vorgelagerte Leiteinrichtung	60
Abb. 7.107	Mögliche Waldreflexionen, A2 Lochhof, Luzern	60
Abb. 7.108	Reflektierter Tunneleffekt (Einfluss: Mehrere dB(A)), A2 Reussportunnel, Luzern	60
Abb. 7.109	Schallabsorbierende Verkleidung der Wand- und Deckenflächen im Bereich Tunnelportal	61
Abb. 7.110	Schallabsorbierende Verkleidung der Wand- und Deckenflächen, Tunnel Spier, A2, Horw	61
Abb. 7.111	Schallabsorbierende Verkleidungen im Galeriebauwerk, A2, Hergiswil	61
Abb. 7.112	Situationsskizze mit Messpunkt	61
Abb. 7.113	PW-Vorbeifahrt von West nach Ost	61
Abb. 7.114	PW-Vorbeifahrt von Ost nach West	61
Abb. 7.115	Schallstrahlen, Bündelung / Fokussierung (vor Sanierung)	62
Abb. 7.116	Mit akustischer Kamera sichtbar gemachte Reflexionen im Tunnelinnern (vor Sanierung)	62
Abb. 7.117	Nachträglich montierte Flächenabsorber, punktuell angeordnete Tieftonabsorber	62
Abb. 7.118	Typisches Pegelzeit-Diagramm vorher (blau) / nachher (rot)	62
Abb. 7.119	Online Emissionskataster Kanton AG, Ausschnitt Stadt Aarau	64
Abb. 7.120	Online Emissionskataster Kanton AG, Ausschnitt Stadt Aarau (Stand 2016)	64
Abb. 7.121	Online Emissionskataster Kanton AG, Emissionswerte Strecke Nr. 2764 (Stand 2016)	64



7. STRASSENLÄRM

Abb. 7.122	Online Immissionskataster Kanton AG, Beurteilung, Badenerstrasse 34 (Stand 2016)	64
Abb. 7.123	Online Immissionskataster Kanton AG, Immissionswerte, Badenerstrasse 34 (Stand 2016)	65
Abb. 7.124	«sonBASE» – die GIS-Lärmdatenbank der Schweiz. Grundlagen. 2009	65
Abb. 7.125	Typisches Erleichterungsgesuch Kanton LU	66
Abb. 7.126	Objekblatt (Teil Erleichterungsgesuch Kanton LU)	67
Abb. 7.127	Objekblatt zum SSF-Einbau (Teil Erleichterungsgesuch Kanton LU)	67
Abb. 7.128	Ist-Situation (reine Wohnzone, ES II)	69
Abb. 7.129	Sanierungsvariante (LSW: h = 2m)	69
Abb. 7.130	Effizienz- / Effektivitäts - Diagramm nach SR 301	70
Abb. 7.131	Effizienz- / Effektivitäts - Diagramm nach SR 301 opt.	70
Abb. 7.132	Schema Sanierungshorizont / zulässige Lärmimmissionen / Ergreifung notwendiger Massnahmen	73
Abb. 7.133	Lärmbelastung (Isophonen) in einer vertikalen Schnittebene, Stansstadterstrasse, Stans	75
Abb. 7.134	Parallel durchgeführte Kurzzeitlärmmessungen in verschiedenen Fenstern	76
Abb. 7.135	Lärmisophonen Gemeinde Stans	77
Abb. 7.136	Lärmisophonen Gemeinde Stans (Ausschnitt)	77
Abb. 7.137	3D-Ansicht Lärmbelastungen Stansstadterstrasse, Gemeinde Stans	77
Abb. 7.138	Geländemodell Raum Stansstad-Stans	77
Abb. 7.139	3D-Ansicht Geländemodell Raum Stansstad-Stans	77
Abb. 7.140	Ersatz-Hinderniskante in Lärmberechnungsprogrammen	78
Abb. 7.141	Galleriesystem mit 6 Fahrsterifen und 2 auskragenden Hindernissen (Schnitt und Situation)	78
Abb. 7.142	Isometrie des „gedrehten“ Modells	78
Abb. 7.143	Lärmbelastung (Isophonen) in der Schnittebene	78
Abb. 7.144	A2 Hergiswil – Bestehende Galerie mit bestehender Lärmschutzwand	79
Abb. 7.145	A2 Hergiswil – Sanierungskonzept mit «Tablarwand» anstelle Lärmschutzwand	79
Abb. 7.146	A2 Hergiswil – Sanierungskonzept mit «Tablarwand» anstelle Lärmschutzwand	79
Abb. 7.147	A2 Hergiswil – Sanierungskonzept mit «Tablarwand» anstelle Lärmschutzwand	79
Abb. 7.148	Empa-Publikation zum Strassenlärm-Berechnungsmodell «sonROAD18»; 2018	79
Abb. 7.149	Fahrzeug- und geschwindigkeitsabhängige Total-, Antriebs- und Rollgeräusche (Empa)	80
Abb. 7.150	BAFU-Publikation zum Strassenlärm-Berechnungsmodell «sonROAD18»; 2022	80
Abb. 7.151	Konverter-Berechnungen mit bekannten DTV-, N ₁ - und N _n -Werten	83
Abb. 7.152	Schematische Darstellung der im Lärmkataster LU von 1990 berücksichtigten Emissionsstrecken	85
Abb. 7.152	«sonROAD18» und «StL-86+»-Emissionsprognose für den Referenzbelag	86
Abb. 7.154	Einspurige Kantonsstrasse durch den Dorfkern von Stans (Google Maps)	87

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abkürzungen:

a:	Senkrechter Abstand Strasse zu Hindernis
A1, A2:	Nationalstrassenbezeichnungen (früher N1, N2)
A1:	„reflektierend“
A2:	„wenig absorbierend“
A3:	„absorbierend“
A4:	„hochabsorbierend“
AB:	Asphaltbeton (frühere Bezeichnung für heutigen Asphalt concrete, AC)
AC:	Asphalt concrete
AC B:	Asphalt concrete (Binderschicht)
AC F:	Asphalt concrete (Foundationsschicht)
AC MR:	Asphalt concrete Rauhasphalt
AC T:	Asphalt concrete (Tragschicht)
AS:	Amtliche Sammlung des Bundesrechts
ASTRA:	Bundesamt für Strassen
AW:	Alarmwert
α_s :	Schallabsorptionsgrad [-]
α_{si} :	Schallabsorptionsgrad im i-ten Terzband im Frequenzbereich zwischen 100 Hz - 5000 Hz [-]
B:	Lärmempfindliche Betriebsräume
b:	Senkrechter Abstand Hindernis zu Empfangspunkt
BAV:	Bundesamt für Verkehr
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BUS15:	BUS-Modell 15 (Stadtstrassenlärmmodell SSLM)
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CadnaA:	Lärmberechnungsprogramm (Datakustik GmbH München; Norsonic-Brechbühl AG)
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
CPX:	Messverfahren zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte (close proximity)
DL α :	Einzahl-Angabe der Schallabsorptions-Eigenschaften [dB]
DL $_R$:	Einzahl-Angabe der Luftschalldämm-Eigenschaften [dB]
DRA:	Drainasphalt (frühere Bezeichnung für Porous asphalt PA)
DRAS:	Drainasphalt-Sickerschicht (frühere Bezeichnung für Porous asphalt Sickerschicht)
DRAT:	Drainasphalt-Tragschicht (frühere Bezeichnung für Porous asphalt Binderschicht)
DTV:	Ø täglicher Verkehr im Jahresdurchschnitt [Fz/24h]
DTV $_Z$:	Aus Stichprobenzählung bestimmter Ø täglicher Verkehr im Jahresdurchschnitt [Fz/24h]
ΔL :	Schallpegeldifferenz [dB] [dB(A)]
ΔL_{Alter} :	Belagsalterungszuschlag [dB(A)]
ΔL_B :	Belagszuschlag [dB(A)]
ΔL_{Bo} :	Bodeneffekt [dB(A)]
ΔL_D :	Gesamtdämpfung [dB(A)]
ΔL_H :	Hindernisdämpfung [dB(A)]
ΔL_L :	Luftdämpfung [dB(A)]
ΔL_ϕ :	Aspektwinkelverlust [dB(A)]
ΔL_R :	Reflexionszuschlag [dB(A)]
ΔL_S :	Abstandsdämpfung [dB(A)]
e:	Natürliche Zahl e [-] (e = 2.71828)
E $_{EP}$:	Empfangspunkt
ENA:	Entschädigungen nachbarrechtlicher Abwehransprüche
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
f $_{Zh}$:	Ganglinienfaktor f $_{Zh}$ in der betreffenden Stunde [-]
f $_{Zmt}$:	Ganglinienfaktor f $_{Zmt}$ im betreffenden Monat [-]
f(Monat):	Ganglinienfaktor f $_{Zmt}$ für Zählmonat
f(14-15):	Ganglinienfaktor f $_{Zh}$ für Zählstunde 14 - 15 Uhr
f(17-18):	Ganglinienfaktor f $_{Zh}$ für Zählstunde 17 - 18 Uhr
f(22-23):	Ganglinienfaktor f $_{Zh}$ für Zählstunde 22 - 23 Uhr
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Empfindlichkeitsstufe (I, II, III, IV)
Fast:	Messung des L $_{max}$ mit der Zeitkonstante Fast (schnell)



H, HK:	Hindernis resp. Hinderniskante
h:	Höhe des Empfangspunkts über Terrain [m]
h _m :	Mittlere Höhe des Schallstrahls über Terrain [m]
HLS:	Hochleistungsstrasse (z.B. A2, A14, etc.)
HMF:	Heissmischfundationsschicht (frühere Bezeichnung für Fundationsschicht AC F)
HMT:	Heissmischtragschicht (frühere Bezeichnung für Binderschicht AC B)
HVS:	Hauptverkehrsstrasse (z.B. Hirschengraben)
i:	Strassenlängsneigung (Steigung/Gefälle)
IGW:	Immissionsgrenzwert
K _i :	Pegelkorrektur [dB(A)]
K ₁ :	Pegelkorrektur [dB(A)] (vgl. Anhang 3 LSV)
K ₂ :	Pegelkorrektur für die Strassenbahn [dB(A)]
K _{Tr} :	Oberbaukorrektur bei Strassenbahnen resp. Trams [dB(A)]
KZM:	Personell begleitete Kurzzeitlärmmessung
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB] [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
LAN:	Lärmausgleichsnorm [LAN, LAN light] (in Diskussion stehende Anschlussgesetzgebung)
L _{A LKW} :	Antriebsgeräusch Lastwagen L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
L _{A PW} :	Antriebsgeräusch Personenwagen L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
L _B :	Belagszuschlag [dB(A)]
LBK:	(Strassen-) Lärmbelastungskataster
Leq:	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
Leq LKW:	Mittelungspegel für eine LKW-Vorbeifahrt pro Stunde im Abstand S [dB(A)]
Leq PW:	Mittelungspegel für eine PW-Vorbeifahrt pro Stunde im Abstand S [dB(A)]
Leq norm.:	Normalisierter, d.h. auf jahresdurchschnittliche Verhältnisse umgerechneter Messwert [dB(A)]
L _G :	Grundwert [dB(A)]
L _H :	Hinderniswirkung [dB] [dB(A)]
L _i :	Normierter, A-bewerteter Schalldruckpegel des Verkehrslärms im i-ten Terzband [dB]
L _i :	Steigungszuschlag [dB(A)]
L _{LKW} :	Gesamtgeräusch Lastwagen in 7.5m Abstand zur Fahrzeugachse als L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
L _M :	Mengenzuschlag [dB(A)]
L _M :	Mengenzuschlag bei Strassenbahnen, d.h. Ø Anzahl Trams pro Stunde [Fz/h]
L _{max} :	Maximalpegel (Vorbeifahrtspiegel), gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
LNA:	Frühere Bezeichnung für einen Lärmarmen Belag (Low Noise Asphalt)
L _{PW} :	Gesamtgeräusch Personenwagen in 7.5m Abstand zur Fahrzeugachse als L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
L _R :	Reflexionseinfluss [dB] [dB(A)]
L _r :	Belastungsgrenzwert (LW, IGW, PW)
L _r :	Beurteilungspegel [dB(A)]
L _{r'e} :	A-bewerteter Emissionswert (Linienquelle) als Beurteilungspegel in einem Meter Abstand [dB(A)]
L _{r'e1} :	Emissionswert der Motorfahrzeuge (PW, LKW, ...) [dB(A)]
L _{r'e2} :	Emissionswert der Strassenbahn (Tram) [dB(A)]
L _{R LKW} :	Rollgeräusch Lastwagen L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
L _{R PW} :	Rollgeräusch Personenwagen L _{max 7.5m} [dB(A,F)]
log:	Dekadischer Logarithmus, log ₁₀ (Logarithmus zur Basis 10)
L _w :	Schallleistungspegel je Terzband pro Laufmeter und pro Fahrtrichtung (sonROAD18)
L _{wA} :	A-bewerteter Schallleistungspegel pro Laufmeter und pro Fahrtrichtung (sonROAD18)
LKW:	Lastwagen
LSM:	(Strassen-) Lärmsanierungsprojekt
LSW:	Lärmschutzwand
LZM:	Personell unbegleitete Langzeitlärmmessung
λ:	Wellenlänge [m]
MFM:	Monitoring Flankierende Massnahmen
MIK:	Mikrofon oder Mikrofonstandort
MP:	Messpunkt
MR:	Macro-Rugeux (frühere Bezeichnung für Asphalt concrete Rauhasphalt AC MR)
N:	Ø Anzahl Fahrzeuge pro Stunde [Fz/h]
N _t :	Ø stündlicher Tagesverkehr im Jahresdurchschnitt für den Tageszeitraum 6 bis 22 Uhr [Fz/h]
N _n :	Ø stündlicher Nachtverkehr im Jahresdurchschnitt für den Nachtzeitraum 22 bis 6 Uhr [Fz/h]
N _{zh} :	Verkehr N _{zh} in der betreffenden Stunde [Fz/h]
NST:	Normalstreifen
η:	LKW- und Motorradanteil am Gesamtverkehr [%]
η _{t2} :	Ø LKW-/Motorradanteil am Gesamtverkehr im Tageszeitraum 6 bis 22 Uhr [%]
η _{n2} :	Ø LKW-/Motorradanteil am Gesamtverkehr im Nachtzeitraum 22 bis 6 Uhr [%]



PA:	Porous asphalt
PA B:	Porous asphalt Binderschicht
PA S:	Porous asphalt Sickerschicht
PAK:	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PW:	Planungswert
PW:	Personenwagen
φ :	Aspektwinkel (Schalleinfallswinkel) [°]
Q:	Quelle (bei Strassen 80 cm («StL86») resp. 50 cm («EMPA97») über der Strassenoberfläche
Q _{im Kreisel} :	Verkehr im Kreisel [Fz/24h]; [Fz/h]
Q _i :	Verkehr auf den Zu-/Wegfahrten zu einem Kreisel [Fz/24h]; [Fz/h]
r:	Räumlicher Abstand zur Schallquelle (Winkelhalbierende) [m]
RLS-90:	Deutsche Richtlinie für den Lärmschutz an Strassen
S:	Abstand Fahrbahnachse zum Empfangspunkt [m]
SDA:	Semidichte Asphaltbeläge
SEM:	Stichproben-Emissions-Messung zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte
SLIP:	Lärmberechnungsprogramm (Grolimund+Partner AG)
SMA:	Stone mastic asphalt oder Splittmastixasphalt
SN:	Schweizer Norm
SNV:	Schweizerische Normen-Vereinigung
sonBASE:	GIS-Lärmdatenbank
SonRoad:	Strassenlärmmodell «SonRoad»
sonROAD18:	Strassenlärmmodell «sonROAD18»; dem Stand der Technik entsprechenden Berechnungsmodell
SPB:	Messverfahren zur Bestimmung der akustischen Belagsgüte (statistical pass-by)
SR:	Systematische Sammlung des Bundesrechts
SR:	Schriftenreihe Umwelt (z.B. SR Nr. 301)
SS:	Sammelstrasse (Quartierstrasse)
SSF:	Schallschutzfenster
SSP:	Strassensanierungsprogramm (Begriff wird heute nicht mehr verwendet)
StL86:	Früheres Strassenlärmmodell «StL86» (empirische Konstante A = 42)
StL86+:	Strassenlärmmodell «StL86+» (empirische Konstante A = 43)
UplANS:	Unterhaltsplanung Nationalstrassen
ÜST:	Überholstreifen
UV:	Umwelt-Vollzug (z.B. UV-0609)
UVEK:	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
v:	(Gefahrene) Geschwindigkeit [km/h]
V _{sig.} :	Signalisierte Geschwindigkeit [km/h]
\bar{v} :	Durchschnittlich gefahrene, d.h. mittlere Geschwindigkeit aller Fahrzeuge [km/h]
V ₈₅ :	Gefahrene Geschwindigkeit in km/h, die von 85% der Fahrzeuglenkenden unterschritten wurde
vif:	Dienststelle Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern
V _{LKW} :	Gefahrene LKW-Geschwindigkeit [km/h]
V _{PW} :	Gefahrene PW-Geschwindigkeit [km/h]
Vol%:	Hohlraumgehalt
VSS:	Vereinigung Schweizerische Strassenfachleute
W:	Lärmempfindliche Wohnräume
Wlstr:	Wirkungsindex Strassen
z:	Schirmwert [m]
QK:	Strecke Quelle – Hinderniskante [m]
KE:	Strecke Hinderniskante – Empfänger [m]
QE:	Strecke Quelle – Empfänger [m]
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Speziellen Dank an Hanspeter Gloor, früherer Mitarbeiter bei der Abteilung Tiefbau, Kanton Aargau, für die Jahrzehnte lange Unterstützung! In meinen Dank schliesse ich auch meinen früheren Mitarbeiter, Franz Schöpfer, heute Dienststelle Umwelt und Energie (uwe), Kanton Luzern, sowie Dr. Kurt Heutschi, Senior Scientist Empa, Dübendorf, und Michael Strickler, Strassenlärmspezialist, Abteilung Tiefbau / Realisierung, Kanton Aargau, mit ein.



7. STRASSENLÄRM

7.1 Einleitung

Abb.
7.149

Typische, aktuell mit «sonROAD18» berechnete Emissionen, getrennt für verschiedene Fahrzeugkategorien und aufgeteilt in die Antriebs- und Rollgeräuschkomponenten, gehen aus Kap. 7.34 hervor.

Als individuell einsetzbares Verkehrsmittel besitzt das Motorfahrzeug viele Vorteile. Es ermöglicht uns eine grosse Mobilität und eine dichte Erschliessung unserer Siedlungsräume. Mit der starken Zunahme des Strassenverkehrs werden aber auch dessen Nachteile offensichtlich. Einer davon ist die wachsende Belästigung der Bevölkerung durch den Lärm.

Der Gesamtgeräuschpegel eines vorbeifahrenden Fahrzeuges setzt sich zusammen aus:

- Antriebs- oder Triebwerkgeräusche (Luftansaugvorrichtung, Kühlerventilator, Motorblock, Auspuff und Getriebe)
- Rollgeräusche (Reifen-Fahrbahn-Interaktion)
- Windgeräusche (Karosserie, Aufbauten)

Die von den Fahrzeugen insgesamt abgegebene Schalleistung hängt unter anderem von folgenden Faktoren ab:

- Verkehrsmenge
- Zusammensetzung des Verkehrs (LKW, MR, PW, etc.)
- Alter und Konstruktion der einzelnen Fahrzeuge
- Gefahrene Geschwindigkeiten
- Motordrehzahl, Fahrverhalten des einzelnen Fahrzeugführers („Kavalierstarts“)
- Strassengeometrie (Linienführung, Steigung/Längsneigung, etc.)
- Fahrbahndeckbelag (primär) und Unterbau
- Bereifung (Breite, Alter, Gummihärte, Profil, Profiltiefe, etc.)
- Herrschende Witterungs-, Terrain- und Strassenverhältnisse

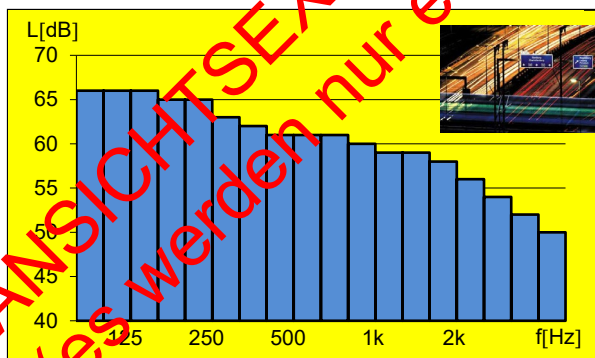


Abb. 7.1 Normalisiertes Spektrum Strassenverkehrslärm

Verkehrslärmspektren A-bewertet (SN EN 1793-3):

f [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
ΔL [dB]	-14.5	-10.2	-7.2	-3.9	-6.4	-11.4

f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630
ΔL [dB]	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11

f [Hz]	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k	4k	5k
ΔL [dB]	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15	-16	-18

1) <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitbewertung>; vgl. auch Kap. 5.3.14

In einer seitlichen Entfernung von 7.5 m neben der Fahrstreifenmitte beträgt der Vorbeifahrtspegel L_{\max} von vorschriftsmässig ausgerüsteten Fahrzeugen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h (Berechnungsgrundlage «EMPA₉₇»:

Personenwagen: ca. 71 dB(A, Fast)¹⁾

Lastwagen: ca. 82 dB(A, Fast)

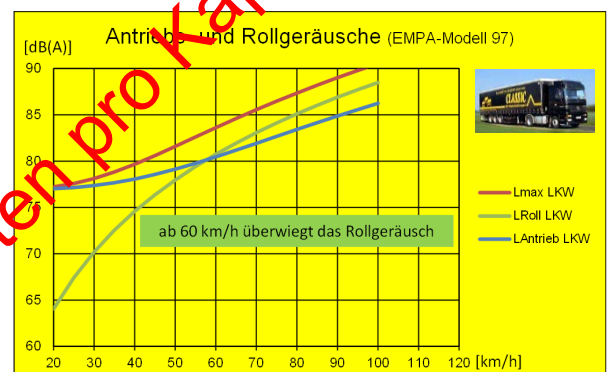
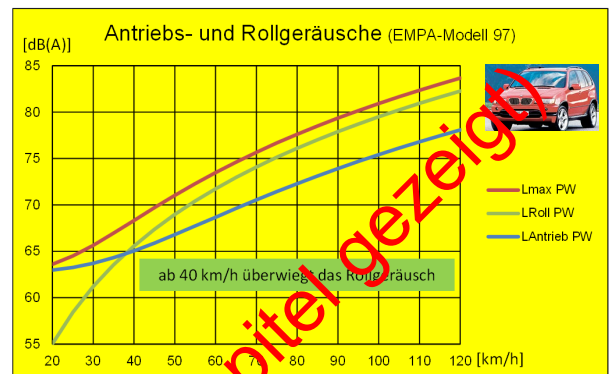


Abb. 7.2 Antriebs- und Rollgeräusche Personenwagen (PW) und Lastwagen (LKW)

7.2 Ermittlung von Strassenlärm

Strassenlärm kann messtechnisch erfasst werden, allerdings ist der diesbezügliche Aufwand nicht zu unterschätzen. Es reicht nicht, die momentanen Lärmverhältnisse zu bestimmen (Schallpegelregistrierung, Mittelungspegel L_{eq} , etc.). Um die jahresdurchschnittliche Lärmbelastung ermitteln zu können, benötigt man auch genaue Informationen über die während der Messung herrschende Verkehrssituation (Verkehrsmenge und Verkehrszusammensetzung etc.) sowie statistische Angaben über die jahresdurchschnittlichen Verkehrszahlen.

Die Akzeptanz von Lärmberechnungen ist bei den Lärmbetroffenen im Gegensatz zu Messungen nicht sehr gross. Beim Vollzug der Umweltschutzgesetzgebung sind Lärmberechnungen allerdings gleichwertig wie Lärmmessungen.



Die Resultate solcher Berechnungen stimmen meist gut mit ebenso fachtechnisch korrekt durchgeführten Messungen überein.

7.3 Strassenlärmmodell «StL86+»

7.3.1 Emissionswert $L_{r,e}$ («StL86+») [dB(A)]

$$L_{r,e} = L_G + L_M + L_i + L_B + K_1 \quad [\text{dB(A)}]$$

$L_{r,e}$: Emissionswert [dB(A)] (Berechnungsmodell «StL86+»)

⇒ h Quellenhöhe über Strassenoberfläche = 80 cm

L_G : Grundwert [dB(A)]

L_M : Mengenzuschlag [dB(A)]

L_i : Steigungszuschlag [dB(A)]

L_B : Belagszuschlag [dB(A)]

K_1 : Pegelkorrektur [dB(A)] (vgl. Anhang 3 LSV)

7.3.2 Grundwert L_G [dB(A)]

$$L_G = 43 + 10 \cdot \log \left\{ \left[1 + \left(\frac{v}{50} \right)^3 \right] \left[1 + 20 \frac{\eta}{100} \left(1 - \frac{v}{150} \right) \right] \right\}$$

L_G : Grundwert [dB(A)]; empirische Konstante A=43; B=20

η : LKW- und Motorradanteil am Gesamtverkehr [%]

v : (Gefahren-) Geschwindigkeit [km/h]

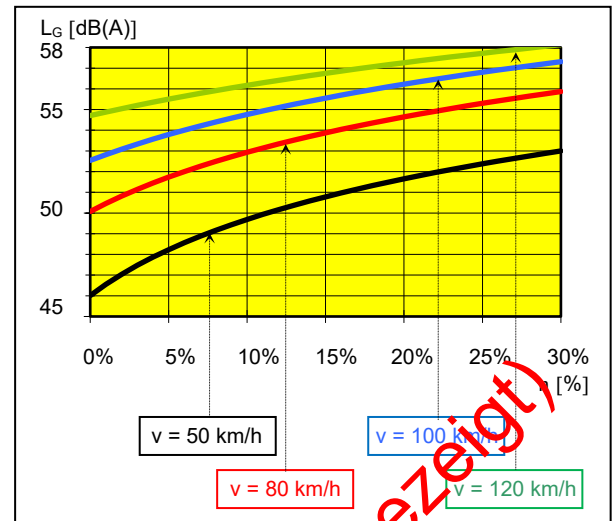


Abb. 7.3 Grafik Grundwert L_G

$$L_{G \text{ «StL86+»}} = L_G \text{ «StL86+»} \quad [\text{dB(A)}]$$

v [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120
η [%]									
0%	44.8	46.0	47.4	48.7	50.1	51.3	52.5	53.7	54.7
1%	45.4	46.6	47.9	49.2	50.5	51.7	52.8	53.9	54.9
2%	45.9	47.0	48.3	49.6	50.8	52.0	53.1	54.1	55.0
3%	46.4	47.5	48.7	49.9	51.1	52.3	53.3	54.3	55.2
4%	46.8	47.9	49.1	50.3	51.5	52.6	53.6	54.5	55.4
5%	47.2	48.2	49.4	50.6	51.7	52.8	53.8	54.7	55.5
6%	47.5	48.6	49.7	50.9	52.0	53.0	54.0	54.9	55.6
7%	47.9	48.9	50.0	51.2	52.3	53.3	54.2	55.0	55.8
8%	48.2	49.2	50.3	51.4	52.5	53.5	54.4	55.2	55.9
9%	48.5	49.4	50.5	51.7	52.7	53.7	54.6	55.4	56.0
10%	48.7	49.7	50.8	51.9	52.9	53.9	54.8	55.5	56.2
11%	49.0	49.9	51.0	52.1	53.1	54.1	54.9	55.7	56.3
12%	49.2	50.2	51.2	52.3	53.3	54.3	55.1	55.8	56.4
13%	49.4	50.4	51.4	52.5	53.5	54.4	55.3	55.9	56.5
14%	49.6	50.6	51.6	52.7	53.7	54.6	55.4	56.1	56.6
15%	49.8	50.8	51.8	52.9	53.9	54.8	55.6	56.2	56.8
16%	50.0	51.0	52.0	53.1	54.0	54.9	55.7	56.3	56.9
17%	50.2	51.2	52.2	53.2	54.2	55.1	55.8	56.5	57.0
18%	50.4	51.3	52.4	53.4	54.4	55.2	56.0	56.6	57.1
19%	50.6	51.5	52.5	53.5	54.5	55.4	56.1	56.7	57.2
20%	50.7	51.7	52.7	53.7	54.6	55.5	56.2	56.8	57.3
21%	50.9	51.8	52.8	53.8	54.8	55.6	56.3	56.9	57.4
22%	51.1	52.0	53.0	54.0	54.9	55.8	56.5	57.0	57.5
23%	51.2	52.1	53.1	54.1	55.1	55.9	56.6	57.1	57.5
24%	51.3	52.2	53.2	54.2	55.2	56.0	56.7	57.2	57.6
25%	51.5	52.4	53.4	54.4	55.3	56.1	56.8	57.3	57.7
26%	51.6	52.5	53.5	54.5	55.4	56.2	56.9	57.4	57.8
27%	51.8	52.6	53.6	54.6	55.5	56.3	57.0	57.5	57.9
28%	51.9	52.8	53.8	54.7	55.7	56.5	57.1	57.6	58.0
29%	52.0	52.9	53.9	54.9	55.8	56.6	57.2	57.7	58.1

Tabelle Grundwert L_G

7. STRASSENLÄRM



7.3.3 Mengenzuschlag L_M [dB(A)]

$$L_M = 10 \cdot \log(N) \quad [\text{dB(A)}]$$

L_M : Mengenzuschlag [dB(A)]

N : Anzahl Fahrzeuge pro Stunde [Fz/h]

7.3.4 Steigungszuschlag L_i [dB(A)]

$$L_i = 0 \quad \text{für } i < 3\% \quad [\text{dB(A)}]$$

$$L_i = \left(\frac{i - 3}{2} \right) \quad \text{für } i \geq 3\% \quad [\text{dB(A)}]$$

$$L_{i \text{ Luzern}} = \left(\frac{i - 3}{4} \right) \quad \text{für } i \geq 3\% \quad [\text{dB(A)}]$$

L_i : Steigungszuschlag [dB(A)]

i : Strassenlängsneigung [%]

$L_{i \text{ Luzern}}$: Steigungszuschlag der Dienststelle vif Kt. LU [dB(A)]

Der im Berechnungsmodell «StL86+» zu Grunde gelegte Steigungszuschlag L_i kommt bei Strassenlängsneigungen ab 3% zur Anwendung. Er überschätzt erfahrungsgemäss die reale Situation, d. h. es werden rechnerisch, verglichen mit Messungen, tendenziell zu hohe Immissionen ermittelt. Vor Allem bei den Gebäuden, die näher zum «bergabwärtsführenden Fahrstreifen» liegen, resultieren zu hohe Immissionen. In einigen Berechnungsprogrammen, so z.B. in CadnaA (vgl. Kap. 7.33) können daher die Steigungszuschläge nur beim bergaufwärtsführenden Fahrstreifen aktiviert werden. Der Steigungszuschlag ist letztlich schwer abschätzbar, weil eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen sind (effektive Geschwindigkeit, Fahrzeugmiste, Belag, Häufigkeit von Anfahrtsituationen, etc.). Die Dienststelle Verkehr und Infrastruktur (vif) des Kantons Luzern berücksichtigt aufgrund von Erfahrungen als mittlere Steigungskorrektur die Hälfte des «StL86+»-Modellansatzes. In kritischen Beurteilungssituationen empfiehlt es sich entsprechende Lärmmessungen durchzuführen und die Steigungskorrektur letztlich abschnittsweise festzulegen.

7.3.5 Belagszuschlag L_B [dB(A)]

Die aktuellen Belagszuschläge sind dem «Leitfaden Strassenlärm» – Vollzugshilfe für die Sanierung – Anhang 1b – Belagskennwerte – Anwendungshilfe für die Belagsakustik zu entnehmen. Nachfolgende Angaben und Werte sind der Version von 10. März 2022 entnommen.

Bei bestehenden Belägen, die im Rahmen der Lärmsanierung nicht ersetzt werden, sind die Lärmbelastungen – basierend auf dem heutigen Zustand – auf den Endwert der akustischen Lebensdauer umzurechnen, wobei bei Drainbelägen von 10 Jahren, bei dichten Asphaltbelä-

gen von 15 Jahren und bei Betonbelägen von 25 Jahren auszugehen ist. Der Belag muss zum Zeitpunkt der Messung mindestens 3 Jahre alt sein. Der Messwert ist mit nachstehender Tabelle auf den Endwert hochzurechnen. Die so ermittelten Belagskennwerte sind zu dokumentieren.

Alterungskorrektur für messtechnisch erfasste bestehende Beläge:

	Belagsalter zum Zeitpunkt der Messung	
	< 10 Jahre	≥ 10 Jahre
Zuschlag	0.5 dB(A)	0 dB(A)

Wird ein Belag z.B. im Rahmen einer Lärmsanierung (innerhalb von 5 Jahren) ersetzt, ist in der Regel mit den nachfolgenden Belagskennwerten zu rechnen (extrapolierter akustischer Wert nach 15 Jahren als Abweichung zum Modell «StL86+»).

Belagstyp	Geschwindigkeitsbereich	
	v ≤ 60 km/h	v > 90 km/h
LKW-Anteil	ca. 8%	ca. 15%
PA ¹⁾	--	-3
dichte Beläge ²⁾	--	+2
AC 8	0	--
AC 1	0	+2
AC 16	+2	+2
AC MR 4	+1	--
AC MR 6	0	--
AC MR 8 ⁴⁾	0	0
AC MR 11	+2	+2
Kaltnikro	0	--
MA	+1	+2
OB	0	--
SMA 6	0	--
SMA 8	0	+2
SMA 11	+1	+2
SDA 4 ⁵⁾	-3	--
SDA 4 ⁶⁾	-4	--
SDA 8 ⁷⁾	-1	-1
Betonbeläge ³⁾	+2	+5

Tabelle: Belagskennwerte in dB(A) für neue Beläge gemäss «Leitfaden Strassenlärm», Anhang 1b

--: Keine statistisch gesicherten Messwerte vorhanden

1) Lebensdauer 10 Jahre

2) Dichte Asphaltbeläge

3) Lebensdauer 25 Jahre

4) früher SDA 8A

5) nach Norm VSS 40 436, Firmenlösung

6) Beläge mit zugänglichen Hohlräumen u.a. präventives Reinigen oder Mikroschleifen

7) nach Norm VSS 40 436, Firmenlösung, zugängliche Hohlräume

Zwischen den zwei oben genannten Geschwindigkeitsbereichen wurden insgesamt nur wenige Belagsgütemessungen durchgeführt. Für die Bestimmung von Belagskennwerten in diesem Geschwindigkeitsbereich (60 bis 90 km/h) wird deshalb empfohlen, sich abhängig von der vorherrschenden Fahrgeschwindigkeit, an den gesicherten Kennwerten der Geschwindigkeitsbereiche < 60 km/h und > 90 km/h zu orientieren.



7.3.6 Pegelkorrektur K_1 [dB(A)]

$$K_1 = 0 \quad N \geq 100 \text{ Fz/h} \quad [\text{dB(A)}]$$

$$K_1 = 10 \cdot \log \left(\frac{N}{100} \right) \quad 31.6 \leq N < 100 \text{ Fz/h} \quad [\text{dB(A)}]$$

$$K_1 = -5 \quad N < 31.6 \text{ Fz/h} \quad [\text{dB(A)}]$$

K_1 : Pegelkorrektur [dB(A)] (vgl. Anhang 3 LSV)

N : Ø Anzahl Fahrzeuge pro Stunde [Fz/h]

Wirkt an einem Immissionsort der Lärm mehrerer Strassen ein (z.B. bei Kreuzungen, bei einer modellmässigen Fahrstreifenaufteilung etc.), ist die Pegelkorrektur K_1 aufgrund der Gesamtheit des Verkehrsaufkommens zu bestimmen.

7.3.7 Gesamtdämpfung ΔL_D [dB(A)]

$$\Delta L_D = \Delta L_S + \Delta L_\varphi + \Delta L_H + \Delta L_{Bo} + \Delta L_L \quad [\text{dB(A)}]$$

ΔL_D : Gesamtdämpfung [dB(A)]

ΔL_S : Abstandsämpfung [dB(A)]

ΔL_φ : Aspektwinkelverlust [dB(A)]

ΔL_H : Hindernisdämpfung [dB(A)]

ΔL_{Bo} : Bodeneffekt [dB(A)]

ΔL_L : Luftdämpfung [dB(A)]

7.3.8 Abstandsämpfung ΔL_S [dB(A)]

$$\Delta L_S = 10 \cdot \log (S) \quad [\text{dB(A)}]$$

ΔL_S : Abstandsämpfung [dB(A)]

S : Räumlicher, senkrechter Abstand zur Strasse [m]

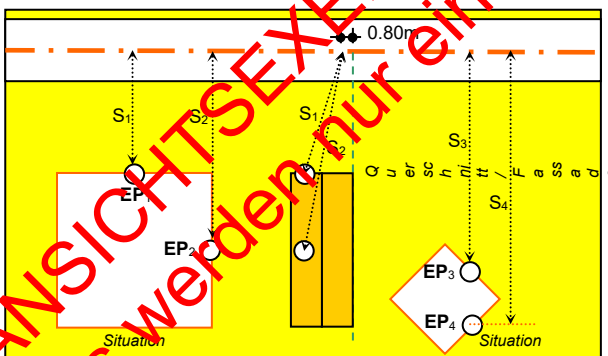


Abb. 7.4 Grundabstand S_i

7.3.9 Aspektwinkelverlust ΔL_φ [dB(A)]

$$\Delta L_\varphi = 10 \cdot \log \left(\frac{180}{\varphi} \right) \quad [\text{dB(A)}]$$

ΔL_φ : Aspektwinkelverlust [dB(A)]

φ : Aspektwinkel (Schalleinfallswinkel) [°]

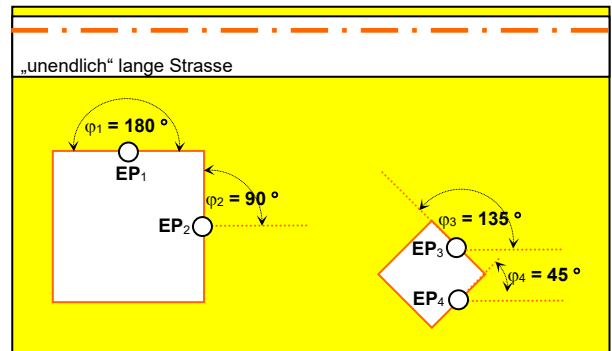


Abb. 7.5 Aspektwinkel φ_i

7.3.10 Hindernisdämpfung ΔL_H [dB(A)]

Fall I:

$$\Delta L_H = 10 \cdot \log (5 + 80 z) \quad [\text{dB(A)}]$$

Fall II:

$$\Delta L_H = 10 \cdot \log (3 + 160 z) \quad [\text{dB(A)}]$$

Fall III:

$$\Delta L_H = 10 \cdot \log (3 - 160 z) \quad [\text{dB(A)}]$$

$$z = \overline{QK} + \overline{KE} - \overline{QE} \quad [\text{m}]$$

ΔL_H : Hindernisdämpfung [dB(A)]

z : Schirmwert [m]

QK : Strecke Quelle – Hinderniskante

KE : Strecke Hinderniskante – Empfangspunkt

QE : Strecke Quelle – Empfangspunkt

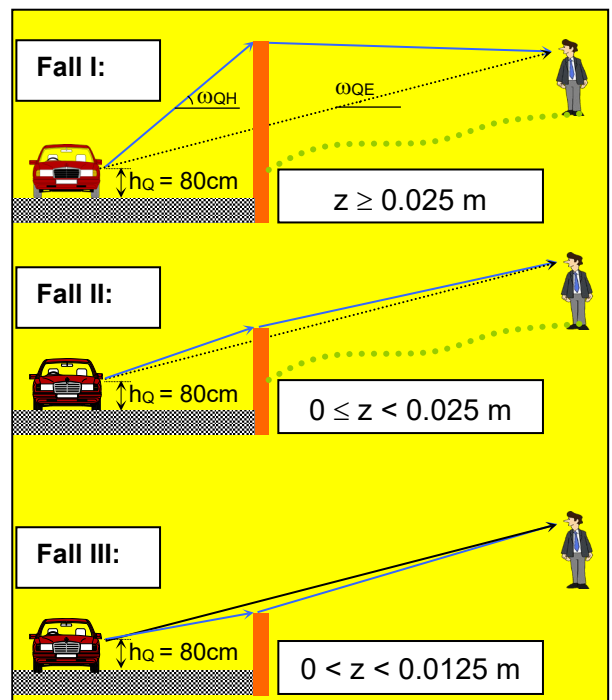


Abb. 7.6 Fallunterscheidung Hindernisdämpfung



8.	EISENBAHNLÄRM	4
8.1	Einführung	4
8.1.1	Erfolgreiche Emissionsbegrenzung	4
8.1.2	Lästigkeit des Eisenbahnlärms	4
8.1.3	Problematik von Verriffelungen	4
8.1.4	Geräuschkomponenten	5
8.1.5	Einfluss der Bremssysteme	5
8.1.6	Lärminderungspotential beim Rollmaterial	6
8.1.7	Einfluss der Geschwindigkeit	6
8.1.8	Einfluss der Gleiskörper	7
8.1.9	Luft- und Körperschall bei Eisenbahnen	7
8.1.10	Publikation Lärmschutz im Schienenverkehr	7
8.1.11	Standberichte des BAV über die Lärmsanierung	7
8.2	Emissionsplan 2015	7
8.3	Immissionslärmkataster	8
8.4	«SEMIBEL» - Modell für die Berechnung des Eisenbahnlärms	8
8.5	«sonRAIL» - Neues Emissionsberechnungsmodell	8
8.6	Beurteilungspegel L_r'	9
8.7	Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]	9
8.8	Vergleich L_r' mit L_r	9
8.9	Bauliche Lärmschutzmassnahmen (Lärmschutzwände)	9
8.10	Kosten-Nutzen-Index (KNI)	10
8.11	Ersatzmassnahmen (Schallschutzfenster)	10
8.12	Kritische Reflexionen	11
8.13	Erschütterungen und Körperschall	11
8.15	Spezielle Untersuchungen	12
8.15.1	Schallausbreitung in Eisenbahnhofschnitten	12
8.15.2	Lärmesskonzept der Eisenbahn-Stahlbrücken	12
8.15.3	Schallabstrahlung von Eisenbahntunnelportalen	12

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 8.1	Graugussklotzbremse / Verbundstoff-Sohle	4
Abb. 8.2	Industriegleis mit schwacher Riffelbildung	5
Abb. 8.3	Geräuschspektren eines verifelteten und eines neu geschliffenen Geleises	5
Abb. 8.4	Emissionen mit Grauguss- und mit K-Sohlen bestückten Wagen	5
Abb. 8.5	Gesamtgeräusch eines Zuges	5
Abb. 8.6	Typische Zugs vorbeifahrt mit Achsen von verschiedenen Bremssystemen	5
Abb. 8.7	Typische Emissionen von Lokomotiven und Wagen	6
Abb. 8.8	RE 460, v=80 km/h, $L_{pAeq,T}=81.6$ dB(A)	6
Abb. 8.9	RE 460 v=120 km/h, $L_{pAeq,T}=87.0$ dB(A)	6
Abb. 8.10	RE 460 v=200 km/h, $L_{pAeq,T}=94.9$ dB(A)	6
Abb. 8.11	Primärer / sekundärer Luftschall	7
Abb. 8.12	Auszug aus Emissionsplan 2015	7
Abb. 8.13	Ausschnitt aus dem Immissionslärmkataster Eisenbahnlärm Nacht	8
Abb. 8.14	Lärmschutzwand Bachtalenstrasse, Rothenburg	9
Abb. 8.15	Lärmschutzwand Baselstrasse, Luzern	9
Abb. 8.16	Lärmschutzwände Bahnstrasse, Oberkirch	10
Abb. 8.17	Lavabetonwand mit aufgesetzter Glaswand, SBB-Linien Zürich-Thalwil, Stadt Zürich	10
Abb. 8.18	Lärmschutzwand mit Solarzellen, Wallisellen	10
Abb. 8.19	Strassen-/ eisenbahnseitig teilweise absorbierende Lärmschutzwand	10
Abb. 8.20	Typische Reflexionssituationen	11
Abb. 8.21	Lärmbelastung im Bereich einer Lärmschutzwand entlang einer Eisenbahnlinie	11
Abb. 8.22	Typischer Eisenbahneinschnitt	12
Abb. 8.23	Realisiertes Massstabsmodell eines Einschnitts mit Lok und Wagen	12
Abb. 8.24	Zeitliche Evolution des Schallfeldes in vier Zeitpunkten für einen Eisenbahneinschnitt	12
Abb. 8.25	Typischer Eisenbahn-Stahlbrücke	12
Abb. 8.26	Typisches Eisenbahntunnelportal	12

Abkürzungen:

BAV:	Bundesamt für Verkehr
AW:	Alarmwert
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BEKS:	Weisung für die Beurteilung von Erschütterungen und Körperschall bei Schienenanlagen
BGE:	Bundesgerichtssentscheid
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtssentscheid
CadnaA:	Lärmbeurteilungsprogramm (Datakustik GmbH München; Norsonic-Brechbühl AG)
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
ΔL :	Schallpegeldifferenz [dB] [dB(A)]
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FinOV:	Bundesbeschluss über Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs
GG-Sohle:	Bremssystem mit Graugussklötzen
IGW:	Immissionsgrenzwert
K:	Pegelkorrektur [dB(A)]
K ₁ :	Pegelkorrektur für Fahrbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
K ₂ :	Pegelkorrektur für die Häufigkeit und die Hörbarkeit aller impulshaltigen, tonhaltigen und kreischenden Lärmereignisse während dem Rangierbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
KNI:	Kosten-Nutzen-Index beim Eisenbahnlärm ($KNI_{soll} \geq 80$)
K-Sohle:	Bremssystem mit Komposit-Sohle
L:	Schalldruckpegel oder Schallpegel [dB] [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _{eq,f} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) für Fahrbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
L _{eq,r} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) für Rangierbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
L _{max} :	Maximalpegel (Vorbeifahrtspegel), gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
L _{pAeq,T} :	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel in 7.5 Metern Distanz zur Gleismitte
L _R :	Reflexionseinfluss [dB] [dB(A)]
L _r :	Belastungsgrenzwert (AW, IGW, PW) (vgl. Anhang 4 LSV)



8. EISENBAHNLÄRM

L_r' :	Gesamt-Beurteilungspegel für Fahr- und Rangierbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
$L_{r,r}'$:	Beurteilungspegel für Fahrbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
$L_{r,r}'$:	Beurteilungspegel für Rangierbetrieb [dB(A)] (vgl. Anhang 4 LSV)
$L_{r,e}'$:	Emissionswert [dB(A)]
LSW:	Lärmschutzwand
λ :	Wellenlänge [m]
MFM-U:	Monitoring Flankierende Massnahmen
N:	Ø Anzahl Zugsfahrten pro Tag resp. pro Nacht [Fz/h]
PW:	Planungswert
Q:	Quelle (bei Eisenbahnen vereinfacht bei 50 cm) über der Schienenoberkante (SOK)
SEMIBEL:	Altes Berechnungsmodell für Eisenbahnlärm «SEMIBEL»
SN:	Schweizer Norm
SNV:	Schweizerische Normen-Vereinigung
sonBASE:	GIS-Lärmdatenbank «SonBase»
SonRAIL:	Neues Berechnungsmodell für Eisenbahnlärm «SonRail»
SOK:	Schienenoberkante «SOK»
SR:	Systematische Sammlung des Bundesrechts
SR:	Schriftenreihe Umwelt (z.B. SR Nr. 116)
SSF:	Schallschutzfenster
UVEK:	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
v:	(Gefahren-) Geschwindigkeit [km/h]
W:	Lärmempfindliche Wohnräume
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
BGLE:	Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (SR 742.144)
VLE:	Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahn (SR 742.144.1)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Nachfolgend sind die einige spezifische Probleme und Gesetzmässigkeiten des Eisenbahnlärms angegeben. Die Ausführungen werden relativ kurz gehalten. Nähere und detailliertere Unterlagen zur Akustik, über das USG und die LSV, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden sowie bei den Bahnen (SBB, BLS, ZB, etc.) in Erfahrung zu bringen.



8. EISENBAHNLÄRM

8.1 Einführung

8.1.1 Erfolgreiche Emissionsbegrenzung

Der öffentliche Verkehr erfüllt eine sehr wichtige Aufgabe bei der Bewältigung unserer Mobilitätsansprüche und bei der Abwicklung des nationalen und internationalen Güterverkehrs. Er geniesst eine sehr grosse Akzeptanz, wie beispielsweise die Abstimmung zum **FinÖV** (Bundesbeschluss über Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs) im Jahre 1998 zeigte. Mit dem FinÖV konnten die Bahnen über eine Milliarde Franken in die Beschaffung von neuem Rollmaterial investieren. Der Vorteil des konsequent umgesetzten Emissionsbegrenzungsprogramms der Bahnen ist offensichtlich. Einerseits konnten damit die Lärmimmissionen entlang des ganzen Streckennetzes vermindert werden. Andererseits konnte damit die baulichen Lärmschutzmassnahmen entlang der Strecken massiv reduziert werden, auf denen die Bahnen aufgrund der Umweltschutzgesetzgebung sanierungspflichtig waren.

Die Bahnen, als wichtige Glieder in der ÖV-Kette, sind zweifelsfrei sehr leistungsfähige und umweltschonende Verkehrsmittel. Die immer besser und schneller werdenden Verkehrsverbindungen führen aber letztlich auch dazu, dass die Pendlerströme immer grösser werden und die Nachfrage vor allem in den Stosszeiten ungebremst fortschreitet. Die Fahrplanverdichtungen und die schnelleren Fahrten sind letztlich hinsichtlich der Lärmemissionen nachteilig. Heute sind in der Schweiz rund 265'000 Menschen Eisenbahn-Lärmimmissionen ausgesetzt, die über den Emissionsgrenzwerten liegen. Besonders exponiert sind die Bewohner entlang der Gütertransportrouten. Dort können die Emissionen im Nachtzeitraum sogar höher sein als während der Nacht.

Die Bahnen haben allerdings ihre Hausaufgaben in Sachen Emissionsbegrenzung gemacht. Die bereits weit fortgeschrittene Lärmsanierung mit neuem Rollmaterial führte zu einer erheblichen Reduktion des Lärms. Davon profitierten netzweit alle Anwohnerinnen und Anwohner von Bahnstrecken. Es gibt keine andere Lärmart, die einen vergleichbaren Erfolg vorweisen kann. War am 1. Januar 1985 im nationalen Verkehr noch fast ausschliesslich altes Rollmaterial in Betrieb, sind heute im Personenverkehr überwiegend scheibengebremste Wagen im Einsatz. Seit 2006 müssen Neufahrzeuge auch international strengen Lärmschutzanforderungen genügen. Obwohl die Güterwagen im liberalisierten Güterverkehr über viele Jahrzehnte in Betrieb stehen und die Güterzüge oftmals aus Fahrzeugen unterschiedlichster Her-

kunft zusammengesetzt sind, werden die Emissionsgrenzwerte für alle Güterwagen auf dem schweizerischen Netz mit einer **Revision des BGLE** (SR 742.144) ab 2020 verschärft. Damit werden inskünftig auf unserem Bahnnetz nur noch deutlich leisere Güterzüge mit **Komposit-Sohlen** (sogenannten K-Sohlen mit über 12 dB(A) verbessertem Emissionsverhalten) betrieben.

8.1.2 Lästigkeit des Eisenbahnlärms

Eisenbahnlärm wird als weniger lästig empfunden, als beispielsweise Strassenverkehrslärm, weil beim Eisenbahnlärm meist längere Ruhephasen zwischen den einzelnen Schallspitzen (Vorbeifahrtssituation) vorhanden sind und die hohen und tiefen Frequenzen viel stärker abfallen, als beim Strassenverkehrslärm. Letzteres gilt jedoch nur für vorbeifahrende Züge. Bei den Bremsen und in engen Kurven entstehen sehr viel höhere Schallemissionen, mit wesentlich ungünstigerem Spektrum. Der dabei entstehende grosse Anteil an hochfrequentiger Schallenergie erklärt, weshalb solche Geräuschphasen subjektiv besonders lästig auf die Bewohner von exponierten Wohngebäuden entlang ausgeprägter Bremsstrecken oder im Bereich von Güterbahnhöfen einwirken.

8.1.3 Problematik von Verriffelungen

In den 80er-Jahren zeigte es sich, dass die hohen Emissionswerte des älteren Wagenmaterials im Vergleich mit modernen Reisezügen des Auslandes nur zum Teil auf die leichteren Karosserien zurückgeführt werden konnten. Grund waren vielmehr ungünstige **Verriffelungen** ¹⁾ an den Räderlaufflächen und auf den Schienen, bedingt durch die auftretenden, extremen Beanspruchungen mit den eingebauten Graugussklotzbremsen beim älteren Rollmaterial und vor allem auch bei den Güterwagen.

Die Riffel treten offenbar gleichmässig auf. ²⁾ Von Riffelberg zu Riffelberg beträgt der Abstand drei bis acht Zentimeter. Der Höhenunterschied von Bergen und Tälern liegt in der Regel unter einem Zehntel Millimeter, was gerade noch mit den Fingern fühlbar ist. Dennoch führen solche Riffel zu höheren Schallemissionen. Ausserdem kommt es zu extremen Beanspruchungen des Rades und der Gleise und somit zu erhöhtem Verschleiss.



Abb. 8.1 Graugussklotzbremse / Verbundstoff-Sohle

(Quelle: Presseninformation des BAV vom 28.7.2005 zur Lärmsanierung der Eisenbahnen)

¹⁾ Google: SBB Verriffelungen

²⁾ Laermorama.ch



Abb. 8.2 Industriegleis mit schwacher Riffelbildung

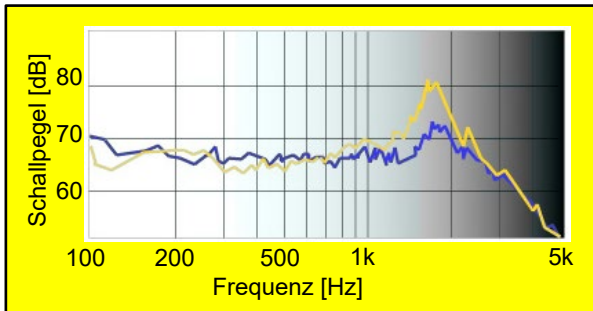


Abb. 8.3 Geräuspektren eines verifetzten und eines neu geschliffenen Geleises

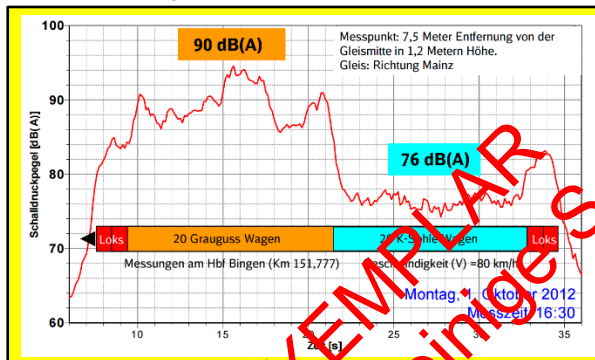


Abb. 8.4 Emissionen mit Grauguss- und mit K-Sohlen bestückten Wagen

8.1.4 Geräuschkomponenten

Das Gesamtgeräusch setzt sich aus den Antriebsgeräuschen, den Rollgeräuschen und den Geräuschen der Aerodynamik zusammen.

- A: Niedrige Geschwindigkeit (0 bis ca. 50 km/h):
Antriebsgeräusche (Motor, Getriebe, Lüfter, Klimaanlage, Kompressor, Spurkranzschmierung)
- B: Mittlere Geschwindigkeit (ca. 50 bis 250 km/h)
Rollgeräusch (Rad-Schienen-Kontakt, schallabstrahlende Räder)
- C: Hohe Geschwindigkeit (ab ca. 250 km/h):
Aerodynamische Geräusche (Strömungsgeräusche, Wirbelbildungen an Stromabnehmer, Bauteilen und Kanten)

Quelle: Lärmorama.ch; Vortrag von Prof. Dr.-Ing. Markus Hecht, [Lärmbelastung durch Schienengüterverkehr](#) ³⁾

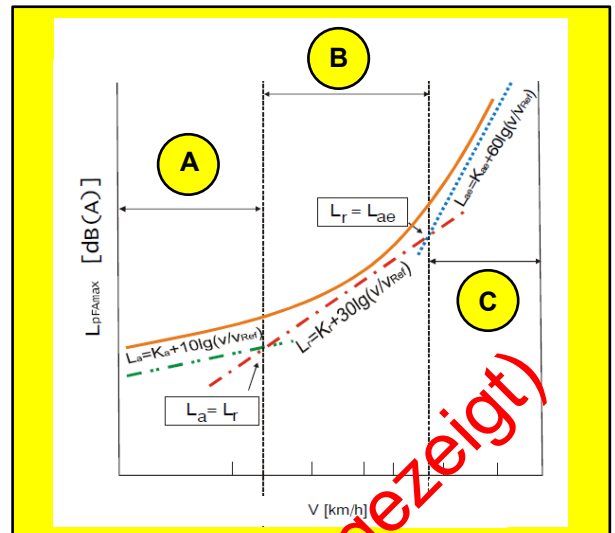


Abb. 8.5 Gesamtgeräusch eines Zuges

Beim fahrenden Zug sind den unteren bis mittleren Geschwindigkeiten ist die Hauptursache des Schienenlärms das Rollen der Räder auf den Gleisen. Der Körperschall durch die schwingenden Räder wird auf die Achsen, die Drehgestelle und andere Teile des Zuges übertragen und auch innerhalb der Schiene weitergeleitet. Bei leeren Güterwagen strahlt der Wagenkasten besonders stark ab und führt zu einem Dröhnen. Von den Anwohnern wird der davon abgestrahlte Körperschall als primärer oder sekundärer Luftschall wahrgenommen (vgl. Abb. 8.11).

Die Höhe der gesamten Eisenbahnlärmemission ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Gefahrene Geschwindigkeiten je Zug
- Zugzusammensetzung und -länge resp. Anzahl Achsen (Lokomotive, Wagen)
- Schienenrauheit (Gleiszustand, Verriffelung)
- Oberbautyp (Schiene, Schwelle, Trasse, Gleiskörper, Weichen, etc.)
- Gleisgeometrie (Kurvenradius)
- Brückentyp

8.1.5 Einfluss der Bremssysteme

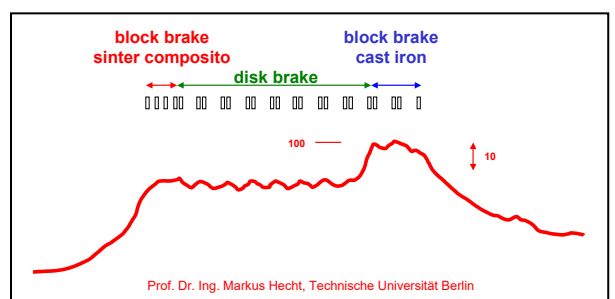


Abb. 8.6 Typische Zugvorbeifahrt mit Achsen von verschiedenen Bremssystemen

> [Video](#): Geräuschbeispiele von Zugvorbeifahrten mit unterschiedlichen Bremssystemen ⁴⁾

3) Google: Lärmbelastung durch Schienengüterverkehr Markus Hecht

4) www.laermorama.ch/m5_krachmacher/eisenbahnlaerm_v.html



8.1.6 Lärmminderungspotential beim Rollmaterial

Die Emissionen einer Eisenbahn sind von der Bauweise des Rollmaterials und der Bremsysteme abhängig. Bei den SBB ist z.B. der Intercity-Doppelstockwagen ca. 20 dB(A) leiser als der frühere Einheitswagen (EW I oder II). Nachfolgend sind die Emissionen einiger Lokomotiven und Wagen aufgeführt. Die Emissionen sind (mit Ausnahme des EW I) mit dem «sonRAIL» bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h berechnet worden.

	Links	$L_{pAeq,T}$ $v=80$ km/h [dB(A)]
	EW I	97
	offener Güterwagen (4-achsig)	89.1 (GG-Sohle) 80.7 (K-Sohle)
	Re 460 (Lok 2000)	81.6
	Re 460 (Lok)	88.0 (Lok) 79.2
	Re 450	87.6 (Lok) 78.2
	EW IV A	75.7
	RABe 526 (Flirt)	74.8 (mit Antrieb) 73.8 (ohne Antrieb)

	RABe 514	78.2
	RABDe 500	78.1

Abb. 8.7 Typische Emissionen von Lokomotiven und Wagen

Der aktuelle [Rollmaterialpark der SBB](#) wird regelmässig publiziert.

8.1.7 Einfluss der Geschwindigkeit

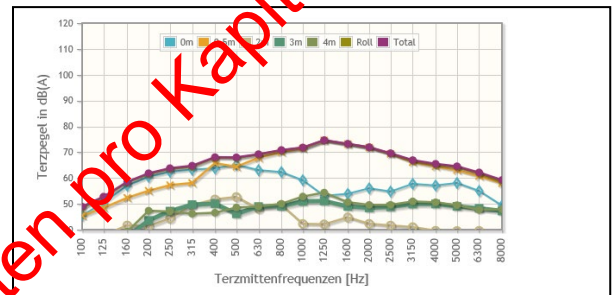


Abb. 8.8 RE 460, $v=80$ km/h, $L_{pAeq,T}=81.6$ dB(A)

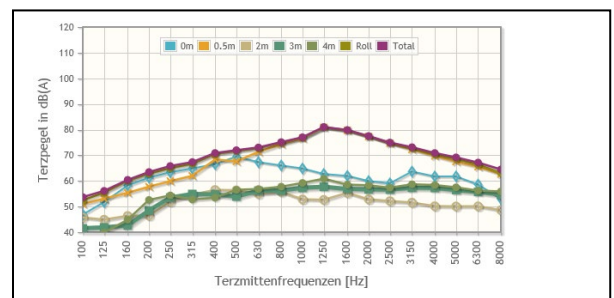


Abb. 8.9 RE 460 $v=120$ km/h, $L_{pAeq,T}=87.0$ dB(A)

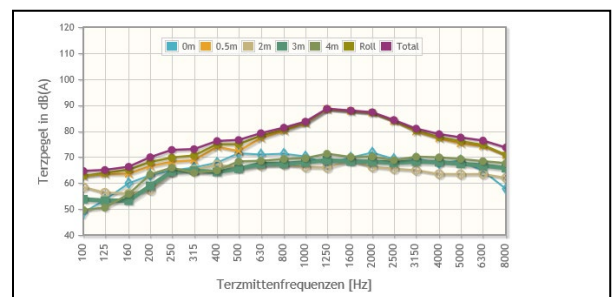


Abb. 8.10 RE 460 $v=200$ km/h, $L_{pAeq,T}=94.9$ dB(A)

Die Abbildungen zeigen jeweils die Emissions-Terzspektren, getrennt nach Quellenhöhen 0 m, 0.5 m, 2 m, 3 m, 4 m, Rollgeräusch und Gesamtgeräusch.

$L_{pAeq,T}$: A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschall-druckpegel in 7.5 Metern Distanz zur Gleismitte (berechnet mit «sonRAIL»)



9. SCHIESSLÄRM

9.	SCHIESSLÄRM	5
9.1	Schiesswesen ausser Dienst.....	5
9.2	Konflikte mit Siedlungsgebiet	5
9.3	Beurteilungspegel L_r'	5
9.4	Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]	6
9.5	Vergleich L_r' mit L_r	6
9.6	Akustik des Schiesslärms	6
9.6.1	Emissionswerte Mündungs- und Geschossknall.....	6
9.6.2	Grobabschätzung Schiesslärmbelastung	7
9.6.3	Ausbreitung Mündungsknall (MK).....	7
9.6.4	Ausbreitung Geschossknall	8
9.6.5	Überlagerter Geschoss- und Mündungsknall.....	10
9.7	Ermittlung des Schiesslärms (Berechnung vs. Messung).....	12
9.8	Schiesslärmrechnung mit «sonGUN»	12
9.9	Schiesslärmrechnung mit «sonARMS»	12
9.10	Lärmschutzmassnahmen.....	13
9.10.1	Reduktion / Optimierung Schiessbetrieb.....	13
9.10.2	Einbau von Lägerblenden.....	13
9.10.3	Installation von Tief- und Hochblenden.....	13
9.10.4	Installation von Schallschutztunnels (SST).....	14
9.10.5	Bauliche Massnahmen entlang der Schusslinie.....	14
9.10.6	Korrekturen der Schusslinie.....	15
9.10.7	Schalltechnische Sanierung der Schützenhäuser.....	15
9.11	Unterirdische Schiessanlagen	15

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 9.1	Sturmgewehr 57 (ohne Magazin).....	6
Abb. 9.2	Sturmgewehr 90 (ohne Magazin).....	6
Abb. 9.3	Ordonanz-Pistole 75	6
Abb. 9.4	Spektren Mündungs- und Geschossknall.....	7
Abb. 9.5	Ausbreitung Mündungsknall (Richtwirkung zeichnerisch unberücksichtigt)	8
Abb. 9.6	Kegelförmige Ausbreitung des Geschossknalls	8
Abb. 9.7	Schlierenaufnahme Sturmgewehrschuss.....	8
Abb. 9.8	Kegelförmige Ausbreitung Geschossknall (Geschossknallteppich)	8
Abb. 9.9	Geschossknalleinwirkung hinter / oberhalb Scheibenstand (Situation).....	9
Abb. 9.10	Geschossknalleinwirkung hinter / oberhalb Scheibenstand	9
Abb. 9.11	Ausbreitungsbereiche des Geschossknalls von Stgw ₅₇ und Stgw ₉₀	9
Abb. 9.12	Ausbreitung Geschossknall.....	9
Abb. 9.13	Überlagerter Geschoss- und Mündungsknall	10
Abb. 9.14	Pegel-Zeit-Aufzeichnung Stgw ₅₇ mit überlagerndem GK und MK	10
Abb. 9.15	Pegel-Zeit-Aufzeichnung Stgw ₉₀ mit überlagerndem GK und MK.....	10
Abb. 9.16	Messprotokoll Schiesslärmmessung ohne SST	11
Abb. 9.17	Lärmisophonen Schiessanlagen (Demo Projekt «SonARMS»)	13
Abb. 9.18	Schallabsorbierende Lägerblenden (Schiessanlage Wolfenschiessen)	13
Abb. 9.19	Schallabsorbierende Seiten-, Läger- Tief- und Hochblenden (Schiessanlage Ennetbürgen).....	13
Abb. 9.20	Schallabsorbierende Seiten-, Tief- und Hochblenden (Schiessanlage Ennetbürgen).....	14
Abb. 9.21	SST Typ GPB850, Firma Süssmann AG, Regensdorf	14
Abb. 9.22	SST Typ Silento, Firma SW, Bern / RUAG (Liefermöglichkeit unklar)	14
Abb. 9.23	SST Typ ACO, Firma Allenspach AG, Wangen / Leu+Helfensien, St. Erhard	14
Abb. 9.24	Lärm-Isophonen ohne Schallschutztunnel	14
Abb. 9.25	Lärm-Isophonen mit Schallschutztunnel	14
Abb. 9.26	Lärmschutzwall entlang Schussfeld, Schiessanlagen Hüslenmoos, Emmen LU	14
Abb. 9.27	Abgedrehte Schusslinie (blau): Siedlungsgebiet neu ausserhalb Geschossknallteppich	15
Abb. 9.28	Schalltechnisch und raumakustisch optimal gestaltetes Schützenhaus.....	15
Abb. 9.29	Unterirdische Schiessanlagen „Brüning Indoor Lüngern (OW) www.brueinigindoor.ch	15
Abb. 9.30	300m-Stollen.....	15
Abb. 9.31	Scheibenanlagen Jagdschiessstand / 300m-Schiessanlage.....	15
Abb. 9.32	Stollen mit 100m, 200 und 300m Jagdschiessanlage sowie 300m Stand	15
Abb. 9.33	„Schützenhaus“ auf drei Etagen (Total 15 Scheiben)	15
Abb. 9.34	„Schützenhaus“ auf drei Etagen (Total 15 Scheiben)	15

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abkürzungen:

a:	Abstand Mündung – Quellenpunkt Geschosknall (Q_{GK})
AW:	Alarmwert
B:	Lärmempfindliche Betriebsräume
b:	Abstand Quellenpunkt Geschosknall (Q_{GK}) – Empfangspunkt in m
β :	Winkel zwischen Schusslinie und Empfangspunkt
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
c:	Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s)
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
D_{wi} :	Durchschnittliche Anzahl Werktagschiessen pro Waffenkategorie
D_{si} :	Durchschnittliche Anzahl Sonntagschiessen pro Waffenkategorie
ΔL :	Schallpegeldifferenz [dB] [dB(A)]
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
e:	Natürliche Zahl ($e = 2.71828...$)
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
Fast:	Messung mit der Zeitkonstante Fast (Zeitkonstante = 125 ms)
GK:	Geschosknall
h_m :	Mittlere Höhe des Schallstrahls des MK resp. GK über Boden [m]
IGW:	Immissionsgrenzwert
K_i :	Pegelkorrektur der Waffenkategorie [dB(A)]
L:	Schalldruckpegel, Schallpegel, Einzelschusspegel [dB] [dB(A)]
L_A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L_{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
$L_{GK,E}$:	Emission Geschosknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]
L_{GK} :	Immission Geschosknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]
ΔL_{GK} :	Reduktion des Geschosknallpegels aufgrund der Glättung mit der Zeitkonstante Fast [dB(A,F)]
$L_{GK red.}$:	Reduzierter Geschosknallpegel zum Zeitpunkt des Eintreffens des Mündungsknalls [dB(A,F)]
L_i :	Mittlerer Einzelschusspegel Über die Schusszahlen gewichtetes energetisches Mittel der energetisch gemittelten Einzelschusspegel L_j eines Waffen- bzw. Munitionstyps [dB(A, Fast)]
L_j :	Energetisch gemittelter Einzelschusspegel eines Waffen- resp. Munitionstyps [dB(A, Fast)]
L_{max} :	Maximalpegel (Einzelschusspegel), gemessen mit der Zeitkonstante Fast [dB(A, Fast)]
$L_{MK,E}$:	Emission Mündungsknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]
L_{MK} :	Immission Mündungsknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]
$L_{massgeb.}$:	Massgebender Einzelschusspegel [dB(A,F)]; Max (L_{MK} , L_{GK} oder $L_{GK red.}$ + L_{MK})
L_R :	Reflexionseinfluss [dB] [dB(A)]
L_r :	Belastungsgrenzwert für Schiesslärm (AW, IGW, PW) (vgl. Anhang 7 LSV)
L'_r :	Beurteilungspegel [dB(A)] (vgl. Anhang 7 LSV)
L'_{ri} :	Teil-Beurteilungspegel der Waffenkategorien
ΔL_L :	Luftdämpfung bezüglich MK resp. GK [dB(A,F)]
$\Delta L_{Bo.}$:	Bodeneffekt bezüglich MK [dB(A,F)]
$\Delta L_{H.}$:	Hinderniseffekt bezüglich MK resp. GK [dB(A,F)]
ΔL_s :	Abstandsämpfung bezüglich MK resp. GK [dB(A,F)]
ΔL_{SH} :	Hinderniseffekt des Schützenhauses bezüglich MK [dB(A,F)]
LSW:	Lärmschutzwand
λ :	Wellenlänge [m]
MK:	Mündungsknall
M_i :	Anzahl jährlicher Schüsse im Durchschnitt von drei Jahren, welche mit einer Waffenkategorie abgegeben werden
M_j :	Anzahl jährlicher Schüsse im Durchschnitt von drei Jahren, welche mit einem Waffen- bzw. einem Munitionstyp einer Waffenkategorie abgegeben werden
PW:	Planungswert
Q_{GK} :	Quellenpunkt des GK auf der Schusslinie
Q_{MK} :	Quellenpunkt des MK (bei der Laufmündung)
r:	Abstand Quellenpunkt MK – Empfangspunkt in m



sonARMS:	Neuestes Berechnungsmodell für Schiesslärm «sonARMS»; EMPA / BAFU
sonBASE:	GIS-Lärmdatenbank
sonGUN:	Berechnungsmodell für Schiesslärm «sonGUN»
SR:	Systematische Sammlung des Bundesrechts
SR:	Schriftenreihe Umwelt (z.B. SR Nr. 35)
SSF:	Schallschutzfenster
SSV:	Schweizerischer Schiesssportverband
Stgw ₅₇ :	Sturmgewehr 57
Stgw ₉₀ :	Sturmgewehr 90
T _{GK} :	Zeitspanne vom Abfeuern des Projektils bis zum Eintreffen des GK beim Empfangspunkt [s]
T _{MK} :	Zeitspanne vom Abfeuern des Projektils bis zum Eintreffen des MK beim Empfangspunkt [s]
Δt _{GK/MK} :	Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen des GK und des MK beim Empfangspunkt [s]
VBS:	Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
\bar{v} :	Mittlere Geschwindigkeit des Projektils [m/s]
W:	Lärmempfindliche Wohnräume
y :	«Betrag» des senkrechten Abstandes zwischen Schusslinie und Empfangspunkt [m]
Z _{MK} :	Schirmwert $Q_{MKH} + HE - Q_{MKE}$ [m]
Q _{MKH} :	Quellenpunkt MK – Hinderniskante [m]
HE:	Hinderniskante – Empfangspunkt [m]
Q _{MKE} :	Quellenpunkt MK – Empfangspunkt [m]
Z _{GK} :	Schirmwert $Q_{GKH} + HE - Q_{GKE}$ [m]
Q _{GKH} :	Quellenpunkt GK – Hinderniskante [m]
HE:	Hinderniskante – Empfangspunkt [m]
Q _{GKE} :	Quellenpunkt GK – Empfangspunkt [m]
25/50 m:	25 m und / oder 50 m - Schiessanlage
300 m:	300 m - Schiessanlage
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.4)
SAV:	Verordnung über die Schiessanlagen für das Schiesswesen ausser Dienst (Schiessanlagen-Verordnung; SR 510.612)
SO:	Verordnung über das Schiesswesen ausser Dienst (Schiessverordnung; SR 512.31)

[Technische Belange der Schiessanlagen für das Schiesswesen ausser Dienst \(Weisungen für Schiessanlagen\)](#)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Danke an Tiina-Maria Seppänen für ihre Unterstützung im Zusammenhang mit «SonARMS».

Nachfolgend sind die einige spezifische Probleme und Gesetzmässigkeiten des Schiesslärms angegeben. Die Ausführungen werden relativ kurzgehalten. Nähere und detailliertere Unterlagen zur Akustik, über das USG und die LSV, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.



9. SCHIESSLÄRM

9.1 Schiesswesen ausser Dienst

Seit dem Mittelalter ist das Schiesswesen in der Schweiz stark verbreitet und traditionell verwurzelt. Es ist verbunden mit dem Prinzip der allgemeinen Wehrpflicht, welche von jedem Armeeangehörigen jährlich einmal die Teilnahme an einer ausserdienstlichen Schiessübung mit der persönlichen Waffe verlangt. Nach Bundesrecht ist daher jede Gemeinde verpflichtet, dem Gemeindebürger eine Möglichkeit zur Erfüllung seiner Schiesspflicht zu geben. Die Gemeinde unterhält ihre eigene 300m-Schiessanlage oder beteiligt sich an einer Gemeinschaftsanlage in der nahen Umgebung. In der Schweiz gab es um die 2400 Anlagen, im Kanton Luzern, mit insgesamt 107 Gemeinden, gab es deren 92 (Stand 1986). Heute ist die Anzahl deutlich kleiner, weil Schiessanlagen – nicht zuletzt aus Lärmschutzgründen – aufgehoben resp. zusammengelegt wurden.

Es versteht sich, dass Tradition und militärische Ertüchtigung nicht die alleinige Motivation für das Schiessen ausser Dienst bilden. Das sportliche Moment und die Pflege der Geselligkeit dürften heute stark im Vordergrund stehen. Schiessen ist zu einem weit verbreiteten Volkssport in der Schweiz geworden, getragen von rund 3300 lokalen Vereinen mit gut organisierten Dachverbänden (z. B. [SSV](#)). Verdeutlicht wird dies u. a. von der riesigen Teilnehmerzahl von gegen 80'000 Schützen am periodisch stattfindenden eidgenössischen Schützenfest oder am jährlichen Feldschiessen mit gegen 250'000 Teilnehmern.

9.2 Konflikte mit Siedlungsgebiet

In den letzten Jahrzehnten fand ein rasches und starkes Wachstum der Siedlungsräume statt. Als Folge davon wuchsen die Bauzonen für Wohngebäude auch immer näher an die längst bestehenden Schiessanlagen. Mit wachsender Einwohnerzahl nahm auch die Zahl der Pflichtschützen, die Anzahl der Schiessstage sowie die jeweils auf den einzelnen Anlagen verschossenen Patronen zu. Immer häufigere Klagen über die mit dem Schiessen verbundene Belästigung durch den resultierenden Lärm waren die Folgen dieser negativen Konfliktentwicklung. Eine Konfliktentwicklung, die allgemein bekannt ist, nicht nur bei Schiessanlagen, sondern auch bei anderen ortsfesten Anlagen, wie Strassen-, Industrie-, Gewerbeanlagen etc.

Der akustische Einfluss- bzw. Störungsbereich einer Schiessanlage ist in der Regel sehr gross (über 50 Hektaren). Solange dieser Bereich vorwiegend landwirtschaftlich genutzt war, blieb der Lärmkonflikt praktisch bedeutungslos.

Erst als Gebiete in der Umgebung der Schiessanlagen als Baugebiete eingezont, erschlossen und bebaut wurden, wurde der eigentliche Lärmkonflikt ausgelöst.

Heute grenzt das Siedlungsgebiet nicht selten unmittelbar an die längst bestehenden Schiessanlagen. In einigen Fällen wird die Schiessanlage sogar vom Siedlungsgebiet praktisch umschlossen. Eine seinerzeitige Beschränkung der Bautätigkeit aus Lärmgründen liess sich unter dem vorhandenen Siedlungsdruck und infolge der damals noch fehlenden gesetzlichen Grundlagen politisch und rechtlich nicht oder nur im beschränkten Masse durchsetzen, obwohl die Konflikte absehbar waren.

Mit dem Inkrafttreten der Umweltschutzgesetzgebung ist ein Instrument für die objektive Beurteilung verschiedener Lärmarten, so auch für den Schiesslärm geschaffen worden, was letztlich nicht nur von den stark exponierten Anwohnern solcher Anlagen (Anspruch auf Sanierungsmassnahmen) sondern auch von den Schützengesellschaften (Bestandsicherung für wenig kritische Anlagen) begrüsst wird. Heute ist klar geregelt, unter welchen Bedingungen neue Bauzonen in schiesslärmbelasteten Gebieten ausgeschieden, eingezonte Baugebiete in schiesslärmbelasteten Bereichen erschlossen und bebaut sowie neue Schiessanlagen geplant und realisiert werden dürfen. Gleichzeitig wird aber auch festgehalten, unter welchen Voraussetzungen bestehende Schiessanlagen aus Lärmschutzgründen saniert, im Extremfall sogar geschlossen werden müssen. Aufgrund von USG und LSV kann zwar keine Schiessanlage unmittelbar geschlossen werden. Mit der Verweigerung von Erleichterungen oder der starken Einschränkung des Schiessbetriebes kann dies faktisch dennoch der Fall sein. Es ist denn auch nicht weiter überraschend, dass vor allem jene Anlagen zuerst saniert oder stillgelegt wurden, bei denen der Siedlungsdruck am grössten war ...

9.3 Beurteilungspegel L_r

Gemäss LSV werden auch die Schiesslärmimmissionen als Beurteilungspegel L_r erfasst und mit den diesbezüglich massgebenden Belastungsgrenzwerten L_r verglichen. Im Beurteilungspegel L_r für Schiesslärm werden neben der rein akustischen Grösse (Einzelschusspegel L anstelle des Mittelungspegels L_{eq}) auch die individuellen betrieblichen Verhältnisse auf der Anlage berücksichtigt, damit schlussendlich der spezifische Störcharakter einer Anlage beurteilt werden kann.



$$L_r' = 10 \cdot \log \sum 10^{0.1 L_{ri}} \quad [\text{dB(A)}]$$

$$L_{ri}' = L_i + K_i \quad [\text{dB(A)}]$$

$$L_i = 10 \cdot \log \sum M_j \cdot 10^{0.1 L_j} / M_i \quad [\text{dB(A)}]$$

$$K_i = 10 \cdot \log (D_{wi} + 3 \cdot D_{si}) + 3 \cdot \log M_i - 44 \quad [\text{dB(A)}]$$

- L_r' : Beurteilungspegel (vgl. Anhang 7 LSV)
 L_{ri}' : Teil-Beurteilungspegel der Waffenkategorien
 L_i : Mittlerer Einzelschusspegel:
 Über die Schusszahlen gewichtetes energetisches Mittel der energetisch gemittelten Einzelschusspegel L_j eines Waffen- bzw. Munitionstyps
 L_j : Energetisch gemittelter Einzelschusspegel eines Waffen- resp. Munitionstyps [dB(A, Fast)]
 K_i : Pegelkorrektur der Waffenkategorie
 D_{wi} : Durchschnittliche Anzahl Werktagschiessen pro Waffenkategorie
 D_{si} : Durchschnittliche Anzahl Sonntagschiessen pro Waffenkategorie
 M_j : Anzahl jährlicher Schüsse im Durchschnitt von drei Jahren, welche mit einem Waffen- bzw. einem Munitionstyp einer Waffenkategorie abgegeben werden
 M_i : Anzahl jährlicher Schüsse im Durchschnitt von drei Jahren, welche mit einer Waffenkategorie abgegeben werden

Die auf den Schiessanlagen eingesetzten Hand- oder Faustfeuerwaffen werden folgenden Waffenkategorien zugeordnet:

- Sturmgewehre und Handfeuerwaffen vergleichbaren Kalibers;
- Faustfeuerwaffen mit Zentralfeuerpatronen, namentlich Ordonnanzpistolen;
- Faustfeuerwaffen mit Randfeuerpatronen;
- Handfeuerwaffen mit Randfeuerpatronen;
- Jagdgewehre mit Kugelpatronen;
- Schrotflinten;
- weitere Feuerwaffen.

9.4 Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]

Die für den Schiesslärm geltenden Belastungsgrenzwerte (Planungswerte, Immissionsgrenzwerte und Alarmwerte) gehen aus LSV Anhang 7 resp. der nachfolgenden Tabelle hervor.

ES	FM	IGW	AW
	L_r	L_r	L_r
	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
I	50	55	65
II	55	60	75
III	60	65	75
IV	65	70	80

- L_r : Belastungsgrenzwert für Schiesslärm (vgl. Anhang 7 LSV)
 PW: Planungswert
 IGW: Immissionsgrenzwert
 AW: Alarmwert
 ES: Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)

9.5 Vergleich L_r' mit L_r

Gesetzliche Bedingungen:

$L_r' \leq L_r \Rightarrow$ eingehalten

$L_r' > L_r \Rightarrow$ nicht eingehalten

L_r' : Beurteilungspegel [dB(A)]

L_r : Massgebender Belastungsgrenzwert [dB(A)]

Beispiel einer Schiesslärmbeurteilung:

L_{Stgw57}	= 83 dB(A),F	5'000 Patronen
L_{Stgw90}	= 80 dB(A),F	15'000 Patronen
L_{300m}	= 81.0 dB(A),F	
$D_{w,300m}$	= 30 SHT	
$D_{s,300m}$	= 2 SHT	
K_{300m}	= -15.5 dB(A)	
$L_r'_{300m}$	= 65.5 dB(A)	

$L_{\text{Pistolen-1}}$	= 68 dB(A),F	8'000 Patronen
$L_{\text{Pistolen-2}}$	= 60 dB(A),F	4'000 Patronen
$L_{50/25m}$	= 66.6 dB(A),F	
$D_{w,50/25m}$	= 60 SHT	
$D_{s,50/25m}$	= 2 SHT	
$K_{50/25m}$	= -13.6 dB(A)	
$L_r'_{50/25m}$	= 53.0 dB(A)	

$L_r'_{\text{gesamt}}$	= 65.7 dB(A) \approx 66 dB(A)
$L_{r,IGW/III}$	= 60 dB(A)

\Rightarrow massgebender Belastungsgrenzwert wird überschritten

9.6 Akustik des Schiesslärms

9.6.1 Emissionswerte Mündungs- und Geschosknall

Bei der Ermittlung und Beurteilung von Schiesslärm auf 300m-Anlagen ist wichtig zu wissen, dass beim Abfeuern eines einzelnen Schusses (Karabiner, Stgw₅₇ oder Stgw₉₀) immer zwei verschiedene Knalle auftreten, nämlich der Mündungsknall (tieffrequenter Waffenknall) und der Überschallknall des Projektils, der sogenannte Geschosknall (hochfrequenter Peitschenknall).

$L_{MK \text{ Stgw57,E}}$	\approx 139;	$L_{GK \text{ Stgw57,E}}$	\approx 122	[dB(A,F)]
$L_{MK \text{ Stgw90,E}}$	\approx 137;	$L_{GK \text{ Stgw90,E}}$	\approx 119	[dB(A,F)]
$L_{MK \text{ Pistole75,E}}$	\approx 141;	$L_{GK \text{ Pistole75,E}}$	\approx ---	[dB(A,F)]

$L_{MK,E}$: Emission Mündungsknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]

$L_{GK,E}$: Emission Geschosknall in 1 m Abstand [dB(A,F)]



Abb. 9.1 Sturmgewehr 57 (ohne Magazin)



Abb. 9.2 Sturmgewehr 90 (ohne Magazin)



Abb. 9.3 Ordonanz-Pistole 75



- Die beiden Einzelknalle unterscheiden sich durch
- die Höhe des jeweiligen Lärmpegels (vgl. Emissionen des Mündungs- und Geschossknalls in nachfolgender Tabelle),
 - das Spektrum (vgl. Abb. 9.4, Kulminationspunkt des eher flachen Mündungsknall-Spektrums bei ca. 500 bis 1'000 Hz, Kulminationspunkt des steil an- und abfallenden Geschossknall-Spektrums bei ca. 2'000 bis 3'000 Hz) sowie
 - der Art und Weise der räumlichen Ausbreitung.

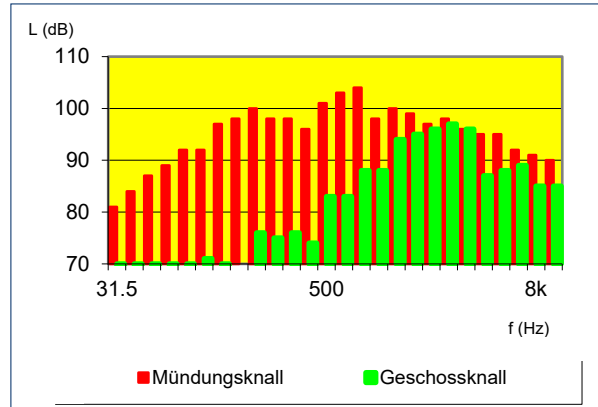


Abb. 9.4 Spektren Mündungs- und Geschossknall

9.6.2 Grobabschätzung Schiesslärmbelastung

Der Mündungsknall und der Geschossknall können mit Hilfe der nachfolgenden Formeln grob abgeschätzt werden. Mit den entsprechenden Erklärungen können die Phänomene der Ballistik und der Schiesslärmaustik besser verstanden werden.

Frühere Grundlage für die Berechnung des Schiesslärms:
Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 35, 1985.

Für praktische Anwendungen empfiehlt es sich auf das Rechen-Tool [«sonARMS»](#) zurückzugreifen, weil damit eine wesentlich genauere Berechnung des Schiesslärms erreicht werden kann (vgl. Kap. 9.9).

9.6.3 Ausbreitung Mündungsknall (MK)

Der Mündungsknall breitet sich kugelförmig von der Gehöröffnung nach allen Richtungen aus, und zwar mit einer etwas grösseren Abstrahlung nach vorne und einer geringeren Abstrahlung seitlich und nach hinten.

Der Mündungsknall kann sowohl vor, seitlich, als auch (gedämpft) hinter dem Schützenhaus festgestellt werden.

Bei Empfangspunkten hinter dem Schützenhaus wird die Höhe des Mündungsknallpegels nicht nur durch die Distanz zur Quelle (geometrische Dämpfung) und weitere Dämpfungseinflüsse bestimmt, sondern im Wesentlichen auch durch die Schalldämmeigenschaften der Gebäudehülle des Schützenhauses. Zudem haben allenfalls auch Reflexionen an Waldrändern oder Felsen einen bedeutenden Einfluss auf die Immissionen hinter dem Schützenhaus.

Emissionen Mündungsknall (inkl. Richtwirkung):

$0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ und $270^\circ \leq \beta \leq 360^\circ$:

$$L_{MK \text{ Stgw}57,E} = 139.0 + 5.4 \cos \beta - 0.9 \cos^2 \beta \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$L_{MK \text{ Stgw}90,E} = 136.5 + 11.8 \cos \beta - 8.7 \cos^2 \beta \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$L_{MK \text{ Pist}75,E} = 141.0 + 7.5 \cos \beta - 8.7 \cos^2 \beta \quad [\text{dB(A),F}]$$

$90^\circ \leq \beta \leq 270^\circ$:

$$L_{MK \text{ Stgw}57,E} = 139.0 \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$L_{MK \text{ Stgw}90,E} = 136.5 \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$L_{MK \text{ Pist}75,E} = 141.0 \quad [\text{dB(A),F}]$$

$L_{MK,E}$: Emission Mündungsknall in 1 m Abstand unter Berücksichtigung der Richtwirkung
 β : Winkel zwischen Schusslinie und Empfangspunkt (vgl. Abb. 9.5)

$L_{MK \text{ Stgw}57,E}$: Mündungsknall Sturmgewehr 57 in dB(A),Fast

$L_{MK \text{ Stgw}90,E}$: Mündungsknall Sturmgewehr 90 in dB(A),Fast

$L_{MK \text{ Pist}75,E}$: Mündungsknall Pistole 75 in dB(A),Fast

Dämpfungen Mündungsknall:

$$\Delta L_{S \text{ MK}} = 20 \cdot \log(r) \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$\Delta L_{L \text{ MK}} = 0.005 \cdot r \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$\Delta L_{Bo \text{ MK}} = \frac{40}{h_{m \text{ MK}} + 0.5} \left(1 - e^{-\frac{r}{800}} \right) \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$\Delta L_{H \text{ MK}} = 10 \cdot \log(3 + 59 \cdot z_{MK}) \quad [\text{dB(A),F}]$$

$$r \leq 10 \text{ m: } \Delta L_{H \text{ MK}} \leq 25$$

$$r > 200 \text{ m: } \Delta L_{H \text{ MK}} \leq 20$$

$$10 < r \leq 200 \text{ m: } \Delta L_{H \text{ MK}} \leq 25 - 5 \cdot \frac{(r-10)}{190}$$

$$\Delta L_{SH \text{ MK}} = f(5 + 0.01 \cdot (1500 - r)) \quad [\text{dB(A),F}]$$

$f = 1.0$: Massives Schützenhaus

$f = 0.5$: Schützenhaus in Leichtbauweise / Echos

$f = 0.0$: Kein Schützenhaus vorhanden

MK : Mündungsknall
 r : Quellenpunkt MK – Empfangspunkt in m
 $\Delta L_{S \text{ MK}}$: Abstands-dämpfung MK in dB(A),Fast
 $\Delta L_{L \text{ MK}}$: Luftdämpfung MK in dB(A),Fast
 $\Delta L_{Bo \text{ MK}}$: Bodeneffekt MK in dB(A),Fast
 $\Delta L_{H \text{ MK}}$: Hinderniswirkung MK in dB(A),Fast
 $\Delta L_{SH \text{ MK}}$: Hinderniswirkung des Schützenhauses in dB(A),Fast
 $h_{m \text{ MK}}$: Mittlere Höhe des Schallstrahls über Boden in m
 e : Natürliche Zahl ($e = 2.71828...$)
 z_{MK} : Schirmwert $\frac{Q_{MK}H + HE}{Q_{MK}E}$
 $Q_{MK}H$: Quellenpunkt MK – Hinderniskante in m²
 HE : Hinderniskante – Empfangspunkt in m²
 $Q_{MK}E$: Quellenpunkt MK – Empfangspunkt in m²
 r : Räumliche Distanzen

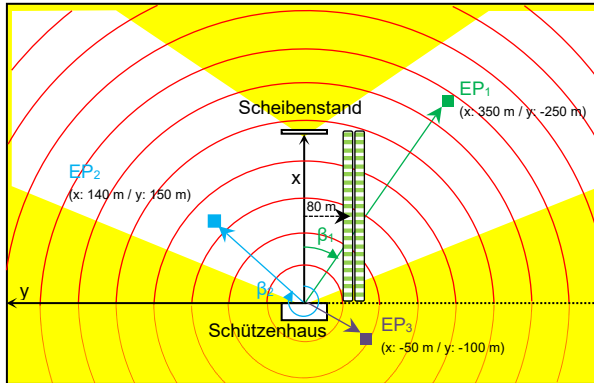


Abb. 9.5 Ausbreitung Mündungsknall (Richtwirkung zeichnerisch unberücksichtigt)

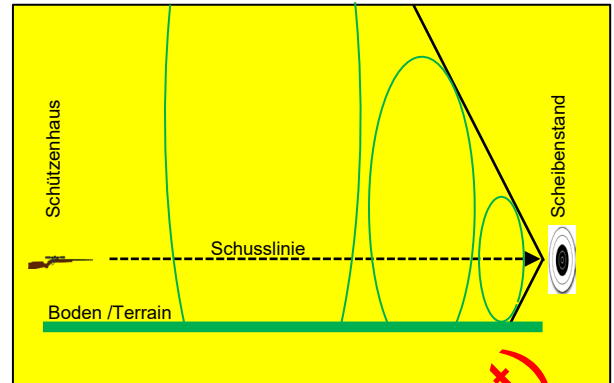


Abb. 9.6 Kegelförmige Ausbreitung des Geschossknalls

Abschätzung MK_{Stgw57} (vgl. auch Abb. 9.5):

		EP ₁	EP ₂	EP ₃
x	[m]	350	140	-50
y	[m]	-250	150	-100
β	[°]	35.5	313.0	116.6
r	[m]	430	205	112
h _{m MK}	[m]	10.6 *	7.0 *	5.0 *
f	[-]			0.5
Q _{MK}	[mü.M.]	450	450	450
H	[mü.M.]	470		
EP	[mü.M.]	454	460	456
Horizontal: Q _{MK} H	[m]	137.800		
Horizontal: HE	[m]	292.200		
Räumlich: Q _{MK} E	[m]	430.019		
Räumlich: Q _{MK} H	[m]	139.244		
Räumlich: HE	[m]	292.638		
Z _{MK}	[m]	1.863		
L _{MK Stgw57 E}	[dB(A),F]	142.8	145.5	139.0
ΔL _{S MK}	[dB(A),F]	52.7	46.7	41.2
ΔL _{L MK}	[dB(A),F]	2.2	2.0	0.4
ΔL _{Bo MK}	[dB(A),F]	1.5	1.2	0.9
ΔL _{H MK theoretisch}	[dB(A),F]	20.5		
ΔL _{H MK begrenzt}	[dB(A),F]	20.5		
ΔL _{SH MK}	[dB(A),F]			18.9
L _{MK Stgw57}	[dB(A),F]	96.4	98.9	77.6

*) Annahmen: Ebenes Terrain 2 m unter der Schusslinie. Beim Hindernis parallel zur Schusslinie sind die Böschungen vernachlässigt.

9.6.4 Ausbreitung Geschossknall

Im Gegensatz zum Mündungsknall wird der Geschossknall fortwährend auf der ganzen Flugbahn des Projektils erzeugt. Gemäss der Dokumentation zum Schiesslärm-Berechnungsmodell «[son-ARMS](#)» sind für die Intensität des Geschossknalls der Projektildurchmesser (Kaliber), die Länge des Projektils von der Spitze bis zum grössten Durchmesser und die momentane Geschwindigkeit sowie die momentane Geschwindigkeitsabnahme massgebend.

Der Quellenpunkt des Geschossknalls liegt zwar immer auf der Schusslinie, aber je nach Lage des Empfangspunktes an verschiedenen Orten (vgl. Abb. 9.8). Die Ausbreitung des Geschossknalls entspricht daher nicht einer Kugelwelle, sondern einer kegelförmigen Welle.

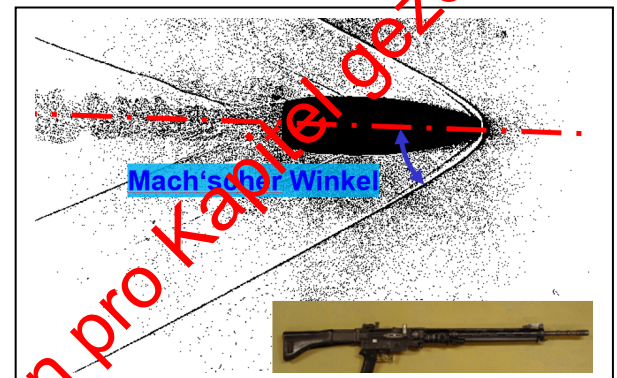


Abb. 9.7 Schlierenaufnahme Sturmgewehrsschuss (Quelle: EMPA)

Die Folge hiervon ist, dass der Direktschall des Geschossknalls nur in einem abgegrenzten, V-förmigen Bereich vor dem Schützenhaus, feststellbar ist. Diese Fläche ist in den Abbildungen jeweils weiss dargestellt.

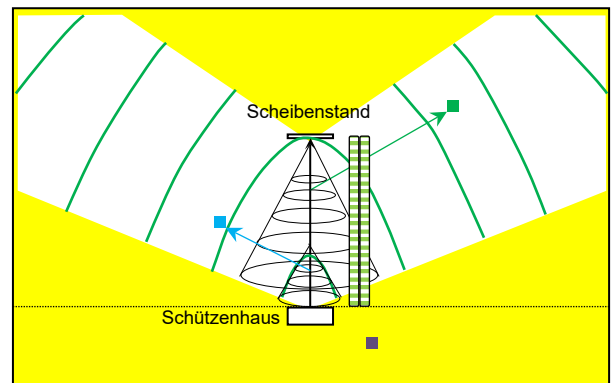


Abb. 9.8 Kegelförmige Ausbreitung Geschossknall (Geschossknallteppich)

Seitlich und hinter dem Schützenhaus sind allenfalls Reflexionen des Geschossknalls hörbar, nicht aber der Direktschall. Hinter resp. oberhalb des Scheibenstandes ist der Geschossknall ebenfalls nicht feststellbar, es sei denn der Empfangspunkt befindet sich topografisch sehr hoch über der Schusslinie und damit im räumlich sich ausbreitenden Geschossknallkegel (vgl. Abb. 9.9 und Abb. 9.10).



10. INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM	5
10.1 Einführung	5
10.2 Beurteilungspegel L_r'	5
10.3 Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]	5
10.4 Vergleich L_r' mit L_r	6
10.5 Ermittlung von L_r' mit dem «Phasen-» oder «Quellenmodell»	6
10.5.1 «Phasen-» vs. «Quellenmodell»	6
10.5.2 Beispiel mit dem «Phasenmodell»	6
10.5.3 Beispiel mit dem «Quellenmodell»	6
10.5.4 Interpretation der Resultate aus dem «Phasen-» resp. «Quellenmodell»	7
10.6 Berechnung typischer Teil-Immissionen von I-/G-Betrieben	7
10.6.1 Abstrahlender Schall eines Industriegebäudes	7
10.6.3 Immission bei bekanntem Schalleistungspegel L_w	8
10.6.4 Messtechnische Bestimmung des Schalleistungspegels L_w	8
10.6.5 Immission bei bekanntem Schalldruckpegel L	9
10.6.6 Berechnung Hinderniswirkung	9
10.7 Problematik von instationären Lärmimmissionen	9
10.8 Problematik von Fremdgeräuscheinwirkungen	10
10.9 Überlagernder Lärm	10
10.10 Wichtige Hinweise zum I-/G-Lärm	11
10.11 Vollzugshilfe zur Ermittlung und Beurteilung von I-/G-Lärm	12
10.11.1 Betriebstage bei saisonalem, unregelmässigem oder kurzzeitigen Betrieb	12
10.11.2 Vorbehalte für die zeitliche Mittelung	12
10.11.3 Mobiler Brecher innerhalb Werkhof	13
10.11.4 Änderungen der Betriebszeiten	13
10.11.5 Wohnen auf Betriebsareal	13
10.11.6 Temporär unbewohnte Gebäude, überbaute Parzellenbereiche	14
10.11.7 Tieffrequente Geräuschimmissionen	14
10.11.8 Unverhältnismässigkeit einer Überdeckung einer Garageneinfahrt	14
10.11.9 Beurteilung eines Landwirtschaftsbetriebs	14
10.11.10 Industrieanlage mit Prozessabluft	14
10.11.11 Ersatz einer Seilbahnanlage	15
10.11.12 Ferienwohnungen, Hotelzimmer, Restaurant	15
10.11.13 Beurteilung von Windenergieanlagen	15
10.11.14 Infraschall	15
10.11.15 Beurteilung des Wasserrücklaufs eines Wasserkraftwerks	15
10.12 Schalldämpfer	16
10.13 Wärmepumpen	16
10.13.1 Informationen der FALS zu Wärmepumpen	16
10.13.2 Vollzugshilfe CB zu Wärmepumpen	17
10.13.3 Formulare für Wärmepumpen-Lärmschutznachweise	17
10.14 Parkierungsanlagen / Tiefgaragenzufahrten	17
10.15 Lärm von öffentlichen Lokalen und Gastgewerbebetrieben	17
10.16 Lärm von Sportanlagen	17
10.17 Rechtsprechung I-/G-Lärm	18
10.18 Beispiel Berechnung Industrie-/ Gewerbelärm	18
10.18.1 Motivation	18
10.18.2 Massgebende Lärmquellen	18
10.18.3 Abstrahlender Schall eines Industriegebäudes	18
10.18.4 Teil-Immissionen Lüftungsaggregate	20
10.18.5 Messtechnische L_w -Bestimmung / Berechnung Immission eines Wasserkühlers	21
10.18.6 Immission der Parkierungsanlage	21
10.18.7 Immission Verkehr auf Betriebsareal	22
10.18.8 Berechnung des Beurteilungspegels L_r' für die gesamte I-/G-Anlage	22
10.19 Ergebnisse komplexer Lärmanalysen	23



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 10.1	Darstellung der verschiedenen Lärmphasen	6
Abb. 10.2	Abschirmmasse ΔL_z [dB, dB(A)] für die gerasterten Bauteile durch das Gebäude	7
Abb. 10.3	Hauptmikrofonpositionen zur Bestimmung von L_W mit einer Halbkugeloberfläche	9
Abb. 10.4	Mikrofonpositionen zur Bestimmung von L_W mit einem Bezugsquader	9
Abb. 10.5	Lärmbelastung während allen gemessenen Betriebsnächten	10
Abb. 10.6	Typische Lärmbelastung während Betriebsnacht / betriebsfreier Nacht	10
Abb. 10.7	Situation überlagernder Industrie- & Strassenlärm	11
Abb. 10.8	Prinzip eines Schalldämpfers	16
Abb. 10.9	Kulissen-Schalldämpfer für tiefe Frequenzen	16
Abb. 10.10	Kulissen-Schalldämpfer für niedrige und hohe Frequenzen	16
Abb. 10.11	Kulissen-Schalldämpfer für hohe Frequenzen	16
Abb. 10.12	Prinzip Resonanz-Dämpfung	16
Abb. 10.13	Schalldämpfer Larsenvibriermaschine, Firma Murer, Beckenried	16
Abb. 10.14	Massgebende Schallquellen (Google earth)	18
Abb. 10.15	Schallabstrahlende Fassade und Empfangspunkt (Ansicht) (Google earth)	18
Abb. 10.16	Schallabstrahlende Fassade mit geschlossenen und offenen Fenstern (Google earth)	18
Abb. 10.17	Schallabstrahlende Fassade und Empfangspunkt (Situation)	18
Abb. 10.18	Schallabstrahlende Fassade und Empfangspunkt (Isometrie)	19
Abb. 10.19	Massgebende Reflexionsflächen (blau) an den Treppenhaufassaden (Situation)	19
Abb. 10.20	Schallabstrahlendes Flachdach und Empfangspunkt (Isometrie)	19
Abb. 10.21	Massgebende Reflexionsfläche (grün) an Fassade Verwaltungsgebäude (Situation)	19
Abb. 10.22	Massgebende Reflexionsfläche (grün) an Fassade Verwaltungsgebäude (Isometrie)	19
Abb. 10.23	Schallabstrahlende Lüftungsaggregate (Q_1 und Q_2) (Google earth)	20
Abb. 10.24	Vor Ort gemessene Schallleistungsspektren Quellen 1 und 2	20
Abb. 10.25	Quellen 1 und 2, massgebende Reflexionsfläche und Empfangspunkt (Situation)	20
Abb. 10.26	Bezugsquader und Messfläche bei einem grossen Wasserkühlaggregat (Google earth)	21
Abb. 10.27	Gemittelt, gemessenes Spektrum auf der Messfläche des Wasserkühlaggregates	21
Abb. 10.28	Parkierungsanlage (Google earth)	21
Abb. 10.29	Parkierungsanlage (Situation)	21
Abb. 10.30	Massgebende Fläche für Verkehr auf Betriebsareal (Google earth)	22
Abb. 10.31	Massgebende Fläche für Verkehr auf Betriebsareal (Situation)	22
Abb. 10.32	Lärm-Isophonen eines Industriebetriebes (Stahlwerk)	23
Abb. 10.33	Orthophoto Industriebetrieb (Stahlwerk)	23
Abb. 10.34	Lärm-Isophonen eines Industriebetriebes (Garnwerk)	23
Abb. 10.35	Orthophoto Industriebetrieb (Garnwerk)	23

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abkürzungen:

AW:	Alarmwert
AW:	Aussenwand
B:	Lärmempfindliche Betriebsräume
B:	Ø Anzahl Parkierungsvorgänge pro Stunde und (Einzel-)Parkplatz
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BQ:	Bezugsquader
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
c:	Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s)
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
e:	Natürliche Zahl ($e = 2.71828...$)
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
Fast:	Messung mit der Zeitkonstante Fast (Zeitkonstante = 125 ms)
FD:	Flachdach
FG:	Fremdgeräusch
gF:	Geschlossenes Fenster
h _m :	Mittlere Höhe des Schallstrahls über Boden [m]
i:	Lärmphase (Zeitabschnitt, an dem am Immissionsort ein nach Schallpegelhöhe sowie Ton- und Impulsgehalt einheitlicher Lärm einwirkt)
IGW:	Immissionsgrenzwert
I-/G:	Industrie- oder Gewerbebetrieb resp. Industrie- oder Gewerbelärm
K ₁ :	Allgemeine Pegelkorrektur für Industrie- und Gewerbelärm
K ₂ :	Pegelkorrektur für die Hörbarkeit des Tongehalts im Lärm am Immissionsort
K ₃ :	Pegelkorrektur für die Hörbarkeit des Impulsgehalts im Lärm am Immissionsort
K ₄ :	Pegelkorrektur für die Zeitdauer der Lärmphase i
K:	Fremdgeräuschkorrektur [dB], [dB(A)]
K _P :	Pegelkorrektur Parksuchverkehr [dB(A)]
L:	Schalldruckpegel, Schallpegel [dB], [dB(A)]
L _{pFA} :	A-bewerteter Messflächen-schalldruckpegel [dB], [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L _G :	Grundwert [dB(A)]
L _H :	Mittlerer Halleninnenpegel [dB], [dB(A)]
L _M :	Mengenzuschlag [dB(A)]
L _R :	Reflexionseinfluss [dB], [dB(A)]
L _r :	Belastungsgrenzwert für Industrie- und Gewerbelärm (AW, IGW, PW) (vgl. Anhang 6 LSV)
L _{r'} :	Beurteilungspegel für Industrie- und Gewerbelärm [dB(A)] (vgl. Anhang 6 LSV)
L _{r'i} :	Teil-Beurteilungspegel der Lärmphase [dB(A)] (vgl. Anhang 6 LSV); (Lärmphase mit gleichartigem Lärm)
L _w :	Schallleistungspegel [dB], [dB(A)]
L _{w PP} :	Schallleistungspegel pro Parkplatz, Parkierungsvorgang und Stunde [dB(A)]
ΔL:	Schallpegeldifferenz resp. Differenz Quellen-/ Fremdgeräusch [dB], [dB(A)]
ΔL _A :	Korrektur A-Filter [dB]
ΔL _{Bo} :	Bodeneffekt [dB], [dB(A)]
ΔL _{Diff} :	Dämpfung als Folge der Absorption resp. des diffus reflektierten Schalls an reflektierender Fläche [dB]
ΔL _H :	Hinderniswirkung [dB], [dB(A)]
ΔL _L :	Luftdämpfung [dB], [dB(A)]
ΔL _M :	Verkehrsmengenzuschlag [dB(A)]
ΔL _φ :	Aspektwinkelverlust [dB(A)]
ΔL _s :	Abstandsmass resp. Abstandsdämpfung [dB], [dB(A)]
ΔL _{s,w} :	Abstandsdämpfung bei bekanntem Schallleistungspegel [dB], [dB(A)]
ΔL _z :	Abschirmmass [dB, dB(A)]
log:	Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
LSW:	Lärmschutzwand
λ:	Wellenlänge [m]
MF:	Messfläche [m ²]



N:	Fresnel'sche-Zahl [-]
N:	Anzahl Fahrzeuge [Fz/h]
η :	Anteil lauter Fahrzeuge [%]
oF:	Offenes Fenster
π :	PI (Konstante = 3.141....)
ϕ :	Aspektwinkel [°]
PA:	Parkierungsanlage
PF:	Parkierungsfläche
PP:	(Einzel-) Parkplatz
PW:	Planungswert
Q:	Richtfaktor
r:	Abstand zur Schallquelle [m]
R':	Am Bau gemessenes Schalldämmmass des Bauteils [dB]
R'w:	Am Bau gemessenes, bewertetes (Bau-) Schalldämmmass des Bauteils [dB]
R'w res.:	Resultierende Schalldämmung mehrerer Bauteile [dB]
R:	Reflexion
S:	Bauteilfläche [m ²]
S:	Messfläche [m ²]
S ₀ :	Bezugsfläche 1 m ²
s:	Abstand Quelle zum Immissionsort [m]
s _m :	Mittlerer Abstand vom Bauteil zum Immissionsort [m]
t _i :	Durchschnittliche tägliche Dauer der Lärmphase i
t ₀ :	Bezugszeitraum: 7 – 19 Uhr resp. 19 – 7 Uhr, 12 h = 720 min = 14'400 s
T:	Mittlere Nachhallzeit [s], vgl. Kap. 15
TN:	Treppenhaus Nord
TS:	Treppenhaus Süd
V:	Hallenvolumen [m ³]
v:	Geschwindigkeit [km/h]
VG:	Verwaltungsgebäude
W:	Lärmempfindliche Wohnräume
WK:	Wasserkühlaggregat
z:	Schirmwert QH + HE - QE [m]
QH:	Quelle – Hinderniskante [m]
HE:	Hinderniskante – Empfangspunkt [m]
QE:	Quelle – Empfangspunkt [m]
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Danke an Walter Lips für seine Unterstützung und die langjährigen fachlichen Kontakte.

Nachfolgend sind die einige spezifische Probleme und Gesetzmässigkeiten des Industrie- und Gewerbelärms angegeben. Weitere Unterlagen zur Akustik, über das USG und die LSV, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.



10. INDUSTRIE- UND GEWERBELÄRM

10.1 Einführung

Allgemeingültige Aussagen über die Charakteristiken des Lärms von Industrie- und Gewerbebetrieben zu machen, ist kaum möglich und sinnvoll. Jeder Betrieb ist individuell zu analysieren und einzeln lärmtechnisch zu beurteilen. Selbst gleichartige Betriebe derselben Branche weisen grösste Unterschiede hinsichtlich den Lärmemissionen auf. Praktisch keine Industrie- oder Gewerbeanlage ist technisch, betrieblich, baulich, kapazitätsmässig, infrastrukturell, situationsmässig mit einer anderen Anlage zu vergleichen.

Industrie- und Gewerbelärm gehört zu den kompliziertesten Lärmarten die es gibt. Es ist selten, dass innerhalb eines Betriebes nur eine Lärmquelle vorhanden und von Bedeutung ist. Meist sind es zahlreiche einzelne Lärmquellen, wie beispielsweise stationäre Fabrikationsmaschinen, bewegliche Anlagen, mobile Transporteinrichtungen, aufgebaute Aggregate und Ventilatoren, Güterumschlagplätze, Parkieranlagen, usw., usw., die sich lärmtechnisch überlagern, zeitweise ergänzen oder abwechseln. Kommt hinzu, dass dort in kaum erfassbaren Zeiten Tore oder Fenster geöffnet oder geschlossen, Maschinen oder Geräte ein- bzw. ausgeschaltet, die Leistung der Aggregate verändert, neue Apparate installiert und betrieben sowie alte Anlagenteile ausgewechselt werden.

10.2 Beurteilungspegel L_r

Analog zu anderen Lärmarten ist in der [LSV](#) auch für den Lärm von Industrie- und Gewerbeanlagen ein Beurteilungspegel L_r sowie ein entsprechendes Belastungsgrenzwertschema festgelegt (vgl. Anhang 6 LSV und Kap. [10.3](#)).

Der Beurteilungspegel L_r , welcher das individuelle Störmass einer Anlage berücksichtigen soll, ist im Vergleich mit dem Strassen- oder Eisenbahnlärm etwas komplizierter definiert.

$$L_r = 10 \cdot \log \left\{ \frac{L_{r1}^2/10}{10} + \frac{L_{r2}^2/10}{10} + \dots + \frac{L_{ri}^2/10}{10} \right\}$$

$$L_{ri} = L_{eqi} + K_{1i} + K_{2i} + K_{3i} + K_{4i}$$

L_r : Beurteilungspegel gesamte Anlage [dB(A)]
(vgl. Anhang 6 LSV)

L_{ri} : Beurteilungspegel der Lärmphase i (Lärmphase mit gleichartigem Lärm) [dB(A)]

i: Lärmphasen (Zeitabschnitte, an denen am Immissionsort ein nach Schallpegelhöhe sowie Ton- und Impulsgehalt einheitlicher Lärm einwirkt)

K_1 : Allgemeine Pegelkorrektur:
Die Pegelkorrektur K_1 beträgt:
5 dB(A): Für den Lärm von Anlagen der Industrie, des Gewerbes und der Landwirtschaft und des Güterumschlages bei Anlagen der Industrie, des Gewerbes und der Landwirtschaft sowie bei Bahnhöfen und Flugplätzen;
0 dB(A): Für den Lärm des Verkehrs auf dem Betriebsareal von Industrie- und Gewerbeanlagen sowie auf dem Hofareal von Landwirtschaftsbetrieben;
0 dB(A): Für den Lärm von Parkhäusern sowie von grösseren Parkplätzen ausserhalb von Strassen im Tageszeitraum (7 – 19 Uhr) resp.
5 dB(A): im Nachtzeitraum (19 – 7 Uhr);
5 dB(A): Für den Lärm von Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage im Tageszeitraum (7 – 19 Uhr) resp.
10 dB(A): im Nachtzeitraum (19 – 7 Uhr)

K_2 : Pegelkorrektur für die Hörbarkeit des Tongehalts im Lärm am Immissionsort:
Die Pegelkorrektur K_2 beträgt:
0 dB(A): bei nicht hörbarem Tongehalt
2 dB(A): bei schwach hörbarem Tongehalt
4 dB(A): bei deutlich hörbarem Tongehalt
6 dB(A): bei stark hörbarem Tongehalt

K_3 : Pegelkorrektur für die Hörbarkeit des Impulsgehalts im Lärm am Immissionsort:
Die Pegelkorrektur K_3 beträgt:
0 dB(A): bei nicht hörbarem Impulsgehalt
2 dB(A): bei schwach hörbarem Impulsgehalt
4 dB(A): bei deutlich hörbarem Impulsgehalt
6 dB(A): bei stark hörbarem Impulsgehalt

K_4 : Pegelkorrektur für die Zeitdauer der Lärmphase i:
Die Pegelkorrektur K_4 beträgt:
 $K_4 = 10 \cdot \log(t_i/t_0)$
 t_i : Durchschnittliche tägliche Dauer der Lärmphase
 t_0 : Bezugszeitraum: 7 – 19 Uhr resp. 19 – 7 Uhr
12 h = 720 min = 14'400 s

Zu beachten ist, dass die Beurteilungszeiträume beim I-/G-Lärm nicht identisch sind mit dem Strassen- und Eisenbahnlärm, sondern tags von 7 – 19 Uhr resp. nachts von 19 – 7 Uhr dauern.

10.3 Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]

Die für den Industrie- und Gewerbelärm geltenden Belastungsgrenzwerte (Planungswerte, Immissionsgrenzwerte und Alarmwerte) gehen aus [LSV](#) Anhang 6 resp. der nachfolgenden Tabelle hervor.

ES	PW L_r [dB(A)]	IGW L_r [dB(A)]	AW L_r [dB(A)]
I	50	40	55
II	55	45	60
III	60	50	65
IV	65	55	70

L_r : Belastungsgrenzwert für Industrie- und Gewerbelärm (vgl. Anhang 6 LSV)

PW: Planungswert

IGW: Immissionsgrenzwert

AW: Alarmwert

ES: Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)



10.4 Vergleich L_r' mit L_r

Gesetzliche Bedingungen:

$L_r' \leq L_r \Rightarrow$ eingehalten

$L_r' > L_r \Rightarrow$ nicht eingehalten

L_r' : Beurteilungspegel [dB(A)]

L_r : Massgebender Belastungsgrenzwert [dB(A)]

10.5 Ermittlung von L_r' mit dem «Phasen-» oder «Quellenmodell»

10.5.1 «Phasen-» vs. «Quellenmodell»

Anhang 6 der LSV geht davon aus, dass die Lärmimmissionen eines I-/G-Betriebs typischen Lärmphasen zugeordnet werden können und für jede Phase ein Teil-Beurteilungspegel $L_{r,i}$ bestimmt werden kann.

Lärmphasen sind Zeitabschnitte, an denen am Immissionsort ein nach Schallpegelhöhe sowie Ton- und Impulsgehalt einheitlicher Lärm einwirkt.

Während dem bei einem bestehenden Betrieb das «Phasenmodell» allenfalls angewandt werden kann, ist dies bei einer Prognose für eine neue Anlage in der Regel nicht möglich. Auch bei bestehenden Betrieben ist das «Phasenmodell» aufgrund komplexer und schneller Abläufe oftmals nicht möglich. Als Alternative kommt das «Quellenmodell» zur Anwendung. Bei diesem wird ein Teil-Beurteilungspegel $L_{r,i}$ je Lärmquelle bestimmt.

10.5.2 Beispiel mit dem «Phasenmodell»

Nachfolgend ist eine Analyse mit dem «Phasenmodell» an einem theoretischen Beispiel illustriert.

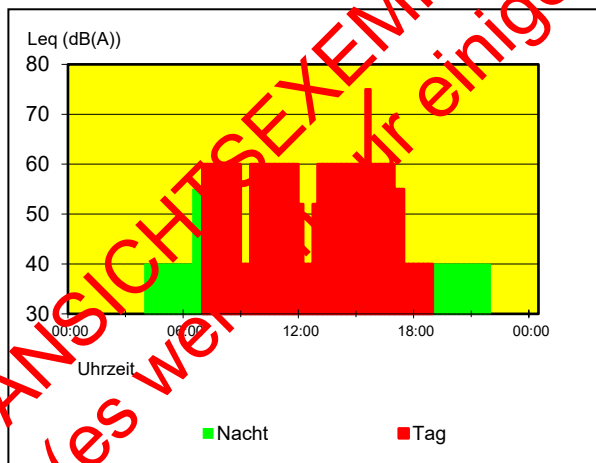


Abb. 10.1 Darstellung der verschiedenen Lärmphasen

Tabelle Lärmphasen:

Nr.	Phase	Dauer [Uhrzeit]	L_{eq} [dB(A)]
1	Lüftungsanlage	04:00 - 06:30 09:00 - 09:30 12:15 - 12:45 17:30 - 22:00	40 ^{*)}
2a	Lüftungsanlage, Verkehr auf Betriebsareal	06:30 - 07:00 17:00 - 17:30	55
2b	Lüftungsanlage, reduzierter Verkehr auf Betriebsareal (Mittag)	12:00 - 12:15 12:45 - 13:00	52
3	Fabrikation	07:00 - 09:00 09:30 - 12:00 13:00 - 15:30 15:45 - 17:00	60
4	Umschlag Rampe	15:30 - 15:45	75 ^{**) (75 ^{*)}}

^{*)} Im Nachtzeitraum schwach hörbarer Tongehalt

^{**)} Deutlich hörbarer Impulsgehalt

Beurteilungszeitraum nachts (19 bis 7 Uhr):

$$\begin{aligned}
 L_{r,1} &= 40 + 10 + 2 + 0 - 3.3 = 48.7 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,2a} &= 55 + 0 + 0 + 0 - 13.8 = 41.2 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,nachts} &= 49.4 \text{ dB(A)}
 \end{aligned}$$

Beurteilungszeitraum tags (7 bis 19 Uhr):

$$\begin{aligned}
 L_{r,1} &= 40 + 5 + 0 + 0 - 6.8 = 38.2 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,2a} &= 55 + 0 + 0 + 0 - 10.8 = 44.2 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,2b} &= 52 + 0 + 0 + 0 - 13.8 = 38.2 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,3} &= 60 + 5 + 0 + 0 - 1.6 = 63.4 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,4} &= 75 + 5 + 0 + 4 - 16.8 = 67.2 \text{ dB(A)} \\
 L_{r,tags} &= 68.7 \text{ dB(A)}
 \end{aligned}$$

Lärmbeurteilung im Tages- und Nachtzeitraum:

L_r = IGW / ESIII / Wohnraum

L_r = 65 dB(A) tags / 55 dB(A) nachts

$L_{r,tags} = 69 \text{ dB(A)} > L_r = 65 \text{ dB(A)}$:

\Rightarrow Bedingung USG / LSV **nicht** erfüllt

$L_{r,nachts} = 49 \text{ dB(A)} << L_r = 55 \text{ dB(A)}$:

\Rightarrow Bedingung USG / LSV gut erfüllt

10.5.3 Beispiel mit dem «Quellenmodell»

Nachfolgend ist mit denselben Daten eine Analyse mit dem «Quellenmodell» illustriert.

Tabelle Lärmphasen:

Nr.	Quelle	Dauer [Uhrzeit]	L_{eq} [dB(A)]
A	Lüftungsanlage	04:00 - 22:00	40 ^{*)}
B1	Verkehr auf Betriebsareal	06:30 - 07:00 17:00 - 17:30	55
B2	reduzierter Verkehr auf Betriebsareal (Mittag)	12:00 - 12:15 12:45 - 13:00	52
C	Fabrikation	07:00 - 09:00 09:30 - 12:00 13:00 - 17:00	60
D	Umschlag Rampe	15:30 - 15:45	75 ^{**) (75 ^{*)}}

^{*)} Im Nachtzeitraum schwach hörbarer Tongehalt

^{**)} Deutlich hörbarer Impulsgehalt

Beurteilungszeitraum nachts (19 bis 7 Uhr):

$$\begin{aligned} L'_{rA} &= 40 + 10 + 2 + 0 - 3.0 = 49.0 \text{ dB(A)} \\ L'_{rB1} &= 55 + 0 + 0 + 0 - 13.8 = 41.2 \text{ dB(A)} \\ L'_{rnachts} &= 49.7 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

Beurteilungszeitraum tags (7 bis 19 Uhr):

$$\begin{aligned} L'_{rA} &= 40 + 5 + 0 + 0 + 0.0 = 45.0 \text{ dB(A)} \\ L'_{rB1} &= 55 + 0 + 0 + 0 - 13.8 = 41.2 \text{ dB(A)} \\ L'_{rB2} &= 52 + 0 + 0 + 0 - 13.8 = 38.2 \text{ dB(A)} \\ L'_{rC} &= 60 + 5 + 0 + 0 - 1.5 = 63.5 \text{ dB(A)} \\ L'_{rD} &= 75 + 5 + 0 + 4 - 16.8 = 67.2 \text{ dB(A)} \\ L'_{rtags} &= 68.8 \text{ dB(A)} \end{aligned}$$

Lärmbeurteilung im Tages- und Nachtzeitraum:

$L_r = \text{IGW} / \text{ESIII} / \text{Wohnraum}$
 $L_r = 65 \text{ dB(A) tags} / 55 \text{ dB(A) nachts}$

$L'_{rtags} = 69 \text{ dB(A)} > L_r = 65 \text{ dB(A)}$
 \Rightarrow Bedingung USG / LSV **nicht** erfüllt

$L'_{rnachts} = 49 \text{ dB(A)} << L_r = 55 \text{ dB(A)}$
 \Rightarrow Bedingung USG / LSV gut erfüllt

10.5.4 Interpretation der Resultate aus dem «Phasen-» resp. «Quellenmodell»

Die Ergebnisse der beiden Modelle stimmen oftmals nicht überein, weil die Pegelkorrekturen unterschiedlich zum Tragen kommen. Dies zeigen die beiden vorstehenden Beispiele, wenn gleich die Unterschiede hier mit +0.3 dB(A) nachts und +0.1 dB(A) tags nicht sehr deutlich sind.

Tendenziell resultieren mit dem «Quellenmodell» – vor allem bei Prognosen – höhere Beurteilungspegel, weil in der Praxis resp. bei der Beurteilung vor Ort geringere Zuschläge für die Ton- und Impulshaltigkeit motiviert werden, was grösstenteils auf Maskierungseffekte von den betrieblichen Quellen, aber auch von Fremdgehörerscheinungen zurückgeführt werden kann. Zudem neigen die Lärmschutzgutachter eher dazu, bei Prognosen zu hohe Pegelkorrekturen aufgrund der zu erwartenden Ton- und Impulshaltigkeit festzulegen. Es werden oftmals auch für dieselbe Quelle gleichzeitig deutlich hörbare Ton-, als auch Impulshaltigkeiten erwartet, was in der Praxis aber nur selten vorkommt.

10.6 Berechnung typischer Teil-Immissionen von I-/G-Betrieben**10.6.1 Abstrahlender Schall eines Industriegebäudes**

Ausgehend von bekannten Emissionsverhältnissen im Gebäudeinnern können die Immissionen eines Industriegebäudes, resp. die Teil-Immissionen schallabstrahlender Bauteile wie folgt abgeschätzt werden:

Berechnungsgrundlagen:

- VDI 2571 Schallabstrahlung von Industriebauten
- DIN EN 12354-4 (Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie)
- VDI 2714 Schallausbreitung im Freien

$$L_H \approx L_w + 14 + 10 \cdot \log \left\{ \frac{T}{V} \right\} \quad [\text{dB}, \text{dB(A)}]$$

Rechnung mit Mittelwerten:

$$L_{eq} \approx L_H - R'_w - 4 - \Delta L_s - \Delta L_z \quad [\text{dB(A)}]$$

Rechnung in einzelnen Frequenzbändern (z.B. Oktaven):

$$L_{eq} \approx L_H - R' - 6 - \Delta L_s - \Delta L_z \quad [\text{dB}]$$

$$\Delta L_s = 10 \cdot \log \left\{ \frac{2 \pi S_m^2}{S} \right\} \quad [\text{dB}, \text{dB(A)}]$$

$$\Delta L_z = 0 \text{ bis } 20 \text{ dB(A)} \quad [\text{dB}, \text{dB(A)}]$$

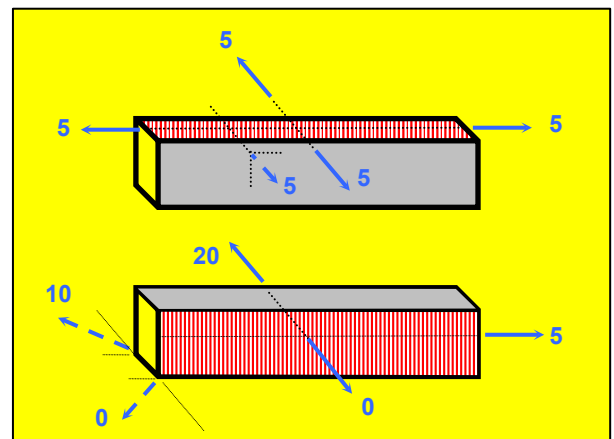
 L_H : Mittlerer Halleninnerer Pegel [dB, dB(A)] L_w : Schalleistungspegel der Maschine(n) [dB, dB(A)] T : Mittlere Nachhallzeit [s], vgl. Kap. 15 V : Hallenvolumen [m³] L_{eq} : Mittelungspegel des schallabstrahlenden Bauteils am Immissionsort [dB, dB(A)] R'_w : Bewertetes (Bau-) Schalldämmmass des Bauteils [dB] R' : Schalldämmmass des Bauteils [dB] ΔL_s : Abstandsmass resp. Abstandsdämpfung [dB, dB(A)] S_m : Mittlerer Abstand vom Bauteil zum Immissionsort [m] S : Bauteilfläche [m²] ΔL_z : Abschirmmass [dB, dB(A)]

Abb. 10.2 Abschirmmasse ΔL_z [dB, dB(A)] für die gerasterten Bauteile durch das Gebäude

Hinweis: Die einzelnen ΔL_z -Werte gelten jeweils für die in Pfeilrichtung liegenden Immissionsorte.

Praxisbezogene Beispiele für die Berechnung der Teil-Immissionen schallabstrahlender Bauteile finden sich in Kap. 10.18.3.



11. FLUGLÄRM

11. FLUGLÄRM

4

11.1	Einführung	4
11.2	Lärminderung bei Luftfahrzeugen.....	4
11.3	Richtcharakteristik	5
11.4	Stark unterschiedliche Emissionen verschiedener Militärflugzeuge	5
11.5	Zivile Mitbenutzung von Militärflugplätzen.....	5
11.6	Beurteilungspegel L_r' [dB(A)]	6
11.6.1	$L_{r,Z,k'}$ für den Lärm des Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen	6
11.6.2	$L_{r,Z'}$ für den Lärm des Gesamtverkehrs von Kleinluftfahrzeugen und Grossflugzeugen ...	6
11.6.3	L_{max}' für den Lärm von Helikopterflugplätzen	6
11.6.4	$L_{r,M'}$ für Militärflugplätze	6
11.7	Belastungsgrenzwerte L_r [dB(A)]	7
11.7.1	$L_{r,Z,k}$ für den Lärm des Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen	7
11.7.2	$L_{r,Z}$ für den Lärm des Gesamtverkehrs von Kleinluftfahrzeugen und Grossflugzeugen	7
11.7.3	$L_{max,Z}$ für den Lärm von Helikopterflugplätzen.....	8
11.7.4	$L_{r,M}$ für Militärflugplätze	8
11.8	Vergleich L_r' mit L_r	8
11.9	Lärmbelastungskataster	8
11.9.1	Zuständigkeiten	8
11.9.2	Lärmbelastungskataster zivile Flugplätze	8
11.9.3	Lärmbelastungskataster Militärflugplätze.....	9
11.10	Interessante private Lärmmessungen (2020 / 2021)	9

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 11.1	Spektren verschiedener Flugzeuge	4
Abb. 11.2	Richtcharakteristik F/A-18 „Hornet“	5
Abb. 11.3	Emissionen von bisher eingesetzten Militärflugzeugen	5
Abb. 11.4	Energieäquivalenter Lärm verschiedener Flugzeugtypen	5
Abb. 11.5	Lärmbelastungskataster Flugplatz Triengen LU (Landeskarte)	8
Abb. 11.6	Lärmbelastungskataster Helikopterflugplatz Haltikon SZ (Orthophoto) (Stand 2016).....	8
Abb. 11.7	Lärmbelastungskataster Flugplatz Zürich-Kloten (ohne Hintergrundkarte) (Stand 2016)	9
Abb. 11.8	Lärmbelastungskataster Flugplatz Zürich-Kloten (Landeskarte) (Stand 2016)	9
Abb. 11.9	Lärmbelastungskataster Flugplatz Zürich-Kloten (Landeskarte) (Stand 2016)	9
Abb. 11.10	Lärmbelastungskurven Militärflugplatz Emmen LU (Stand 2000)	9
Abb. 11.11	Pegel-Zeitverlauf des Start's von 2x3 Jet's am Pistenrand	10
Abb. 11.12	dito, jedoch nur Startphase ausgewertet	10
Abb. 11.13	Pegel-Zeitverlauf des Start's von 2x3 Jet's seitlich der Piste, Auswertung inkl. Reflexionen	10
Abb. 11.14	dito, jedoch Auswertung ohne Reflexionen	10
Abb. 11.15	Pegel-Zeitverlauf des Start's eines FA-18 seitlich der Piste, Auswertung inkl. Reflexionen	10
Abb. 11.16	dito, Auswertung ohne Reflexionen	10



Abkürzungen:

AW:	Alarmwert
B:	Lärmempfindliche Betriebsräume
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BAZL:	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
IGW:	Immissionsgrenzwert
L:	Schalldruckpegel, Schallpegel [dB] [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L_{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L_r :	Belastungsgrenzwert für Fluglärm (AW, IGW, PW) (vgl. Anhang 5 resp. 8 LSV)
L_r' :	Beurteilungspegel für Fluglärm [dB(A)] (vgl. Anhang 5 resp. 8 LSV)

Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen:

$L_{r,Z,k}$:	Belastungsgrenzwert für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 21 LSV)
$L_{r,Z,k}'$:	Beurteilungspegel für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 31 LSV)
$L_{eq,Z,k}$:	Mittelungspegel für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinflugzeugen für die durchschnittliche Zahl der stündlichen Flugbewegungen (Flugbewegungszahl n) für einen Tag mit durchschnittlichem Spitzenbetrieb [dB(A)]
n :	Flugbewegungszahl für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinflugzeugen; $n = (N_1 + N_2)/(2 \cdot 12)$ [-]
N_1, N_2 :	Flugbewegungszahl für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinflugzeugen als Tagesmittelwerte der beiden verkehrsreichsten Wochentage [-]
K :	Pegelkorrektur für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinflugzeugen (vgl. Anhang 5, Ziffer 34 LSV)

Lärm des (zivilen) Gesamtverkehrs auf zivilen Flugplätzen mit Grossflugzeugen:

$L_{r,Z,t}$:	Belastungsgrenzwert tags für den Lärm des gesamten (zivilen) Verkehrs auf zivilen Flugplätzen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 22 LSV)
$L_{r,Z,n}$:	Belastungsgrenzwert nachts für den Lärm des gesamten (zivilen) Verkehrs auf zivilen Flugplätzen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 22 LSV)
$L_{r,Z,t}'$:	Beurteilungspegel für den Lärm des (zivilen) Gesamtverkehrs auf zivilen Flugplätzen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV)
$L_{r,Z,g}'_{Tag}$:	Beurteilungspegel tags für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Grossflugzeugen [dB(A)]
$L_{eq,g,Tag}$:	A-bewerteter Mittelungspegel [dB(A)], der durch den Betrieb von Flugzeugen in der Zeit von 06 – 22 Uhr im Jahresmittel verursacht wird, $L_{r,Z,g}'_{Tag} = L_{eq,g,Tag}$ (vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV)
$L_{r,Z,g}'_{Nacht}$:	Beurteilungspegel nachts für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Grossflugzeugen für die erste, zweite und letzte Nachtstunde [dB(A)]
$L_{eq,g,Nacht}$:	A-bewerteter Mittelungspegel [dB(A)], der durch den Betrieb von Flugzeugen in der Zeit von 22 – 23 Uhr, 23 – 24 Uhr und 05 – 06 Uhr im Jahresmittel verursacht wird, $L_{r,Z,g}'_{Nacht} = L_{eq,g,Nacht}$ (vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV)

Lärm des (zivilen) Helikopterverkehrs auf zivil genutzten Helikopterflugplätzen:

L_{max} :	Belastungsgrenzwert für den Lärm von zivil genutzten Helikopterflugplätzen [dB(A,S)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 23 LSV)
L_{max}' :	Mittlerer maximaler Lärmpegel bei Helikopterflugplätzen als energetisches Mittel der maximalen Lärmpegel einer repräsentativen Anzahl Über- oder Vorbeiflüge [dB(A,S)] (vgl. LSV Anhang 5, Ziffer 5)

**Lärm für ggf. zivil mitgenutzten Militärflugplatz:**

- $L_{r,M}$: Belastungsgrenzwert für Militärflugplatz [dB(A)] (vgl. Anhang 8 LSV, Ziffer 21)
 $L_{r,M}'$: Gesamt-Beurteilungspegel für den ggf. zivil mitgenutzten Militärflugplatz [dB(A)] (vgl. Anhang 8, Ziffer 3 LSV)
 $L_{r,m}'$: Beurteilungspegel für den Lärm von militärischen Flugzeugen mit Strahlantrieb ($L_{r,j}'$) und mit Propellerantrieb ($L_{r,p}'$) [dB(A)] (vgl. Anhang 8, Ziffer 31 LSV)
 $L_{r,j}'$: Teil-Beurteilungspegel für die militärischen Flugzeuge mit Strahlantrieb [dB(A)];
 $L_{r,j}' = L_{eq,j} + K_0 + K_1$ (vgl. Anhang 8, Ziffer 31 LSV)
 $L_{eq,j}$: A-bewerteter Mittelungspegel [dB(A)] für die durchschnittliche Zahl der stündlichen Flugbewegungen mit Strahlantrieb für einen Tag mit durchschnittlichem Betrieb
 M_j : Flugbewegungen von Flugzeugen mit Strahlantrieb der sechs verkehrsreichsten Monate eines Betriebsjahres [-]
 n_j : Gemittelte Flugbewegungszahl mit Strahlantrieb pro Stunde, $n_j = M_j / (12 \cdot 130)$ [-]
 N_j : Jährliche Flugbewegungszahl von militärischen Flugzeugen mit Strahlantrieb [-]
 K_0 : Allgemeine Pegelkorrektur für Militärfluglärm, $K_0 = -8$ dB(A)
 K_1 : Pegelkorrektur für die jährliche Flugbewegungszahl von militärischen Flugzeugen mit Strahlantrieb
 $L_{r,p}'$: Teil-Beurteilungspegel für die militärischen Flugzeuge mit Propellerantrieb [dB(A)];
 $L_{r,p}' = L_{eq,p} + K_0 + K_2$ (vgl. Anhang 8, Ziffer 31 LSV)
 $L_{eq,p}$: A-bewerteter Mittelungspegel [dB(A)] für die durchschnittliche Zahl der stündlichen Flugbewegungen mit Propellerantrieb für einen Tag mit durchschnittlichem Betrieb
 M_p : Flugbewegungen von Flugzeugen mit Propellerantrieb der sechs verkehrsreichsten Monate eines Betriebsjahres [-]
 n_p : Gemittelte Flugbewegungszahl mit Propellerantrieb pro Stunde, $n_p = M_p / (12 \cdot 130)$ [-]
 N_p : Jährliche Flugbewegungszahl von militärischen Flugzeugen mit Propellerantrieb [-]
 K_2 : Pegelkorrektur für die jährliche Flugbewegungszahl von militärischen Flugzeugen mit Propellerantrieb

 USG: Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz ([SR 814.01](#))
 LSV: Lärmschutz-Verordnung ([SR 814.01](#))

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Nachfolgend sind die einige Gesetzmässigkeiten zum Fluglärm angegeben. Die Ausführungen werden sehr kurz gehalten, zumal der Skript-Verfasser nicht allzu grosse praktische Erfahrungen in dieser Lärmart hat. Spezifische Unterlagen zur Akustik, über das USG und die LSV, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.



11. FLUGLÄRM

11.1 Einführung

Die Lärmimmissionen vom Flugverkehr sind intensitätsmässig sehr viel grösser als jene von anderen Verkehrsmitteln. Die zivile Luftfahrt hat in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen und es werden heute im überwiegenden Teil Strahltriebwerkflugzeuge eingesetzt, die sehr hohe Schallenergien abstrahlen. Massgebend ist nicht nur der Lärm der zivilen Linienluftfahrt, sondern auch der Militärfluglärm (z. B. Flugplätze Emmen, Payerne), der Lärm der Kleinaviatik (z.B. Flugfelder Birrfeld, Triengen und Beromünster), der Lärm von Helikopterlandeplätzen (z.B. Hiltikon) und der Lärm von Modellflugpisten.

Betroffen vom Fluglärm sind jene Menschen, die auf den Flugplätzen arbeiten und vor allem aber auch diejenigen, die in der Umgebung ihren Wohnsitz oder ihren Arbeitsplatz haben. Die Interessen des Lärmschutzes sind gegen die Interessen der Wirtschaft abzuwägen. Das Debakel bei der ehemaligen Swissair hat uns vor Augen geführt, dass allein der Flughafen Zürich-Kloten insgesamt über 40'000 Arbeitnehmern direkt oder indirekt einen Arbeitsplatz verschafft.

Die An- und Abflugschneisen sind bezüglich dem resultierenden Fluglärm als besonders kritisch zu bezeichnen. Dies wird dadurch verdeutlicht, dass ein Düsentriebwerk in einer Entfernung von 150 m immer noch ein Schalldruckpegel von über 130 dB(A) erzeugen kann.

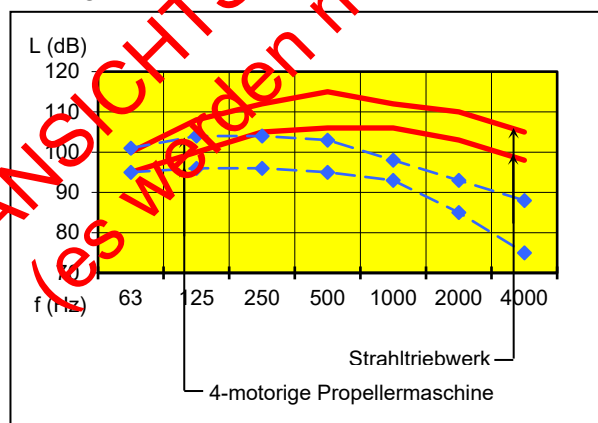


Abb. 11.1 Spektren verschiedener Flugzeuge

Nachbrenner, die zur Erhöhung der Schubleistung bei Militärflugzeugen zum Einsatz gelangen, können den Gesamtschallpegel zusätzlich um ca. 10 dB(A) erhöhen.

Die einzige hoffnungsvolle Möglichkeit die Lärmbelastung durch die zivile Luftfahrt mittel- und langfristig vermindern zu können, besteht darin, noch weitergehendere und schärfer formuliertere Emissionsgrenzwerte vom Gesetzgeber zu verlangen. Im Weiteren haben sich abgestufte Lärmabgaben oder Betriebszeitenbegrenzungen, je nach Emissionswert, Lärmcharakteristik und Bauart der einzelnen Jets bewährt. Weiter ist es in Konfliktsituationen sinnvoll, die genauen Flugvolten vorzuschreiben (Kanalisierungseffekt) und entsprechend auch zu kontrollieren (Grossflughäfen wie Zürich und Genf haben hierfür ein voll elektronisches Kontroll- und Überwachungssystem eingeführt).

Weisungen auf den Militärflugplätzen, wonach wenn immer möglich Doppelstarts durchgeführt werden sollen, sind ebenfalls geeignet, die Fluglärmbelastung in der Umgebung stark frequentierter Flugplätze zu vermindern.

In der LSV sind die Belastungsgrenzwerte für die Beurteilung der Fluglärmimmissionen in der Umgebung von Regionalf Flughäfen und Flugfelder (Kleinaviatik und Helikopter) sowie von Militärfluglärm festgelegt. Nähere Angaben über die Ermittlung der entsprechenden Beurteilungspegel L' (Kleinaviatik, Militärfluglärm) resp. der Überflugpegel L_{max} (Helikopterlandeplätze) sind in den Anhängen 5 und 8 der LSV zu finden.

Bei zivil mitbenutzten Militärflugplätzen gilt es die vom militärischen und vom zivilen Betrieb zusammen erzeugten Lärmimmissionen zu bestimmen und mit dem Belastungsgrenzwert des Militärfluglärms zu vergleichen. Des Weiteren haben die zivilen Aktivitäten alleine die Belastungsgrenzwerte des zivilen Fluglärms zu respektieren.

11.2 Lärminderung bei Luftfahrzeugen

Fliegen verursacht Lärm. Der Anteil der Kleinfliegerei an der gesamten Lärmbelastung ist im Vergleich mit anderen Lärmquellen nicht übermässig gross. Trotzdem ist es eine wichtige Aufgabe jedes einzelnen Piloten, durch rücksichtsvolles Verhalten zur Lärminderung und damit zur Akzeptanz der



fliegerischen Aktivitäten und einem guten Klima rund um die Flugplätze beizutragen.

Das BAZL hat daher ein Trainingsprogramm entwickelt, welches dem interessierten Piloten die Möglichkeit gibt, sich in dieses vielschichtige Thema einzuarbeiten. Von den akustischen Grundlagen über die technischen Massnahmen bis zu den operativen Möglichkeiten des Piloten werden alle Belange der Entstehung, Ausbreitung, Verminderung und Wahrnehmung von Fluglärm ausgeleuchtet. Je nach den Bedürfnissen des einzelnen Piloten können die verschiedenen Kapitel in unterschiedlicher Tiefe bearbeitet werden. Am Ende des Lehrganges kann das Erlernte mit einem kleinen Test überprüft werden.

(Quelle: BAZL)

11.3 Richtcharakteristik

Die Flugzeuge haben jeweils eine bestimmte Richtcharakteristik, die bei der Ermittlung berücksichtigt werden muss.



Abb. 11.2 Richtcharakteristik F/A-18 „Hornet“

(Quelle: EMPA, Payerne, 1997)

11.4 Stark unterschiedliche Emissionen verschiedener Militärflugzeuge

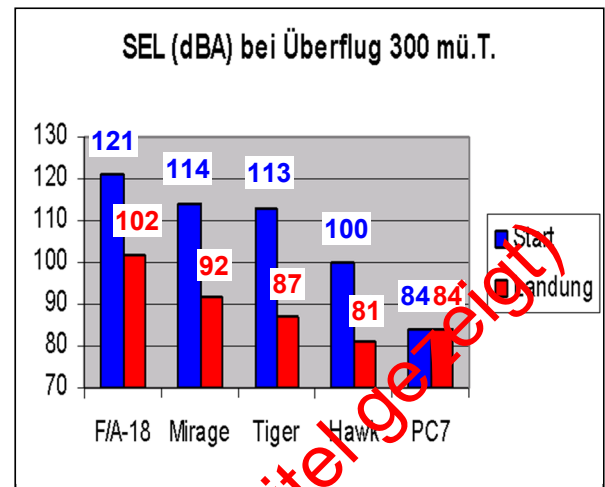


Abb. 11.3 Emissionen von bisher eingesetzten Militärflugzeugen

11.5 Zivile Mitbenutzung von Militärflugplätzen

In Emmen wurde vor einigen Jahren die erweiterte zivile Mitbenutzung des Militärflugplatzes in Diskussion gebracht. Von den Initianten wurde in der politischen Debatte jeweils „garantiert“, dass sich an der Lärmbelastung nichts Wesentliches ändere. Der bisherige Lärmteppich werde beibehalten, es gäbe keinen zusätzlichen Lärm.

Angenommen in Emmen würde ein einziger F/A18-Start weggewonnen, wieviele PC7 dürften dann starten, um den gleichen Lärmteppich zu verursachen?

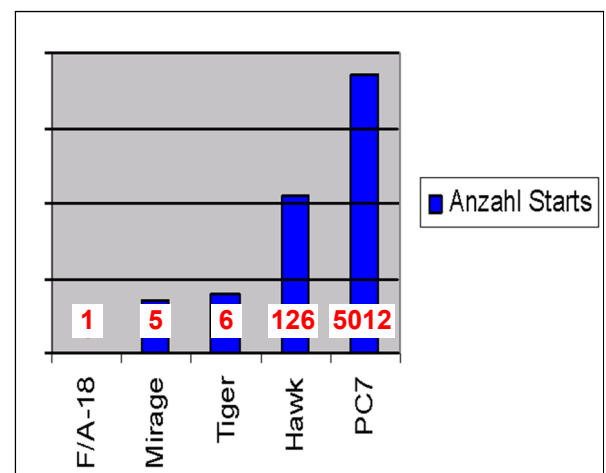


Abb. 11.4 Energieäquivalenter Lärm verschiedener Flugzeugtypen



11. FLUGLÄRM

11.6 Beurteilungspegel L_r' [dB(A)]

11.6.1 $L_{r,z,k}'$ für den Lärm des Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen

Die Ermittlung des Beurteilungspegels $L_{r,z,k}'$ für den (zivilen) Lärm des Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen ist in [LSV](#) Anhang 5, Ziffer 3 ff. festgelegt.

$$L_{r,z,k}' = L_{eq,z,k} + K \quad [\text{dB(A)}]$$

$L_{r,z,k}'$: Beurteilungspegel für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 31 LSV)

$L_{eq,z,k}$: Der Mittelungspegel $L_{eq,z,k}$ [dB(A)] wird für die durchschnittliche Zahl der stündlichen Flugbewegungen (Flugbewegungszahl n) für einen Tag mit durchschnittlichem Spitzenbetrieb ermittelt (vgl. Anhang 5, Ziffer 31 LSV)

Als Flugbewegung zählt jede Landung und jeder Abflug von Kleinluftfahrzeugen. Durchstartmanöver zählen als zwei Flugbewegungen.

Flugbewegungszahl n bei bestehenden zivilen Flugplätzen:

- Es werden die sechs verkehrsreichsten Monate eines Betriebsjahrs ermittelt.
- Während dieser sechs Monate werden, getrennt für alle sieben Wochentage, die durchschnittlichen täglichen Flugbewegungszahlen ermittelt. Die Tagesmittelwerte der beiden verkehrsreichsten Wochentage werden mit N_1 und N_2 bezeichnet.
- Aus N_1 und N_2 wird n durch Mittelung über zwölf Tagesstunden wie folgt berechnet:

$$n = (N_1 + N_2) / (2 \cdot 12)$$

Flugbewegungszahl n bei neuen zivilen Flugplätzen:

- Bei zivilen Flugplätzen, die neu erstellt oder geändert werden, wird die Flugbewegungszahl n anhand von Prognosen über die Verkehrsentwicklung ermittelt.
- Sind keine Detailprognosen möglich, so wird n anhand der prognostizierten jährlichen Flugbewegungszahl N wie folgt berechnet:

$$n = (N \cdot 2,4) / (365 \cdot 12)$$

Pegelkorrektur (vgl. Anhang 5, Ziffer 34 LSV):

Die Pegelkorrektur K wird anhand der jährlichen Flugbewegungszahl N wie folgt berechnet:

$$K = 0 \quad \text{für } N < 15\,000$$

$$K = 10 \cdot \log(N/15\,000) \quad \text{für } N \geq 15\,000$$

11.6.2 $L_{r,z}'$ für den Lärm des Gesamtverkehrs von Kleinluftfahrzeugen und Grossflugzeugen

Der Beurteilungspegel $L_{r,z}'$ für den Lärm des (zivilen) Gesamtverkehrs auf zivilen Flugplätzen, auf denen Grossflugzeuge verkehren, wird für den massgeblichen Flugbetrieb getrennt für den Tag (06 – 22 Uhr), die erste Nachtstunde (22 – 23 Uhr), die zweite Nachtstunde (23 – 24 Uhr) und die letzte Nachtstunde (05 – 06 Uhr) berechnet.

Der Beurteilungspegel für den Tag $L_{r,z,t}'$ für den Lärm des (zivilen) Gesamtverkehrs auf zivilen Flugplätzen, auf denen Grossflugzeuge verkehren, wird aus den Beurteilungspegeln für Kleinluftfahrzeuge $L_{r,z,k}'$ und Grossflugzeuge $L_{r,z,g}'$ wie folgt berechnet:

$$L_{r,z,t}' = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{r,z,k}'} + 10^{0,1 \cdot L_{r,z,g}'}) \quad [\text{dB(A)}]$$

$L_{r,z,t}'$: Beurteilungspegel für den Lärm des (zivilen) Gesamtverkehrs auf zivilen Flugplätzen [dB(A)] (vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV)

$L_{r,z,g}'$ Tag: Der Beurteilungspegel $L_{r,z,g}'$ für den Tag für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Grossflugzeugen ist die Summe des A-bewerteten Mittelungspegels $L_{eq,g}$, der durch den Betrieb von Flugzeugen in der Zeit von 06 – 22 Uhr im Jahresmittel verursacht wird:

$$L_{r,z,g}' \text{ Tag} = L_{eq,g} \text{ Tag} \quad (\text{vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV})$$

$L_{r,z,g}'$ Nacht: Der Beurteilungspegel $L_{r,z,g}'$ für den Lärm des (zivilen) Verkehrs von Grossflugzeugen für die erste, zweite und letzte Nachtstunde ist der A-bewertete Mittelungspegel $L_{eq,g}$, der durch den Betrieb von Flugzeugen in der Zeit von 22 – 23 Uhr, 23 – 24 Uhr und 05 – 06 Uhr im Jahresmittel verursacht wird:

$$L_{r,z,g}' \text{ Nacht} = L_{eq,g} \text{ Nacht} \quad (\text{vgl. Anhang 5, Ziffer 41 LSV})$$

Massgeblicher Flugbetrieb:

- Die Mittelungspegel $L_{eq,g} \text{ Tag}$ und $L_{eq,g} \text{ Nacht}$ werden anhand der Betriebsdaten ermittelt.
- Bei zivilen Flugplätzen, die neu erstellt oder geändert werden, wird der Flugbetrieb anhand von Prognosen über die Flugverkehrsentwicklung bestimmt. Flüge nach der zweiten (23 – 24 Uhr) und vor der letzten Nachtstunde (05 – 06 Uhr) werden der zweiten Nachtstunde (23 – 24 Uhr) zugerechnet.

11.6.3 L_{max}' für den Lärm von Helikopterflugplätzen

Der mittlere maximale Lärmpegel L_{max}' bei Helikopterflugplätzen ist das energetische Mittel der maximalen Lärmpegel einer repräsentativen Anzahl Über- oder Vorbeiflüge (vgl. [LSV](#) Anhang 5, Ziffer 5).

Messungen zur Ermittlung des L_{max}' werden mit der Geräteeinstellung SLOW durchgeführt.

11.6.4 $L_{r,m}'$ für Militärflugplätze

Der Beurteilungspegel $L_{r,m}'$ für den Lärm von Militärflugplätzen wird aus den Beurteilungspegeln für Militärlärm $L_{r,m}'$ und Zivillärm $L_{r,z}'$ wie folgt berechnet:

$$L_{r,m}' = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{r,m}'} + 10^{0,1 \cdot L_{r,z}'}) \quad [\text{dB(A)}]$$

$$L_{r,m}' = 10 \cdot \log(10^{0,1 \cdot L_{r,j}'} + 10^{0,1 \cdot L_{r,p}'}) \quad [\text{dB(A)}]$$

$L_{r,m}'$: Gesamt-Beurteilungspegel für den ggf. zivil mitgenutzten Militärlärm [dB(A)] (vgl. Anhang 8, Ziffer 3 LSV)

$L_{r,z}'$: Der Beurteilungspegel $L_{r,z}'$ [dB(A)] wird wie der entsprechende $L_{r,z}'$ von zivilen Flugplätzen nach [LSV](#) Anhang 5, Ziffern 3 und 4 ermittelt

$L_{r,m}'$: Gesamt-Beurteilungspegel für den Lärm von militärischen Flugzeugen mit Strahlantrieb ($L_{r,j}'$) und mit Propellerantrieb ($L_{r,p}'$) [dB(A)] (vgl. Anhang 8, Ziffer 31 LSV)

**12. BAULÄRM****3**

12.1	Einführung	3
12.2	Grundlagen	3
12.2.1	Baulärm-Richtlinie (BLR)	3
12.2.2	Maschinenlärmverordnung (MaLV)	3
12.2.3	Anwendungshilfe zur BLR	4
12.2.4	Kantonale Unterlagen zum Baulärm	5
12.3	Definitionen	5
12.3.1	Emissionsbegrenzung	5
12.3.2	Baustelle und Baulärm	5
12.3.3	Bauarbeiten und lärmintensive Bauarbeiten	5
12.3.4	Dauer der lärmigen Bauphase und der lärmintensiven Bauarbeiten	6
12.3.5	Bautransporte	6
12.3.6	Anerkannter Stand der Technik	6
12.3.7	Neuester Stand der Technik	6
12.3.8	«Der Blaue Engel»	6
12.4	Massnahmen, Massnahmenkatalog, -pflicht und -stufen	6
12.4.1	Massnahmen	6
12.4.2	Massnahmenkatalog	6
12.4.4	Massnahmenpflicht	8
12.4.5	Massnahmenstufen	8
12.4.6	Ermittlung Massnahmenstufe	8
12.4.7	Verschärfung der Massnahmenstufe während Zeiten mit erhöhtem Ruheanspruch	8
12.4.8	Ermittlung Massnahmenstufe für Bautransporte	8
12.5	Verbindlichkeit der Richtlinie	9
12.6	Rechtsprechung Baulärm	9
12.7	Grundsätze zur Minimierung von Baulärm	9
12.7.1	Information der Betroffenen	9
12.7.2	Arbeits- resp. Ruhezeiten	10
12.7.3	Unnötigen Lärm vermeiden	10
12.7.4	Tipps und Tricks gegen den Baulärm	10
12.7.5	Textbausteine für Baubewilligungen	10
12.8	Baustellenkontrollen	10
12.9	Umweltbaubewilligungen (U3B)	10
12.10	Fotos von Bauvorgängen	11

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 12.1	Mobile (aufblasbare) Lärmschutzwand	11
Abb. 12.2	dito	11
Abb. 12.3	Raußenkran beim Larsenziehen	11
Abb. 12.4	Schlagrammer ohne Lärmschutz	11
Abb. 12.5	Schlagrammer mit Schallschutz-Tower	11
Abb. 12.6	Beton-Beisser	11
Abb. 12.7	Bohrpfahlmaschine	11
Abb. 12.8	Schalldämpfer Larsenvibriermaschine	11
Abb. 12.9	Larsenvibriermaschine	12
Abb. 12.10	Mit «Beltan» verfülltes Larsenschloss	12
Abb. 12.11	Mit «Beltan» verfülltes Larsenschloss (Abschluss mit Silikon)	12



Abkürzungen:

B:	Anzahl Bautransporte während der totalen Bauzeit am Tag [Fz]
B _n :	Anzahl Bautransporte während der totalen Bauzeit in der Nacht [Fz]
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
F:	Zusätzlicher Strassenverkehr durch die Bautransporte am Tag [Fz]
F _n :	Zusätzlicher Strassenverkehr durch die Bautransporte in der Nacht [Fz]
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
FAQ:	Frequently Asked Questions
T:	Totale Bauzeit in Wochen
UVEK:	Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
BLR:	Baulärm-Richtlinie
MaLV:	Maschinenlärmverordnung (SR 814.412.2)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Nachfolgend sind die einige spezifische Aspekte des Baulärms angegeben. Weitere Unterlagen zur Akustik, über das USG, die LSV und die Baulärm-Richtlinie, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



12. BAULÄRM

12.1 Einführung

Vor allem im städtischen Raum und in den Agglomerationen resultieren im Zusammenhang mit dem Lärm auf Baustellen grosse Konflikte. So überrascht es nicht, dass früher einzelne Gemeinden und Städte, z.B. die Stadt Luzern, relativ strenge Vorschriften in eigenen Lärmgesetzen oder in den Baugesetzen erlassen haben. Im Rahmen von Deregulierungen wurden die meisten dieser Bestimmungen neu in der Baugesetzgebung konzentriert.

In der Umweltschutzgesetzgebung ist nicht vorgesehen, dass für den Baulärm eigentliche Belastungsgrenzwerte (Planungswert, Immissionsgrenzwert und Alarmwert), wie bei den anderen Lärmarten, formuliert und festgelegt werden. In der [LSV](#) wird aber ausdrücklich erwähnt, dass das BAFU eine Richtlinie über bauliche und betriebliche Massnahmen zur Begrenzung des Baulärms zu erlassen habe (LSV Art. 6; vgl. [Baulärm-Richtlinie](#) BLR).

Im Weiteren wird hier darauf hingewiesen, dass auch mit der Verordnung des UVEK über die Lärmemissionen von Geräten und Maschinen, die im Freien verwendet werden (Maschinenlärmverordnung [MaLV, SR 814.412.2](#)) ein ergänzendes und wirkungsvolles Instrument zur Verminderung des Baulärms besteht. Es handelt sich dabei um emissionsbegrenzende Vorschriften für neue Baumaschinen, Geräte und Apparate, denn das Lärmbekämpfungskonzept des Bundes konzentriert sich richtigerweise auf die Lärmbekämpfung an der Quelle.

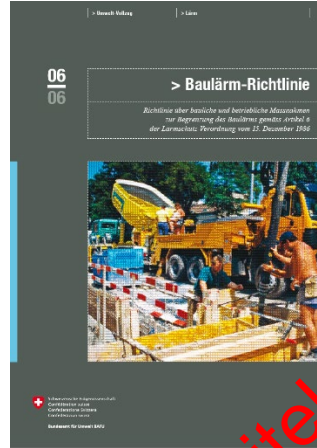
Sollten in kantonalen oder kommunalen Gesetzen verbindliche Belastungsgrenzwerte für den Baulärm festgelegt worden sein, sind diese mit der Baulärm-Richtlinie des Bundes ungültig geworden.

Was stört die Anwohner von Baustellen besonders?

- Nichteinhaltung der Mittagsruhe
- Arbeiten ausserhalb der Normalarbeitszeit
- Arbeiten an Sa, So und Feiertagen
- Nacharbeiten
- Dauergeräusche von Pumpen, Ventilatoren, Lüftungen, Bauheizungen etc.,
- Lärmspitzen
- Keine oder ungenügende Informationen
- Angst vor Bauschäden (Risse, Setzungen)

12.2 Grundlagen

12.2.1 Baulärm-Richtlinie (BLR)



Seit Februar 2000 ist die [Baulärm-Richtlinie](#) (BLR) in Kraft (aktuelle Fassung Stand 2011). Dies ist eine Vollzugshilfe des BAFU und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen. Andere Lösungen sind auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

12.2.2 Maschinenlärmverordnung (MaLV)

In der Verordnung des UVEK über die Lärmemissionen von Geräten und Maschinen, die im Freien verwendet werden ([Maschinenlärmverordnung, MaLV, SR 814.412.2](#)), wird Folgendes geregelt:

- die vorsorgliche Begrenzung der Lärmemissionen;
- die Kennzeichnung der Lärmemissionen;
- die nachträgliche Kontrolle.

Die Verordnung gilt für die in Anhang 1 MaLV aufgelisteten Geräte und Maschinen, welche in Anhang I der Richtlinie 2000/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Mai 2000 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über umweltbelastende Geräuschemissionen von zur Verwendung im Freien vorgesehenen Geräten und Maschinen (Richtlinie 2000/14/EG) definiert sind.

Geräte und Maschinen mit Emissionsgrenzwerten (unvollständige Auflistung):

Nr.	Gerät / Maschine
03	Bauaufzug für den Materialtransport mit Verbrennungsmotor
08	Verdichtungsmaschine in der Bauart von Vibrationswalzen und nichtvibrierenden Walzen, Rüttelplatten und Vibrationsstampfer
09	Kompressor (< 350 kW)
usw.	usw.



Geräte-/Maschinentyp	Installierte Nutzleistung P [kW] elektrische Leistung P _e [kW] Masse m [kg] Schnittbreite L [cm]	Schallleistungspegel LWA [dB/1pW]	
		Emissionswerte	Richtwerte
Verdichtungsmaschinen (Vibrationswalzen)	$P \leq 8$	105	
	$8 < P \leq 70$	106	
	$P > 70$	$86 + 11 \log(P)$	
Verdichtungsmaschinen (Vibrationswalzen Vibrationsstampfer)	$P \leq 8$	108	105
	$8 < P \leq 70$	109	106
	$P > 70$	$89 + 11 \log(P)$	$86 + 11 \log(P)$
Verdichtungsmaschinen (Rüttelplatten)	$P \leq 3$	105	
	$3 < P \leq 8$	108	105
	$8 < P \leq 70$	109	106
	$P > 70$	$89 + 11 \log(P)$	$86 + 11 \log(P)$
Kettenbaggerlader	$P \leq 55$	103	
	$P > 55$	$84 + 11 \log(P)$	
Betonbrecher, Abbau- Aufbruchhämmer etc.	$m \leq 15$	105	
	$15 < m < 30$	$94 + 11 \log(m)$	$92 + 11 \log(m)$
Rasenmäher,	$L \leq 50$	96	94
Rasentrimmer,	$50 < L \leq 70$	98	
Rasenkantenschneider	$70 < L \leq 120$	100	98
	$L > 120$	105	103
usw.	usw.	usw.	usw.

Geräte und Maschinen ohne Emissionsgrenzwerte (unvollständige Auflistung):

Nr.	Gerät / Maschine
01	Hubarbeitsbühne mit Verbrennungsmotor
02	Freischneider
03	Bauaufzug für den Materialtransport mit Elektromotor
04	Baustellenbandsägemaschine
05	Baustellenkreissägemaschine
usw.	usw.

12.2.3 Anwendungshilfe zur BLR

Der Cercle Bruit hat im August 2005 eine [Anwendungshilfe zur Baulärm-Richtlinie](#) verfasst. Es handelt sich um Ergänzungen und Erläuterungen zur BLR. Zudem wurden kleinere Änderungen an der Richtlinie selbst vorgenommen. Anhand von häufig gestellten Fragen (Frequently Asked Questions: FAQ) werden Unklarheiten ausgeräumt und die BLR konkretisiert. Weiter festigen Beispiele die Sicherheit im Vollzug. Ein letzter Teil enthält nützliche Hilfsmittel wie Listen und Textteile.

FAQ (Frequently Asked Questions):

Frage 1: Wie greift die BLR in den Planungs- und Bewilligungsprozess ein resp. wie wird die BLR stufengerecht umgesetzt?

Frage 2a: Fällt der Bau eines Einfamilienhauses auch in den Geltungsbereich der BLR?

Frage 2b: Werden fest installierte und mobile Einrichtungen innerhalb der Baustelle (z.B. Tunnellüftungsanlagen, Materialaufbereitungsanlagen, etc.) genauso wie alle anderen Maschinen und Geräte vom Geltungsbereich der Baulärm-Richtlinie erfasst?

Frage 3a: Haben sich private Bauherren an die BLR zu halten?

Frage 3b: Können bisherige Regelungen des Baulärms wie in der Weisung Nr. 4 des BAV vom 25.2.1994 sowie kantonale oder kommunale Regelungen noch angewendet werden?

Frage 4: Gibt es in der Tabelle 2.1 'Generelle Anforderungen der Massnahmenstufen' keine Anforderungen an Einrichtungen?

Frage 5a: Was bedeutet in der Tabelle 2.2 Schnelltest 'Keine Massnahmen gemäss Massnahmenkatalog'?

Frage 5b: Müssen in der Tabelle 2.2 Schnelltest zwischen 0 und 600 Meter eine oder beide Bedingungen erfüllt sein, dass Massnahmen getroffen werden müssen?

Frage 5c: Müssen in der Tabelle 2.2 Schnelltest für Bauarbeiten, die weniger als 1 Woche dauern und nachts anfallen, keine Massnahmen gemäss Katalog getroffen werden?

Frage 5d: Müssen in der Tabelle 2.2 Schnelltest für Bauarbeiten, die weniger als 1 Woche dauern und nachts anfallen, keine Massnahmen gemäss Katalog getroffen werden?

Frage 5e: Müssen in der Tabelle 2.2 Schnelltest für Bauarbeiten, die weniger als 1 Woche dauern und nachts anfallen, keine Massnahmen gemäss Katalog getroffen werden?

Frage 5d: Wie ermittelt sich die Dauer der lärmigen Bauphase? Können Bauunterbrüche in Abzug gebracht werden?

Frage 5e: Ist bei einer Linienbaustelle (z.B. Belagserneuerung auf einem langen Strassenteilstück) unter der Dauer der lärmigen Bauphase die gesamte Bauzeit oder die maximale Einwirkungsdauer auf den einzelnen lärmempfindlichen Ort zu verstehen?

Frage 5f: Wie ermittelt sich die Dauer der lärmintensiven Arbeiten?

Frage 5g: Wird bei einem Wechsel des Unternehmers auf der Baustelle mit der Zeitrechnung der lärmigen Bauphase oder der lärmintensiven Bauarbeiten neu begonnen?

Frage 6a: Müssen restlos alle Massnahmen des Katalogs getroffen werden?

Frage 6b: Können Massnahmen auch nach Baubeginn, z.B. bei unvorhersehbaren Lärmproblemen, gefordert werden?



Frage 6c: Welche Massnahmenstufen kommen bei unvorhergesehenen Bauarbeiten zur Anwendung?

Frage 6d: Wo werden die Massnahmen verbindlich festgelegt?

Frage 6e: Der Massnahmenkatalog fordert verschiedentlich das Ausarbeiten von Konzepten. Wie sehen solche Konzepte aus und ab welcher Baustellengrösse sind diese Konzepte zu erarbeiten?

Frage 7: Was ist unter der Massnahme 'Umfassende Abklärungen' genau zu verstehen?

Frage 8: Die BLR geht davon aus, dass Massnahmen gemäss Katalog bereits in der Planungs- und Projektierungsphase, spätestens aber in den Submissionsunterlagen (BLR Kap. 3.1.8.1) festgelegt sein müssen. Aus Bauherrensicht will man aber Unternehmervarianten zulassen können, was zur Folge hat, dass die Bauverfahren und die dazu benötigten Maschinentypen oft erst bei der Erstellung der Werkverträge feststehen. Wie ist damit umzugehen?

Frage 9: Kann während einer Evakuierung der intensiv betroffenen Nachbarschaft auf alle übrigen Massnahmen verzichtet werden?

Frage 10: Sind organisatorische Massnahmen zur Zeitbeschränkung immer zu treffen? Kann von diesen Arbeitszeitbeschränkungen abgesehen werden?

Frage 11a: Was ist unter Normalausrüstung zu verstehen?

Frage 11b: Was bedeutet die Massnahmenstufe B für Maschinen und Geräte, zu denen noch keine nach dem anerkannten Stand der Technik (Grundlage ist die EU-Richtlinie 2000/14/EG) festgelegten Schallleistungsspiegel bestehen?

Frage 11c: Was bedeutet die Massnahmenstufe C für Maschinen und Geräte, zu denen noch keine mit dem Blauen Engel ausgezeichneten Typen bestehen?

Frage 12: Wann sollen lärmbezogene Vergabekriterien festgelegt werden?

Beispiele von Baulärmkonzepten

In der Anwendungshilfe des Cercle Bruit zur Baulärm-Richtlinie werden folgende Beispiele von Baulärmkonzepten behandelt:

Punktbaustellen

- Einfamilienhausbau
- Wohn- und Gewerbeüberbauung
- Erneuerung Tramgeleise und Fahrbahn (konzentriertes Bauen)
- Halbanschluss an Nationalstrasse (Kunstabauten)

Linienbaustellen

- Kantonsstrassensanierung
- Nationalstrassensanierung

Grossbaustellen

Konkrete Beispiele

- Maschinenliste
- Liste der lärmintensiven Bauarbeiten
- Präventives Konzept für Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten
- Informationskonzept (Orientierung der betroffenen Nachbarschaft)
- Kontroll- und Überwachungskonzepte
- Massnahmenkonzept für unvorhergesehene, störende Ereignisse
- Umgang mit Beschwerden

12.2.4 Kantonale Unterlagen zum Baulärm

Im [Vollzugsordner](#) des Cercle Bruit sind unter der Ziffer 10 verschiedene weitere kantonale Unterlagen zum Thema Baustellen / Baulärm zu finden.

12.3 Definitionen

12.3.1 Emissionsbegrenzung

Das im Umweltschutzrecht verankerte Konzept der Lärmbekämpfung soll auch bei Baustellen verwirklicht werden.

Zur Vermeidung von Baulärm werden emissionsbegrenzende Massnahmen im Rahmen der Vorsorge so weit getroffen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Steht fest, oder ist zu erwarten, dass die Einwirkungen schädlich oder lästig werden, so sind diese Massnahmen zu verschärfen. Zur Anwendung kommen sowohl Anforderungen an den Bau und Betrieb der Fahrzeuge, als auch Anforderungen an den Betriebsablauf der Baustelle.

In erster Linie soll der Baulärm in diesem Rahmen an der Quelle und auf dem Ausbreitungsweg des Schalls bekämpft werden.

12.3.2 Baustelle und Baulärm

Als Baustelle gelten Areale, die für die Bauarbeiten beansprucht werden. Die für Bautransporte genutzten Verkehrsanlagen gehören nicht zur Baustelle.

Als Baulärm gelten alle Lärmemissionen von Bauarbeiten, lärmintensiven Bauarbeiten und Bautransporten.

12.3.3 Bauarbeiten und lärmintensive Bauarbeiten

Als Bauarbeiten gelten alle Tätigkeiten, innerhalb der Baustelle, die zur Errichtung oder Änderung eines Bauwerkes durchgeführt werden.



13. LÄRM BEI VERANSTALTUNGEN («DISCOLÄRM»)	3
13.1 Einführung	3
13.1.1 Risiken beim Besuch von Veranstaltungen mit hohen Schallpegeln	3
13.1.2 Neue Verordnung V-NISSG ab 1.6.2019	3
13.1.3 Generelle Anforderungen an Veranstaltungen	3
13.1.4 Veranstaltungen mit einem mittleren Schallpegel grösser als 93 und kleiner als oder gleich 96 dB(A)	4
13.1.5 Veranstaltungen mit einem mittleren Schallpegel grösser als 96 dB(A) und kleiner als oder gleich 100 dB(A)	4
13.1.6 Mehrere aneinander anschliessende Teilveranstaltungen	4
13.1.7 Zusammenfassung	4
13.2 Mess- und Berechnungsverfahren	4
13.2.1 Messmittelempfehlung	4
13.2.2 Mess- und Ermittlungsort	5
13.2.3 Messmittel	5
13.2.4 Schallpegelaufzeichnung	5
13.2.5 Einstellungen der Messgeräte	5
13.2.6 Mittelwert L_{Aeq1h}	5
13.2.7 Kalibrierung der Messgeräte	5
13.2.8 Eichung der Messgeräte	5
13.3 Schallbegrenzer, Schallpegelanzeigen, Schallpegelregistrierung	5
13.3.1 Schallbegrenzer («Limiter»)	5
13.3.2 Schallpegelanzeigen	5
13.3.3 NorConcert Control	6
13.4 Verdeckte Messungen durch die Vollzugsbehörde	6
13.5 Beispiel einer L_{eq1h} – Berechnung	7
13.6 Extrapolierter Stundenpegel	8
13.7 $LSPL$ [dB(A)] vs. L_{max} [dB(A,F)]	9
13.8 Empfehlenswerte Messgrössenregistrierung	9
13.9 EXCEL-Auswertungsblatt zur Berechnung des L_{eq1h}	9
13.10 Weitere Beispiele von Lärmmessungen	11
13.10.1 Messung an einem Openair	11
13.10.2 Messung in einem Club	11
13.10.3 Messung an einem Rockkonzert	12
13.10.4 Messung am NON-Openair 2018 in Meggen	12
13.11 Einfluss des L_{eq1h} – Grenzwerts	15
13.12 NON-Openair mit Silent-Disco	15
13.13 Literatur und weitere Unterlagen	15
13.13.1 Vollzugshilfe des Bundesamtes für Gesundheit (BAG)	15
13.13.2 Kantonale Unterlagen zur SLV	15
13.13.3 Laerm.ch und cerclebruit.ch	15
13.13.4 Weitere Dokumente	15
13.15 Checkliste für Stichprobenkontrollen durch die Vollzugsbehörde	17
13.16 Checkliste für Veranstalter	18

ANSICHT DER EMPLAR (es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 13.1	NON-Openair 2018, Meggen	3
Abb. 13.2	NorConcert Control Koffer und Display	6
Abb. 13.3	Screenshot von NorConcert Control	6
Abb. 13.4	Befestigung 1/4"-Mikrophone auf der Schulter) und)	7
Abb. 13.5	Befestigung eines 1/4"-Mikrophons seitlich eines Gilets (Modell «Heiko»)	7
Abb. 13.6	Pegel-Zeit-Diagramm	7
Abb. 13.7	Bestimmung der notwendigen Pegelreduktion zur Einhaltung des Leq1h	8
Abb. 13.8	Messung in 1 Sekunden-Intervallen in einer Disco	10
Abb. 13.9	Messung in 1 Minuten-Intervallen in einer Disco	10
Abb. 13.10	Messung in 1 Minuten-Intervallen an einem Openair	11
Abb. 13.11	Messung in 1 Sekunden-Intervallen in einem Club	11
Abb. 13.12	Messung in 1 Sekunden-Intervallen an einem Rockkonzert	12
Abb. 13.13	Impressionen von einer Silent-Disco	15

Abkürzungen:

BAG:	Bundesamt für Gesundheit
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
EJPD:	Eidgenössisches Justiz und Polizeidepartement
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
Leq1s:	1-Sekunden-Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
Leq1Min:	1-Minuten-Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
Leq5Min:	5-Minuten-Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
Leq1h:	1-Stunden-Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
Lmax:	Maximaler Pegel, gemessen mit der Zeitkonstante Fast (= 125 ms) [dB(A, Fast)]
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
V-NISSG :	Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall
SLV:	Verordnung über den Schutz des Publikums von Veranstaltungen vor gesundheitsgefährdenden Schalleinwirkungen und Laserstrahlen (Schall- und Laserverordnung, SR 814.49); ab Juni 2019 ungültig
Links:	Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Nachfolgend sind die einige spezifische Aspekte zum Lärm bei Veranstaltungen («Discolärm») angegeben. Weitere Unterlagen zur Akustik, über das USG, die LSV und die V-NISSG, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.

Das vorliegende Kapitel 13, LÄRM BEI VERANSTALTUNGEN, «DISCOLÄRM», wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Umwelt, Kanton Aargau (Heiko Loretan und Claude Furginé) verfasst. Für die Auswertung von Messreihen, die im Rahmen von Kontrollmessungen im Kontext mit der Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall (V-NISSG) erhoben wurden, wurde vom Skriptverfasser ein EXCEL-Worksheet erstellt. Dazu gibt es ein Programmbeschrieb und zwei Videos als Anleitung. Alle genannten Unterlagen können kostenlos mit folgendem Link heruntergeladen werden:

[Unterlagen zum Lärm von Veranstaltungen](#)

Ich danke David Gurtner, Fachspezialist Schall und Laser bei der FALS, für seine wertvollen Hinweise und sein Korrek.



13. LÄRM BEI VERANSTALTUNGEN («DISCOLÄRM»)

13.1 Einführung

13.1.1 Risiken beim Besuch von Veranstaltungen mit hohen Schallpegeln

Beim Besuch von Veranstaltungen mit hohen Schallpegeln besteht das Risiko von Hörschäden, denn hohe, über längere Zeit einwirkende Schallpegel können eine irreversible Hörminderung verursachen. Dauerhafte Höreinbussen führen zusammen mit den altersbedingten Hörverlusten zu Problemen bei der Sprachverständlichkeit. Nach einem Besuch einer sehr lauten Veranstaltung ist ein **Gehörsturz** und/oder **Tinnitus** nicht auszuschliessen. Vorübergehende Symptome wie temporäre Hörschwellenverschiebung, Pfeifen oder Rauschen im Ohr sind entsprechende Begleiterscheinungen.

Laute Musik kann das Gehör genauso schädigen wie Lärm mit derselben Energie. Ein zweistündiges Konzert bei 100 dB(A) belastet das Gehör in etwa gleich wie eine einwöchige Exposition (40 h pro Woche) an einem lauten Arbeitsplatz mit 87 dB(A). Es spielt dabei keine Rolle, ob das einwirkende Geräusch als angenehm (Musik) oder als störend (z.B. Industrielärm) empfunden wird.

Prof. Dr. F. Metternich, HNO, Chefarzt, Kantonsspital Aarau postuliert, dass bei Auftreten eines akuten Ohrgeräusches oder einer akuten Hörminderung nach dem Besuch einer Veranstaltung innerhalb von 24 Stunden ein HNO-Arzt aufzusuchen sei. Es handle sich hierbei nicht um einen Notfall, sondern um einen sogenannten Einfall. Es erfolge eine entsprechende audiometrische Untersuchung und befundabhängig primär eine ambulante Therapie, beispielsweise mit Kortisonderivaten. In Fällen ohne Befundbesserung wird allenfalls eine stationäre Behandlung erforderlich.

Um Hörschäden möglichst zu vermeiden, hat der Bundesrat für Veranstaltungen in Gebäuden und im Freien, bei denen elektroakustisch erzeugter oder verstärkter Schall auf das Publikum einwirkt die Schall- und Laserverordnung (SLV) erlassen. Diese ist ab 1. Juni 2019 allerdings nicht mehr gültig.



Abb. 13.1 NON-Openair 2018, Meggen

13.1.2 Neue Verordnung V-NISSG ab 1.6.2019

Am 27. Februar 2019 hat der Bundesrat die Verordnung zum Bundesgesetz über den Schutz vor Gefährdungen durch nichtionisierende Strahlung und Schall erlassen. Diese **V-NISSG** (unter der Leitung des Bundesamtes für Gesundheit; BAG) löst die frühere SLV (unter der Leitung des Bundesamtes für Umwelt; BAFU) ab. Die V-NISSG tritt am 1. Juni 2019 in Kraft.

Die Pflichten der Veranstalter bei Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall wurden aus der bisherigen SLV übernommen.

Wer Veranstaltungen ohne elektroakustisch verstärkten Schall und mit einem mittleren Schallpegel grösser als 93 dB(A) durchführt, hat neu das Publikum auf die mögliche Schädigung des Gehörs durch hohe Schallpegel hinweisen und dem Publikum kostenlos Gehörschützer nach der Norm SN EN 352-2:2003 «Gehörschützer – Allgemeine Anforderungen – Teil 2: Gehörschutzstöpsel» zur Verfügung zu stellen. Dies gilt allerdings «nur» für Konzerte, die in Gebäuden oder an stationären Standorten im Freien stattfinden.

13.1.3 Generelle Anforderungen an Veranstaltungen

Gemäss Art. 18ff V-NISSG gilt Folgendes:

- Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall dürfen
 - a. den mittleren Schallpegel von 100 dB(A) nicht überschreiten;
 - b. zu keinem Zeitpunkt den maximalen Schallpegel von 125 dB(A) überschreiten.
- Veranstaltungen für Kinder oder Jugendliche unter 16 Jahren dürfen den mittleren Schallpegel von 93 dB(A) nicht überschreiten.
- Wer Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall durchführt, muss bei einem mittleren Schallpegel von grösser als 93 dB(A) diese dem kantonalen Vollzugsorgan spätestens 14 Tage vor Beginn die Informationen nach Anhang 4 Ziffer 1 V-NISSG schriftlich melden.
- Die Meldungen müssen die folgenden Angaben enthalten:
 - a. Ort, Art, Datum, Beginn und Dauer der Veranstaltung;
 - b. Name und Adresse der Veranstalterin oder des Veranstalters;
 - c. eine Deklaration, dass bei Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall der höchste mittlere Schallpegel kleiner als oder gleich 96 dB(A) oder kleiner als oder gleich 100 dB(A) beträgt;
 - d. den Mess- und Ermittlungsort.

13. LÄRM BEI VERANSTALTUNGEN

(«DISCOLÄRM»)



13.1.4 Veranstaltungen mit einem mittleren Schallpegel grösser als 93 und kleiner als oder gleich 96 dB(A)

Wer Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall durchführt, muss bei einem mittleren Schallpegel grösser als 93 dB(A) und kleiner als oder gleich 96 dB(A)

- die Schallemissionen soweit begrenzen, dass die Immissionen den mittleren Schallpegel von 96 dB(A) nicht übersteigen;
- das Publikum im Eingangsbereich der Veranstaltung deutlich sichtbar auf die mögliche Schädigung des Gehörs durch hohe Schallpegel hinweisen;
- dem Publikum Gehörschütze nach der Norm SN EN 352-2:200214, «Gehörschützer – Allgemeine Anforderungen – Teil 2: Gehörschutzstöpsel», kostenlos anbieten;
- den mittleren Schallpegel während der Veranstaltung mit einem Schallpegelmessgerät überwachen;
- die Messgeräte vorschriftsgemäss einstellen.

13.1.5 Veranstaltungen mit einem mittleren Schallpegel grösser als 96 dB(A) und kleiner als oder gleich 100 dB(A)

a) Beschallung während höchstens 3 Stunden:

Wer Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall durchführt, muss bei einem mittleren Schallpegel grösser als 96 dB(A) und kleiner als oder gleich 100 dB(A) sowie bei einer Beschallungsdauer von höchstens drei Stunden

- die Schallemissionen soweit begrenzen, dass die Immissionen den mittleren Schallpegel von 100 dB(A) nicht übersteigen;
- das Publikum im Eingangsbereich der Veranstaltung deutlich sichtbar auf die mögliche Schädigung des Gehörs durch hohe Schallpegel hinweisen;
- dem Publikum Gehörschütze nach der Norm SN EN 352-2:200214, «Gehörschützer – Allgemeine Anforderungen – Teil 2: Gehörschutzstöpsel», kostenlos anbieten;
- den mittleren Schallpegel während der Veranstaltung mit einem Schallpegelmessgerät überwachen;
- die Messgeräte vorschriftsgemäss einstellen.

b) Beschallung während mehr als 3 Stunden

Wer Veranstaltungen mit elektroakustisch verstärktem Schall durchführt, muss bei einem mittleren Schallpegel grösser als 96 dB(A) und kleiner als oder gleich 100 dB(A) sowie bei einer Beschallungsdauer von mehr als drei Stunden zusätzlich zu den vorstehend genannten Anforderungen

- den Schallpegel während der ganzen Veranstaltung aufzeichnen;

- die Daten der Schallpegelaufzeichnung sowie die Angaben u.a. zu Messort, Ermittlungsort und Pegeldifferenz sechs Monate aufbewahren und auf Verlangen des kantonalen Vollzugsorgans einreichen;
- dem Publikum eine oder mehrere Ausgleichszonen zur Verfügung stellen:
 - a. in welcher der mittlere Schallpegel von 85 dB(A) nicht überschritten werden darf,
 - b. welche mindestens 10 Prozent der Fläche der Veranstaltung umfassen, die für den Aufenthalt des Publikums bestimmt sind,
 - c. welche für das Publikum klar ersichtlich gekennzeichnet und während der Veranstaltung frei zugänglich sein müssen sowie (unter Beachtung der Verordnung vom 28. Oktober 2009 zum Schutz vor dem Passivrauchen) einen ausreichend grossen rauchfreien Teil umfassen.

13.1.6 Mehrere aneinander anschliessende Teilveranstaltungen

Bei einer Veranstaltung mit elektroakustisch verstärktem Schall, deren mittlerer Schallpegel insgesamt grösser als 93 dB(A) ist und die mehrere aneinander anschliessende Teilveranstaltungen am gleichen Standort umfasst, bestimmt die Veranstaltung mit dem höchsten mittleren Schallpegel, ob für die ganze Veranstaltungsdauer die Pflichten nach Kapitel 13.1.4 einzuhalten sind oder ob sich diese Pflichten nach Kapitel 13.1.5 richten.

13.1.7 Zusammenfassung

	Veranstaltungen mit / ohne elektroakustisch verstärktem Schall			ohne
	93 - 96 dB(A) ohne Zeitlimite	96 - 100 dB(A) unter 3h	96 - 100 dB(A) über 3h	
Veranstaltung melden	x	x	x	
Maximalen Schallpegel melden	x	x	x	
Über mögliche Gefährdung des Gehörs informieren	x	x	x	x
Gratis Gehörschutz abgeben	x	x	x	x
Schallpegel überwachen	x	x	x	
Schallpegel aufzeichnen			x	
Ausgleichzone schaffen			x	

13.2 Mess- und Berechnungsverfahren

13.2.1 Messmittelempfehlung

Um den Gesundheitsschutz und die Messqualität zu gewährleisten, haben Vertreterinnen und Vertreter der Tontechniker-, Akustik- und Veranstalterbranche eine Branchenempfehlung zur Wahl von Schall-Messmitteln erarbeitet.

<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesetze-und-bewilligungen/gesetzgebung/gesetzgebung-mensch-gesundheit/gesetzgebung-schutz-vor-schall-laser.html>



13.2.2 Mess- und Ermittlungsort

Die Schallimmissionen werden in Ohrenhöhe an dem Ort ermittelt, an welchem das Publikum dem Schall am stärksten ausgesetzt ist (Ermittlungsort).

Bei Messungen, die am Ermittlungsort ermittelt werden, gilt der für die Veranstaltung anwendbare Grenzwert als eingehalten, wenn der Messwert kleiner als der Grenzwert ist oder diesem entspricht.

Weicht der Messort vom Ermittlungsort ab, so müssen die Immissionen auf diesen umgerechnet werden. Dabei ist zu beachten:

- Die Schallpegeldifferenz zwischen dem Mess- und dem Ermittlungsort wird anhand eines definierten Breitbandsignals (Rosa Rauschen / programmsimuliertes Rauschen nach der Norm IEC-60268-1:1985, «Equipements pour systèmes électroacoustiques – Partie 1: Généralités») oder anhand einer gleichwertigen Methode berechnet.
- Der Ermittlungsort und die Schallpegeldifferenz sowie die Methode sind schriftlich festzuhalten.
- Bei Messungen, die nicht am Ermittlungsort ermittelt werden, gilt der für die Veranstaltung anwendbare Grenzwert als eingehalten, wenn der Messwert beim Messort zuzüglich der Schallpegeldifferenz kleiner ist als der Grenzwert oder diesem entspricht.

13.2.3 Messmittel

Die Anforderungen an die Messmittel und an die Genauigkeitsklassen der Schallpegelmesser richten sich für kantonale Vollzugsorgane nach der Verordnung des EJPD vom 24. September 2010 über Messmittel für die Schallmessung.

Die Messgeräte der Veranstalterinnen und Veranstalter müssen ermöglichen:

- die Messung des A-bewerteten Schallpegels L_A ;
- die direkte oder indirekte Bestimmung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} und die Ermittlung des maximalen Schallpegels mit der Zeitbewertung Fast;
- für Veranstaltungen gemäss Kapitel 13.1.5 lit.b eine Schallpegelaufzeichnung gemäss Kapitel 13.2.4.

13.2.4 Schallpegelaufzeichnung

Die Schallpegelaufzeichnung der Veranstalterinnen und Veranstalter muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Der über fünf Minuten gemittelte äquivalente Dauerschallpegel $L_{Aeq5min}$ muss während der Veranstaltung mindestens alle fünf Minuten aufgezeichnet werden.
- Die Messdaten sind zusammen mit der exakten Uhrzeit der Messung in elektronischer Form aufzuzeichnen.

13.2.5 Einstellungen der Messgeräte

Zur Messung des Schallpegels werden die Messgeräte mit folgenden Einstellungen betrieben:

- Frequenzbewertung A;
- Zeitbewertung Fast (F)
(Zeitkonstante $t = 125$ ms für die Ermittlung des maximalen Schallpegels)

13.2.6 Mittelwert L_{Aeq1h}

Der A-bewertete Schallpegel wird über eine Stunde gemittelt (äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq} resp. L_{eq} in dB(A)). Die Mittelwertbildung beginnt zu einem beliebigen Zeitpunkt der Veranstaltung und dauert 60 Minuten ohne Unterbruch. Der äquivalente Dauerschallpegel L_{Aeq1h} darf den Schallpegelgrenzwert (93 dB(A) / 96 dB(A) resp. 100 dB(A)) zu keinem Zeitpunkt der Veranstaltung überschreiten. Zudem darf der maximale Schallpegel L_{max} den Grenzwert von 125 dB(A,F) nicht überschreiten.

13.2.7 Kalibrierung der Messgeräte

Die Messketten der Vollzugsbehörden müssen vor und nach der Messung kalibriert werden.

13.2.8 Eichung der Messgeräte

Des Weiteren müssen die Messgeräte bei Inbetriebnahme und danach alle zwei Jahre beim METAS, Eidgenössisches Institut für Metrologie geeicht werden. Die Kosten sind in der Eichgebührenverordnung, EichGebV vom 1. Okt. 2015, Abschnitt 12 derzeit (September 2018) wie folgt festgelegt:

Schallmessgeräte mit erweitertem Funktionsumfang:
Ersteichung: Fr. 759.-, Nacheichung alle 2 Jahre: Fr. 616.-
Kalibratoren:
Ersteichung: Fr. 242.-, Nacheichung alle 2 Jahre: Fr. 242.-

13.3 Schallbegrenzer, Schallpegelanzeigen, Schallpegelregistrierung

13.3.1 Schallbegrenzer («Limiter»)

Zur Begrenzung des Schalls gibt es handelsübliche Schallbegrenzer, sogenannte «Limiter».

13.3.2 Schallpegelanzeigen

In Räumen mit häufigem Musikbetrieb können allenfalls gut sichtbar montierte Schallpegelanzeigen, kombiniert mit einer automatischen Registrierung installiert werden. Wichtig ist, dass die Tontechniker und/oder der DJ die Anzeige gut einsehen können. Nach Schluss der Veranstaltung können von den Vollzugsbehörden die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen oder vom Vermieter die im Betriebsreglement vorgegebenen Schallpegelwerte kontrolliert und nötigenfalls Sanktionen gegenüber dem Veranstalter ergriffen werden.



13.3.3 NorConcert Control

Die Firma Norsonic vertreibt mit [NorConcert Control](#) ein System zur Überwachung und Protokollierung des Schallpegels während einer Veranstaltung. Es basiert auf den Norsonic Schallpegelmessern Nor118 oder Nor131. Besonderheiten sind:

- Der Schallpegelmesser wird vollständig von einem PC-Notebook-Programm (Microsoft Windows) gesteuert.
- Sämtliche relevanten Messgrößen werden während der Veranstaltung auf dem PC-Bildschirm angezeigt (gleitender 1h L_{eq} , L_{eq} 1...5 Min, SPL, L_{Max}).
- Versand von Alarm-SMS bei Pegelüberschreitung (Option).
- Aufstellung des Mikrofons dank Distanz-korrektur an einem beliebigen Ort.
- Messwerte und Angaben zur Veranstaltung können im Microsoft Excel Format protokolliert werden.
- Numerische und grafische Darstellung der Messwerte.
- Die Software steuert den Schallpegelmesser und zeigt dem Tontechniker die relevanten akustischen Messwerte permanent auf dem Bildschirm an. Damit hat er die Möglichkeit, rechtzeitig auf zu hohe Pegel zu reagieren und während der ganzen Veranstaltung die Grenzwerte einzuhalten. Insbesondere ermittelt das System permanent den gleitenden 1h L_{eq} Wert.



Abb. 13.2 NorConcert Control Koffer und Display

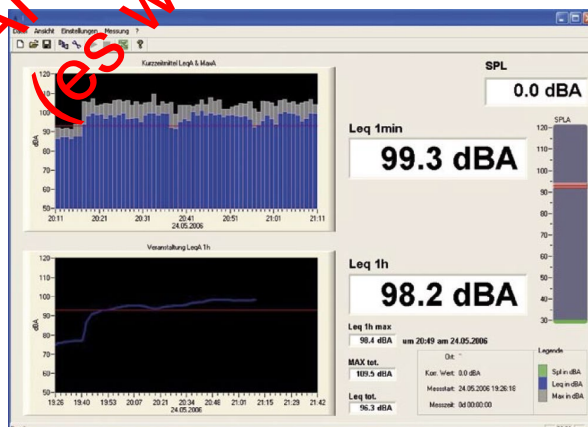


Abb. 13.3 Screenshot von NorConcert Control

13.4 Verdeckte Messungen durch die Vollzugsbehörde

Um Seitens der zuständigen Behörden unerkannt die notwendigen Kontrollen durchführen zu können, sind allenfalls verdeckte Messungen durch instruierte Personen in Erwägung zu ziehen. Positive Erfahrungen konnten mit Messgeräten gemacht werden, deren Grösse es erlaubt, sie in Hosentaschen oder «Damentäschli» zu verstecken und die Mikrofone (vorzugsweise 1/4"-Mikrophone) unauffällig mit den Kleidern zu kaschieren.

In der Studie «[Klärung messtechnischer Fragen für den Vollzug der Schall- und Lärmverordnung](#)», Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS / Bundesamt für Gesundheit BAG (Juni 2014) ist festgehalten, dass - um weniger aufzufallen - häufig nicht zwingend am lautesten Ort gemessen und dadurch der maximale Pegel tendenziell unterschätzt wird. Es sei davon auszugehen, dass der ermittelte Pegel in einer realen Mess-Situation um ca. 2 dB(A) unter dem maximalen Pegel liegen könne. In der Studie wurde auch untersucht, wie stark sich die Messergebnisse verändern, wenn das Messmikrophon auf der Schulter befestigt wird. Reflexionen am Körper führen dazu, dass in Extremsituationen der vom Mikrophon gemessene Schallpegel deutlich höher ausfällt, als der effektiv vorhandene Freifeld-Pegel. Eine solche Extremsituation trete bei einer stark gerichteten Schallausbreitung im akustischen Freifeld auf. Im echofreien Raum seien aufgrund dieser Reflexionen am Körper bei einer Beschallung mit Reintönen von 4 kHz und einer optimalen Einfallsrichtung bis zu 7.7 dB mehr gemessen worden, als bei der ungestörten Ausbreitung.

Allerdings sei in der Praxis nicht mit solchen Abweichungen zu rechnen. Zum einen sei davon auszugehen, dass an den lautesten Orten oft mehrere Quellen zu berücksichtigen seien, so dass das Schallfeld einen eher ungerichteten oder gar diffusen Charakter annimmt. Während für einzelne Richtungen durch die Reflexion eine Überbewertung stattfindet, werde der Schall aus anderen Richtungen tendenziell eher abgeschattet. Ausserdem sei dieser Effekt nur bei Wellenlängen ausgeprägt, die bedeutend kleiner sind als die relevanten geometrischen Strukturen. Daher beschränke sich dieser Einfluss in der Praxis (Beschallung mit Musik aus vielen Richtungen) durch eine spektrale und räumliche Mittelung auf ca. 2 dB(A).

Fazit: Die beiden Effekte – Unterschätzung der Pegel als Folge des Messortes resp. Überschätzung der Pegel als Folge von Reflexionen – haben in etwa die gleiche Grössenordnung.



14. ALLTAGSLÄRM

14.	ALLTAGSÄRM	3
14.1	Einleitung	3
14.1.1	Alltagslärm	3
14.1.2	Ortsfeste Anlagen mit oder ohne Belastungsgrenzwerte	3
14.1.3	Zivilrechtlich zu behandelnde Lärmkonflikte	3
14.2	Besondere Lärmquellen	4
14.2.1	Lärm von öffentlichen Lokalen und Gastgewerbebetrieben	4
14.2.2	Kirchenglocken	4
14.2.3	Kuhglockengebimmel	4
14.2.4	Vollzugshilfe Lärm von Sportanlagen	4
14.3	Rechtsprechung	5
14.3.1	Kantonales oder kommunales Polizeirecht	5
14.3.2	Kein absoluter Anspruch auf Ruhe	5
14.3.3	Nachtruhe	5
14.3.4	Lärm von Geräten, Maschinen, Fahrzeugen, Schiffen und Luftfahrzeugen	5
14.3.5	Fehlende Belastungsgrenzwerte	5
14.3.6	Augen-/ Ohrenschein	5
14.3.7	Schall als eigentlicher Zweck einer Aktivität	5
14.3.8	Betriebliche Einschränkungen	5
14.3.9	Hundegebell	5
14.3.10	Teich mit Tieren	5
14.3.12	Katzen-/ Marderschreckgerät, Mosquito-Gerät, Vogelschreckgerät	6
14.3.13	Rasenmäher / Laubbläser	6
14.3.14	Jugendtreffpunkt	6
14.3.15	Kinderhort, Kinderspielplatz	6
14.3.16	Motorbetriebene Modellfahrzeuge	6
14.3.17	Glockenspiel	6
14.3.18	Nutztierhaltung	6
14.3.19	Haltung von Hühnern und weiteren Vögeln	6
14.3.20	Veranstaltungen im Freien	6
14.4	Vollzugshilfe Beurteilung Alltagslärm	6
14.4.1	Vorgehen	8
14.4.2	Schritt 1: Beschreiben des Problems und möglicher Lösungen	8
14.4.3	Schritt 2: Beurteilen der Störung und der Rechtsfolgen	8
14.4.4	Schritt 3: Beurteilen von weiteren emissionsbegrenzenden Massnahmen	9
14.4.5	Vernunftmässigkeit, Eignung, Erforderlichkeit, Zumutbarkeit	9
14.4.6	Aufwachreaktionen durch Glockenläuten	9
14.4.7	EXCEL-Tool	10
14.5	Weitergehende Literatur	10

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 14.1	Keine Anlagen im Sinne der Umweltschutzgesetzgebung	3
Abb. 14.2	Kirche Gerliswil, Emmen LU	4
Abb. 14.3	Die drei Schritte zur Lösung	8
Abb. 14.4	Aufwachreaktionen durch Glockenläuten	10



Abkürzungen:

AS:	Amtliche Sammlung des Bundesrechts
AW:	Alarmwert
AWR:	Aufwachreaktionen
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BGE:	Bundesgerichtsentscheid
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
BVGE:	Bundesverwaltungsgerichtsentscheid
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
IGW:	Immissionsgrenzwert
I-/G:	Industrie- oder Gewerbebetrieb resp. Industrie- oder Gewerbelärm
L:	Schalldruckpegel, Schallpegel [dB] [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L_{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
L_r :	Belastungsgrenzwert (AW, IGW, PW)
L_r' :	Beurteilungspegel [dB(A)]
PW:	Planungswert
SR:	Systematische Sammlung des Bundesrechts
URP:	Zeitschrift «Umweltrecht in der Praxis»
VLP:	Schweizerische Vereinigung für Landesplanung VLP-ASPAN
VUR:	Vereinigung für Umweltrecht
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
ZGB:	Schweizerisches Zivilgesetzbuch (SR 210)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Danke an Christoph Bernet, Fürsprecher/ Mediator, St. Gallen, für die langjährigen fachlichen Kontakte.

Nachfolgend sind die einige spezifische Probleme und Gesetzmässigkeiten zum Alltagslärm angegeben. Weitere Unterlagen zur Akustik, über das USG und die LSV, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung der Lärmsituation, etc., sind bei den zuständigen kommunalen, kantonalen oder eidgenössischen Behörden in Erfahrung zu bringen.



14. ALLTAGSLÄRM

14.1 Einleitung

14.1.1 Alltagslärm

Alltagslärm, wie der Nachbarschaftslärm oder der Lärm von Anlagen ohne geltende Belastungsgrenzwerte, dürfen bezüglich Intensität, vorhandenem Schallspektrum, zeitlicher Einwirkungsdauer, individueller Lästigkeit, etc., nicht unterschätzt werden. Ein Teil dieser Lärmkonflikte wird über die Vorschriften der Typenprüfung gemildert (z. B. Begrenzung der Lärmemission von Rasenmähern, Laubbläsern, Haushaltgeräten etc.). Dennoch sind von den Behörden und Gerichten zahlreiche Lärmklagen von Betroffenen zu behandeln.

14.1.2 Ortsfeste Anlagen mit oder ohne Belastungsgrenzwerte

Im Kap. 6.7 sind die Begriffe ortsfeste Anlagen mit oder ohne Belastungsgrenzwerte erklärt und es finden sich dort auch Beispiele davon. Nachfolgend wird auf Einwirkungen von Anlagen eingetreten, für die der Bundesrat in der LSV keine Belastungsgrenzwerte festgelegt hat.

Sobald aus einer Einrichtung Lärm einwirkt, der schädlich oder lästig sein könnte, ist das USG anwendbar. Fehlen zahlenmässig festgelegte Belastungsgrenzwerte, so ist die Störung (geringfügig oder erheblich) resp. die Schädlich- und Lästigkeit nach allgemein anerkannten Grundsätzen zu bestimmen. Als Grundlage hierzu dient USG Art. 1, 2 und 15 sowie LSV Art. 1. Danach sind die Menschen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume gegen schädliche oder lästige Einwirkungen zu schützen. Des Weiteren sind Einwirkungen, die schädlich oder lästig werden könnten, im Sinne der Vorsorge frühzeitig zu begrenzen. Übermässige Immissionen sind gegeben, wenn der Lärm nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung die Bevölkerung in ihrem Wohlbefinden erheblich stört.

Erzeugen bewegliche Geräte, Maschinen, Fahrzeuge, Menschen oder Tiere Lärm innerhalb einer Einrichtung, so sind diese bei der Ermittlung miteinzuschliessen, weil die Emissionen einer Anlage gesamthaft zu beurteilen sind.

Hilfreich für die Feststellung einer Übermässigkeit ist die Konsultation ausländischer Normen und Richtlinien (z.B. DIN-Normen, VDI-Richtlinien, etc.).

14.1.3 Zivilrechtlich zu behandelnde Lärmkonflikte

In Kap. 6.8 ist die Abgrenzung des Geltungsbereichs von USG und LSV zum ZGB beschrieben. Keine Anlagen im Sinne der Umweltschutzgesetzgebung sind beispielsweise das Halten von einzelnen Haustieren, eine Gartenanlage ohne

künstliche Wasserspiele etc. Daraus entstehende Lärmkonflikte, wie auch der Nachbarschaftslärm durch Teppichklopfen, Laubbläser, Rasenmäher, Streitgespräche, Musik, etc., sind entsprechend zivilrechtlich zu behandeln (ZGB Art. 684).



Abb. 14.1 Keine Anlagen im Sinne der Umweltschutzgesetzgebung

Zahlreiche Lärmkonflikte können nicht auf der Grundlage der Umweltschutzgesetzgebung beurteilt und entschärft werden. Hierfür bedarf es vermittelnde Gespräche auf der Basis gut nachbarschaftlicher Beziehungen. Sollten die Stricke bereits gerissen sein und Gespräche zwischen dem Lärmverursacher und dem Betroffenen nicht mehr möglich sein, so haben die Behörden oder allenfalls die Richter die Aufgabe, die Situation aufgrund eigener Abklärungen und Feststellungen allfälliger Lärmschutzsachverständiger, des gesunden Menschenverstandes etc. zu beurteilen und schliesslich geeignete Massnahmen zu verfügen.

Der zivilrechtliche Weg ist für die Lärmbetroffenen mühsamer und teurer, u.a. weil die Beweislast beim Kläger, nicht beim Beklagten (Lärmverursacher) liegt. Des Weiteren kann gemäss ZGB vor Gericht lediglich dann erfolgreich eine Klage eingereicht werden, wenn die Einwirkung gemessen an einem durchschnittlichen Empfinden als übermässig zu qualifizieren ist, während dem die Umweltschutzgesetzgebung das Vorsorgeprinzip postuliert, lästige Einwirkungen einschliesst und die Wirkungen der Immissionen auch auf Personengruppen mit erhöhter Empfindlichkeit, wie Kinder, Kranke, Betagte und Schwangere, berücksichtigt.

Die Vollzugsbehörde hat die Aussenlärmimmissionen ortsfester Anlagen zu ermitteln oder ordnet deren Ermittlung an, wenn sie Grund zur Annahme hat, dass die massgebenden Belastungsgrenzwerte überschritten sind oder ihre Überschreitung zu erwarten ist (LSV Art. 36). Daher werden heute im Bereich des Lärmschutzes nur noch selten zivilrechtliche Verfahren eingeleitet.



14.2 Besondere Lärmquellen

14.2.1 Lärm von öffentlichen Lokalen und Gastgewerbebetrieben

Die Geräusche von öffentlichen Lokalen und Gastgewerbebetrieben, die von den Anwohnern als besonders störend empfunden werden, werden meist ausserhalb, jedoch noch auf dem Grundstück des Betriebes verursacht (z.B. vor dem Lokal sich treffende oder verabschiedende, laut sprechende Personengruppen, Hupen, Kavalierstarts, Fahrzeugverkehr etc.). Für diese Lärmarten gelten die Belastungsgrenzwerte gemäss Anhang 6 LSV nicht. Es ist eine einzelfallweise Beurteilung nach den Bestimmungen von USG und LSV vorzunehmen.

Der Cercle Bruit hat für die Ermittlung und Beurteilung der Lärmbelastung durch den Betrieb öffentlicher Lokale eine Vollzugshilfe veröffentlicht.¹⁾ Diese Vollzugshilfe erfasst alle Lärmimmissionen von Gaststätten, einschliesslich Kundenverkehr, Parkplatzlärm und durch Verkehr erzeugten Lärm.

Im Zusammenhang mit dem Lärm von Gastgewerbebetrieben wird u.a. auch auf folgende Gerichtsentscheide verwiesen:

- [1C_296/2010 vom 25. Januar 2011](#)²⁾
- BGE 1C_296/2010 vom 25.1.2011
- BGE 1A179/2006 vom 17.10.2006, URP 2007 501, Carouge GE
- BGE 123 II 325 E. 4c, Murten: Erweiterung der Gartenterrasse eines nach dem 1.1.1985 eröffneten Tearooms
- VGr SG B 2006/214: Neues Gartenrestaurant zu einer Besenbeiz
- GVP 2000 Nr. 76, VGr SG B 2005/23, Änderung Betriebskonzept und Ausdehnung der Öffnungszeiten eines Restaurants
- URP 1997/3 S. 197, Nutzungsänderung eines Speiserestaurant in ein Pub (frz.)
- URP 1999/3, S. 264, Neubau eines Restaurantbetriebes

Weitere [Gerichtsentscheide zu den Lärmimmissionen von Gastgewerbebetrieben](#) finden sich unter der Homepage [laerm.ch](#) unter der Rubrik Lärmsorgen, Rechts Gesetz, Rechtsprechung, Alltagslärm.

14.2.2 Kirchenglocken

Kirchenglocken, vor Allem der Stunden-, der 1/4h-Schlag und das frühmorgendliche Geläut geben in vielen Fällen Grund zu Lärmklagen. Daher gibt es in diesem Zusammenhang bereits zahlreiche Gerichtsurteile. Von zentraler Bedeutung sind mögliche Aufwachreaktion durch Kirchenglocken (vgl. Kap. [14.4.6](#)).

Weitere Informationen dazu finden sich auch unter:

- <http://www.kirchenglocken.ch/>
- <http://www.nachtruhe.info/>
- BGE 126 II 366. Bekon ZH. BGer 1A.159/2005 vom 20.2.2006, in URP 2005 740, Gossau ZH, BGer 1C.297/2009, 18.1.2010
- Lärmimmission (Kirchengeläut), Thal/SG, 13.5.2003, U 1A.240/2002
- Grundsätze für die Beurteilung von Kirchenglockengeläut, das nicht von einem der Anhänge der LSV erfasst wird, Bubikon/ZH, 7.6.2000, LE 126 II 366
- Einbau eines Glockenspiels im Turm einer Kapelle, Wädenswil ZH, 28.9.2006, BRKE 0196/2006), URP 2007, S. 212 ff.)
- Evangelische Landeskirche Kt. ZH: Vertraute Klänge – störende Klänge?



Abb. 14.2 Kirche Gerliswil, Emmen LU
(Morgengeläut früher 6.00 Uhr, heute 7.00 Uhr)

14.2.3 Kuhglockengebimmel

Konflikte mit Kuhglockengebimmel sind nicht erst in den 70er Jahren mit stark erweiterten Siedlungsgebieten nahe an die Landwirtschaftsbetriebe entstanden. So hat sich das Bundesgericht bereits in den 20er Jahren mit einem solchen Fall auseinandersetzen müssen. Schon damals wurden dem Bauern Auflagen bezüglich den Lärmemissionen gemacht (u.a. festgelegte Mindestabstände für weidende Rinder mit Glocken).

- Nachbarrecht; Kuhglocken, AR, 29.5.1975, LE 101 II 248
- Lärmimmission durch Kuhglocken, SZ, EGV-SZ 2008 B 8.11

14.2.4 Vollzugshilfe Lärm von Sportanlagen



In der Vollzugshilfe des BAFU wird aufgezeigt, wie der «[Lärm von Sportanlagen](#)» im Rahmen einer Einzel-fallbeurteilung störungsgerecht beurteilt werden kann.

1) Google: Ermittlung Beurteilung Lärmbelastung Betrieb öffentlicher Lokale

2) Google: 1C_296/2010 25. Januar 2011



Als Grundlage für diese Beurteilung kann die deutsche Sportanlagenlärmschutzverordnung (18. BimSchV)³⁾ beigezogen werden. Dieser Verordnung liegt das gleiche Schutzniveau zugrunde, wie dem schweizerischen Umweltrecht. Weil die Methodik des deutschen Umweltrechts jedoch etwas vom schweizerischen abweicht, wird in der Vollzugshilfe aufgezeigt, wie die Methodik des deutschen Regelwerkes auf schweizerische Verhältnisse übertragen werden kann.

- BGE 133 II 262, Würenlos AG, Sportplatz

14.3 Rechtsprechung

Im Zusammenhang mit dem Umgang von Lärmkonflikten mit Anlagen ohne geltende Belastungsgrenzwerte wird nachfolgend auf verschiedene weitere Grundsatzentscheide verwiesen. Durch die Kategorisierung sind Doppelnennungen möglich. Diese sind folgenden Unterlagen entnommen:

Referat Christoph Bernet, Fürsprecher/ Mediator, St. Gallen, im Rahmen des Moduls 5, Lärmschutz, Fachanwalt Bau- und Immobilienrecht, 2007

Referat Lukas Bühlmann, Fürsprecher, im Rahmen des VLP-ASPAN-Einführungskurses Lärmschutz, 2007

14.3.1 Kantonales oder kommunales Polizeirecht

- Lärmschutzreglemente von Gemeinden mit Mittags-, Nacht- und Wochenendruhe
- AppGr BS in URP 2006, 817: Lärmschutz-Verordnung des Kantons BS, welche lärmige Arbeiten über den Mittag verbietet ist verhältnismässig (gestützt auf Art. 12 USG)

14.3.2 Kein absoluter Anspruch auf Ruhe

- BGE 126 II 368 E. 2b, Bubikon
- BGE 126 II 307 Liestaler Banntag
- BGE 123 II 335, Teatroom Muren

14.3.3 Nachtruhe

- BGE 126 III 223 Bar R.
- BGE 1A.232/2000
- JM 2001 Nr. 21
- URP 1997/6 S. 495
- Pra 1997 Nr. 166
- URP 1997/5 S. 436

14.3.4 Lärm von Geräten, Maschinen, Fahrzeugen, Schiffen und Luftfahrzeugen

- BGE 126 II 306 Liestaler Banntagsschiessen: Gewehre gelten als Geräte nach Art. 7 Abs. 7 USG

14.3.5 Fehlende Belastungsgrenzwerte

- BGE 123 II 325 E. 4d/bb Murten: Teatroom-Terrasse
- BGE 123 II 74 ff Randogne: Kinderspielplatz,
- BGE 126 II 366 E. 2c
- Pra 1997 Nr. 138, Luzern: Glockenspiel an Hausfassade
- Pra 2001 Nr. 144, 865 E. 2c: Lärm von Gastwirtschaften
- BGE 126 II 307 Liestal: Banntagsschiessen
- ZBI 200, 33: Schuss- und Zwitscheranlage auf Rebgeleände
- BGE 1A.39/2000, Betrieb einer Gartenwirtschaft in Wohnzone

- VGr SG B 2006/214 E. 4.2: Gartenrestaurant zu Passanten- bzw. Ausflugsrestaurant in der Wohnzone BGE 126 II 223 Bar R.
- BGE 123 II 74 Randogne: Kinderspielplatz ohne schädlichen und lästigen Lärm.
- BGE 118 Ib 590 Wallisellen: Benützung eines im Garten des Jugendtreffs aufgestellten Holzfassess

14.3.6 Augen-/ Ohrenschein

- BGE 1A.232/ 2000 S. 9 Thal; 123 II 325).

14.3.7 Schall als eigentlicher Zweck einer Aktivität

- BGE 126 II 308 Liestal: USG-konformes Banntagsschiessen
- Pra 1998 Nr. 170: Betriebsbeschränkungen bei Schuss- und Zwitscheranlage zur Abwehr von Vögeln in Rebberg
- BGE 2.8.1995 i.S. R.: Freiluftmusikveranstaltung
- BGE 5C.14/2004 Guggisberg: USG-konformes Keltenfest
- BGE 126 II 366 Bubikon, 1A.249/2002 Thai SG, 1A.159/2005 Gossau ZH: USG-konformes Geläute der Kirchenglocken
- Pra 1997 Nr. 138, Luzern: USG-konformes Glockenspiel bei Juweliengeschäft
- BGE 101 II 248, Pra 1995 Nr. 213: Erhebliche Störungen durch Kuhglocken zur Nachtzeit auf Wiese in Wohnzone

14.3.8 Betriebliche Einschränkungen

- BGE 126 II 366
- VwGr AG in AGVE 2005 Nr. 38
- BGE 1A.2205 Vuillierens: Betriebszeiten eines Modellflugplatzes erfüllen Vorsorgeprinzip
- BGE 123 II 74, 1A.73/2001, Kommunal Kinderspielplatz
- URP 2002/1 S. 86, Lärmschutz bei Altstoff-Sammelstelle
- BGE 1A.58/ 2002, Gemeindewerkhof
- BGE 115 Ib 456, Heizungsanlage
- BGE 5C.249/1994: Hahn in städtischem Wohnquartier
- Cercle Bruit, Ermittlung und Beurteilung der Lärmbelastung im Zusammenhang mit dem Betrieb öffentlicher Lokale (Stand 2006)

14.3.9 Hundegebell

- VGr GR in PVG 1995 S. 130: Gebell von Schlittenhunden
- Hundezucht, 1.12.1994, BGer 1A.282/1993 (URP 1995, S. 31 ff.)
- Baubewilligungsverfahren für Hundeheim in Landwirtschaftszone, Braunau/TG, 13.8.2001, U 1A.276/2000
- AGVE 1998 S. 316 Aargauische Gerichts- und Verwaltungsentscheide
- BVR 1991 S. 494 Berner Praxis
- LGVE 2000 II Nr.10, V 99 9 V 99 195 Gerichts- und Verwaltungsentscheide Kanton Luzern
- Nachträgliche Baubewilligung, Wiederherstellung, Umnutzung eines Gebäudes für die Haltung von maximal 19 Hunden, Erstellen von Gehegen, BGer 1C_510/2011
- Hundebetreuungsdienst, BGE 1C_538/2011

14.3.10 Teich mit Tieren

- Beurteilung von Froschlärm, Verwaltungsgericht des Kantons Zürich, Urteil vom 15.12.1999, URP 2000 S. 242
- Umsiedlung von lärmenden Wasserfroschen im Badeteich, Bau- und Verkehrsdepartement des Kantons Basel-Stadt, Rekursentscheid vom 2.8.2011 (URP 2012 S. 281 ff.) www.vur.ch/pdf/entscheide/2012/BVD_BS_020811.pdf

3) Google: 18. BimSchV



15. RAUMAKUSTIK

3

15.1	Allgemeines	3
15.1.1	Frequenzbereiche Bauakustik - Raumakustik	3
15.1.2	Nachhall	3
15.1.3	Reflexion - Absorption - Dämmung	4
15.1.4	Schallabsorptionsgrad α_s [-]	4
15.1.5	Äquivalente Schallabsorptionsfläche A [m ²]	6
15.1.6	Nachhallzeit T [s]	6
15.2	Optimale Nachhallzeiten	10
15.3	Sprachverständlichkeit	10
15.4	Reduktion des Störschallpegels durch zusätzliche Absorption	11
15.5	Schallpegelabnahme in einem geschlossenen Raum	11
15.6	Hallradius	12
15.7	Raumakustische Anforderungen	12
15.7.1	DIN 18041 „Hörsamkeit in Räumen“	12
15.7.2	SGA-Richtlinien für die Akustik von Klassenzimmern	12
15.8	Erklärung weiterer Begriffe	13
15.8.1	Stehende Wellen zwischen zwei Reflektoren	13
15.8.2	Raummode	13
15.8.3	Diffusor	13
15.8.4	Flatterecho	13
15.8.5	Fokussierung (Brennpunktbildung) / Streuung	13
15.8.6	Laufzeitdifferenz [ms]	13
15.8.7	Klarheitsmass C	14
15.8.8	Weitere Informationen	14

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 15.1	Illustration Anhall und Nachhall	3
Abb. 15.2	Kathedrale Canterbury: Nachhallzeitmessung, $f = 630$ Hz, $T_{30} = 2.8$ s; $T_{60} = 5.6$ s	3
Abb. 15.3	Kathedrale Canterbury: Nachhallzeitmessung, $\varnothing T = 5.5$ s	3
Abb. 15.4	Hörsaal: Nachhallzeitmessung, $f \in 125$ Hz, $T_{30} = 0.55$ s; $T_{60} = 1.1$ s	3
Abb. 15.5	Hörsaal: Nachhallzeitmessung, $\varnothing T = 0.9$ s	4
Abb. 15.6	Illustration Reflexion – Absorption – Dämmung	4
Abb. 15.7	Hallraum zur Bestimmung der α_s -Werte	4
Abb. 15.8	Animation in einem Hallraum	4
Abb. 15.9	Typischer Verlauf der α_s -Werte von verschiedenen Absorbersystemen	6
Abb. 15.10	Tabelle optimale Nachhallzeiten	10
Abb. 15.11	Optimale Nachhallzeit in Funktion des Raumvolumens und verschiedener Nutzungen	10
Abb. 15.12	Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit des Raumvolumens und der Nachhallzeit	10
Abb. 15.13	Schallreflexionen in einem akustisch schlechten Konzertsaal	10
Abb. 15.14	Innenansicht des Konzertsaals „Salle Blanche“ im KKL Luzern	11
Abb. 15.15	Illustration der Schallpegelabnahme in einem geschlossenen Raum (Punktquelle)	11
Abb. 15.16	Illustration Richtfaktor Q (vgl. auch Kap. 4.4.2)	12
Abb. 15.17	Illustration Raummode	13
Abb. 15.18	Flatterecho: Schallharte parallele Oberflächen	13
Abb. 15.19	Kein Flatterecho: Eine parallele Oberfläche schallabsorbierend verkleidet	13
Abb. 15.20	Kein Flatterecho: Eine schallharte parallele Oberfläche gegliedert	13
Abb. 15.21	Links: Fokussierung (Brennpunktbildung) Rechts: Streuung	13
Abb. 15.22	Illustration Laufzeitdifferenzen	14

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.



Abkürzungen, Symbole und Einheiten:

α :	(Schall-)Absorptionsgrad [-]
A:	Äquivalente Schallabsorptionsfläche [m ²]; Hypothetische Grösse einer Fläche in m ² mit dem Schallabsorptionsgrad 1, welche die gleiche Schallleistung absorbiert wie die Summe aller schallabsorbierenden Elemente und Oberflächen im Raum
c:	Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s)
C:	Klarheitsmass
C ₅₀ :	Klarheitsmass (Deutlichkeit bei Sprache)
C ₈₀ :	Klarheitsmass (Durchsichtigkeit bei Musik)
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
F:	Effektive Bauteilfläche [m ²]
K:	Konstante für die Berechnung der Nachhallzeit nach Sabine: 0.16 [s/m] (früher K = 0.163 s/m)
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
L _{eq} oder L _{Aeq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (A-bewerteter Mittelungspegel) L _{eq} [dB(A)]; L _{Aeq} [dB]
L _w :	Schallleistungspegel [dB], [dB(A)]
ΔL :	Reduktion des Störschallpegels in einem Raum [dB; dB(A)]
log:	Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
λ :	Wellenlänge [m]
π :	PI (Konstante = 3.141....)
PE:	Einfallende Schallenergie
PR:	Reflektierte Schallenergie
PA:	Absorbierte Schallenergie (PA = PD + PÜ)
PD:	Dissipierte Schallenergie (Schwingungsverluste, etc.)
PÜ:	Übertragene Schallenergie
Q:	Richtfaktor Punktquelle
r:	Abstand zur Schallquelle [m]
r:	Reflexionsgrad
rH:	Hallradius [m]
R:	Reflexion
S:	Bauteilfläche [m ²]
STI:	Sprachübertragungsindex (Speech Transmission Index)
STIPA:	Sprachübertragungsindex für Beschallungssysteme (Speech Transmission Index for Public Address)
T:	Nachhallzeit [s]
τ :	Transmissionsgrad
V:	Raumvolumen [m ³]
v:	Geschwindigkeit [km/h], [m/s]
CB:	Cercle Bruit; Vereinigung der Lärmschutzfachstellen der Schweiz
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
SGA:	Schweizerische Gesellschaft für Akustik
SIA:	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIA 181:	SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»; Ausgabe 2020
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Eidgenössische Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Hinweis:

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Leser die geltende [SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»](#), Ausgabe 2020, in der Originalfassung beschaffen. Massgebend ist der Inhalt dieser Norm. Der Raumakustik kommt in der Praxis eine grosse Bedeutung zu. Die frühere Ziffer 4.6 in der SIA-Norm 181, Ausgabe 2006, trägt diesem Umstand nicht mehr genügend Rechnung. Um die Anforderungen an den Schallschutz und die Raumakustik zu entflechten, wurde diese Ziffer aus der bisherigen Norm entfernt. Die raumakustischen Anforderungen werden neu in der Norm SIA 181/1 behandelt. Diese ist allerdings noch nicht publiziert und in Kraft (Stand: Dezember 2021).

Vorlesung Raumakustik, ETH Zürich, Kurt Eggenschwiler (<http://www.eggenschwiler.arch.ethz.ch/Programm.pdf>)

Danke an Kurt Eggenschwiler, EMPA, für die jahrelangen fachlichen Kontakte.

Die Erfahrungen des Skriptverfassers im Zusammenhang mit der Raumakustik sind gering. Seine praktische Tätigkeit auf diesem Gebiet liegt mehr als 37 Jahre zurück. Nachfolgend sind dennoch einige spezifische Aspekte zur Raumakustik angegeben. Angaben zum aktuellen Stand der Technik und des Wissens, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung, etc., sind bei Bauakustik-Fachleuten in Erfahrung zu bringen.



15. RAUMAKUSTIK

15.1 Allgemeines

Die **Raumakustik** verfolgt als zentrales Ziel die Hörsamkeit in einem Raum zu optimieren. Es stellen sich in der Raumakustik insbesondere folgende Aufgaben.

- Gewährleistung einer optimalen **Sprachverständlichkeit**
- Optimale Übertragung von musikalischen Darbietungen
- Verminderung eines allfällig störenden Schallpegels im Raum

Die Raumakustik eines Raumes wird im Wesentlichen beeinflusst durch sein Volumen, seine Form, die Diffusität und seine Nachhallzeit.

15.1.1 Frequenzbereiche Bauakustik - Raumakustik

Bauakustik: Terzmittenfrequenzen von 100 Hz bis 3'150 Hz (in besonderen Fällen zusätzlich die Terzen 50, 63 und 80 Hz als besonderer Tieffrequenzbereich sowie die Terzen 4'000 und 5'000 Hz als besonderer Hochfrequenzbereich).

Raumakustik: Terzmittenfrequenzen von 63 Hz bis 4'000 Hz oder aufgabenspezifisch auch bis 8'000 Hz. In der Raumakustik werden Kennwerte häufig auch über entsprechenden Oktavbändern dargestellt.

15.1.2 Nachhall

Als **Nachhall** bezeichnet man die Charakteristik der Abnahme der Schallenergie in einem geschlossenen Raum nach Unterbrechung der Schallsendung.

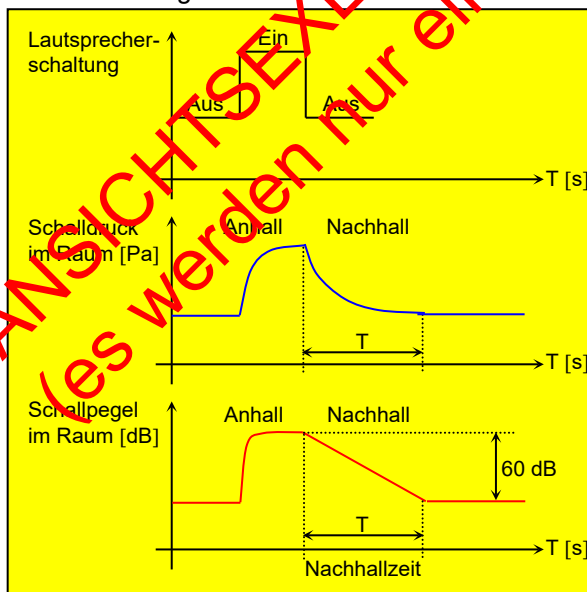


Abb. 15.1 Illustration Anhall und Nachhall

Im Gegensatz zum Nachhall spielt der sogenannte Anhall (Charakteristik der Zunahme der Schallenergie in einem geschlossenen Raum nach Beginn der Schallsendung) nur eine untergeordnete Rolle. Dies zeigen auch die folgenden Abbildungen.



Abb. 15.2 Kathedrale Canterbury; Nachhallzeitmessung, $f = 630$ Hz, $T_{30} = 2.8$ s; $T_{60} = 5.6$ s

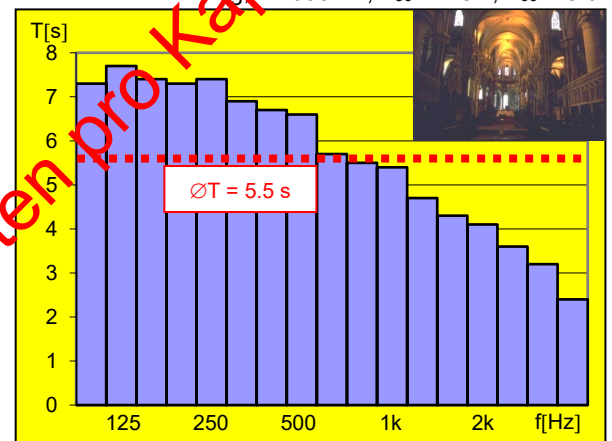


Abb. 15.3 Kathedrale Canterbury; Nachhallzeitmessung, $\varnothing T = 5.5$ s

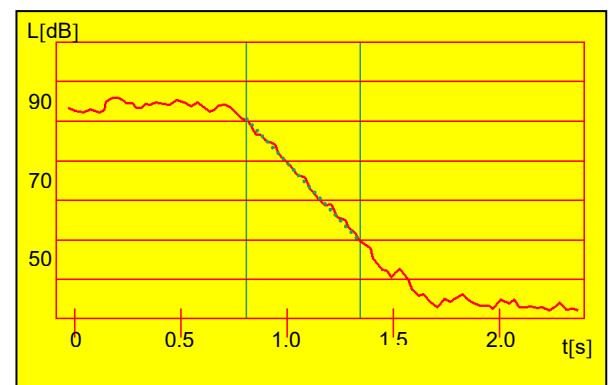
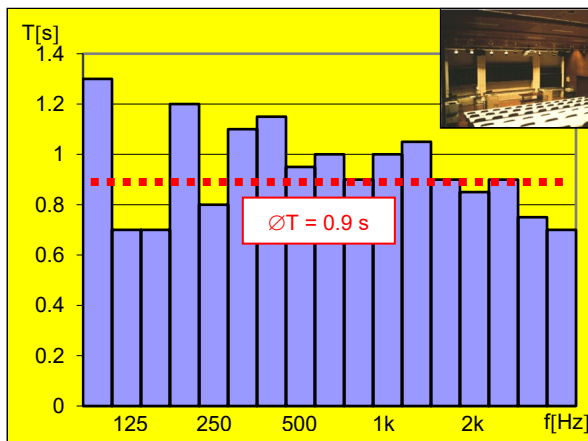


Abb. 15.4 Hörsaal; Nachhallzeitmessung, $f = 315$ Hz, $T_{30} = 0.55$ s; $T_{60} = 1.1$ s


Abb. 15.5 Hörsaal; Nachhallzeitmessung, $\bar{\alpha}T = 0.9$ s

15.1.3 Reflexion - Absorption - Dämmung

Nachfolgend sind die wichtigen akustischen Begriffe, die Reflexion, die Absorption und die (Schall-)Dämmung, am Beispiel einer Trennwandkonstruktion, näher illustriert.

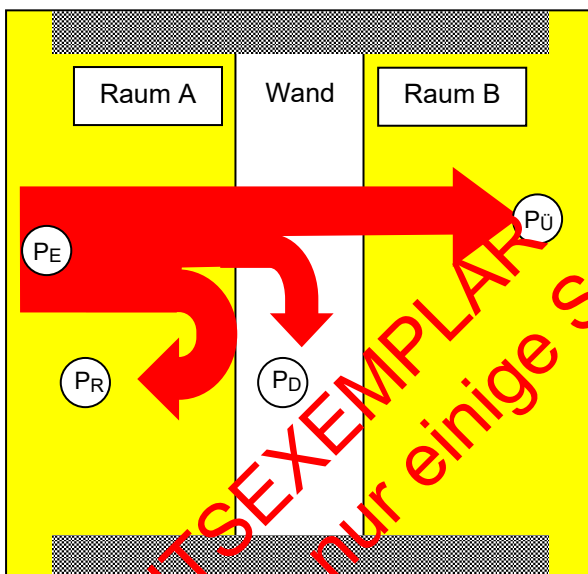


Abb. 15.6 Illustration Reflexion – Absorption – Dämmung

P_E : Einfallende Schallenergie
 P_R : Reflektierte Schallenergie
 P_A : Absorbierte Schallenergie ($P_A = P_D + P_U$)
 P_D : Dissipierte Schallenergie (Schwingungsverluste, etc.)
 P_U : Übertragene Schallenergie

Material	r	α	τ
15 cm Beton	98%	2%	0.006%
2 cm Spanplatte	97%	3%	0.6%
2 cm Faserdämmstoffplatte	35%	65%	50%

r: Reflexionsgrad
 α : Absorptionsgrad
 τ : Transmissionsgrad

$$\text{Reflexionsgrad: } r = \left\{ \frac{P_R}{P_E} \right\} \quad [-]$$

$$\text{Absorptionsgrad: } \alpha = \left\{ \frac{P_A}{P_E} \right\} \quad [-]$$

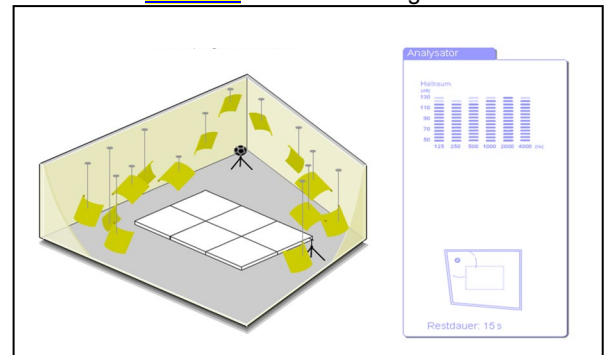
$$\text{Transmissionsgrad: } \tau = \left\{ \frac{P_U}{P_E} \right\} \quad [-]$$

r: Reflexionsgrad
 α : Absorptionsgrad
 τ : Transmissionsgrad
 P_R : Reflektierte Schallenergie
 P_E : Einfallende Schallenergie
 P_A : Absorbierte Schallenergie ($P_A = P_D + P_U$)
 P_D : Dissipierte Schallenergie
 P_U : Übertragene Schallenergie

15.1.4 Schallabsorptionsgrad α_s [-]

In der Raumakustik hat der Schallabsorptionsgrad α_s (oder Schallabsorptionskoeffizient) eine sehr grosse Bedeutung.

Der Schallabsorptionsgrad α_s gibt das Verhältnis der an einer Bauteilfläche, einer Person, etc., absorbierten Schallenergie im Vergleich mit der einfallenden Schallenergie an.


Abb. 15.7 Hallraum zur Bestimmung der α_s -Werte

Abb. 15.8 Animation in einem Hallraum
Google: Hallraum Uni Stuttgart SonicLab

Der frühere Link für die Animation funktioniert leider nicht mehr. Die Beschreibung kann mit folgendem Link angesehen werden:

[Das virtuelle Labor Akustik - SonicLab](#)



In der folgenden Tabelle sowie in Abb. 15.9 sind die Schallabsorptionsgrade α_s verschiedenster Elemente (Bauteiloberflächen, Mobiliar, Personen etc.) angegeben. Besonders zu beachten ist dabei die Frequenzabhängigkeit der verschiedenen α_s -Werte.

Element	f [Hz]	Absorptionskoeffizient α_s [-]					
		125	250	500	1'000	2'000	4'000
Glatte Verputz auf Mauerwerk oder Beton		0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04
Akustik-Spitzputz (20mm, Vermica Bözen)		0.04	0.16	0.40	0.52	0.60	0.68
Akustikputz (13mm auf Streckmetall, Schneider Winterthur)		0.39	0.61	0.61	0.78	0.91	0.91
Aufgehängte, glatte Gipsdecke		0.25	0.20	0.10	0.05	0.05	0.10
Leichtbauwand (2-fach beplankt à 12.5mm mit Faserdämmstoff-Einlage)		0.08	0.01	0.06	0.04	0.10	0.12
Holz-Wand-/ Deckenverkleidung ohne Luftzwischenraum							
- 10% Fugen; 30mm Faserdämmstoff		0.11	0.61	0.91	0.54	0.32	0.20
- 20% Fugen; 30mm Faserdämmstoff		0.09	0.52	1.02	0.46	0.53	0.34
- 10% Fugen; 50mm Faserdämmstoff		0.37	0.96	0.79	0.55	0.38	0.23
- 20% Fugen; 50mm Faserdämmstoff		0.30	0.94	0.93	0.71	0.57	0.37
Holz-Wand-/Deckenverkleidung mit 25mm Luftraum							
- 10% Fugen; 30mm Faserdämmstoff		0.15	0.78	0.94	0.52	0.32	0.22
- 20% Fugen; 30mm Faserdämmstoff		0.14	0.67	0.97	0.72	0.50	0.34
- 10% Fugen; 50mm Faserdämmstoff		0.40	0.96	0.82	0.58	0.39	0.23
- 20% Fugen; 50mm Faserdämmstoff		0.40	0.98	0.89	0.79	0.59	0.38
Aufgeklebter Bodenbelag (Holz, Kork, Gummi)		0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.10
Parkett usw. auf Blindboden		0.20	0.15	0.10	0.10	0.05	0.10
Kunststeinplatten		0.02	0.02	0.04	0.05	0.05	0.05
Teppiche mittlerer Dicke		0.05	0.08	0.20	0.30	0.35	0.40
Holztüren, Holzschränke, Wandtafeln		0.20	0.15	0.10	0.10	0.05	0.05
Geschlossene Fenster (DV, IV)		0.10	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
50mm Glasfaserplatten (Typ A), 0cm abgehängt		0.22	0.83	1.06	1.02	0.98	0.95
50mm Glasfaserplatten (Typ A), 2.5cm abgehängt		0.29	0.85	1.04	0.98	0.95	0.90
50mm Glasfaserplatten (Typ A), 25cm abgehängt		0.49	0.73	0.91	1.00	0.99	0.95
50mm Glasfaserplatten (Typ A), 0cm abgehängt		0.22	0.83	1.06	1.02	0.98	0.95

Element	f [Hz]	Absorptionskoeffizient α_s [-]					
		125	250	500	1'000	2'000	4'000
50mm Schichtexp. u.ä. (Faserdämmstoff), 0cm abgehängt		0.15	0.45	0.64	0.51	0.51	0.50
50mm Schichtexp. u.ä. (Faserdämmstoff), 5cm abgehängt		0.50	0.75	0.98	0.90	0.75	0.71
Vorhänge leicht (mit 25% Falten)		0.04	0.23	0.41	0.57	0.53	0.40
2cm Akustikplatte aufgeklebt		0.10	0.15	0.40	0.60	0.70	0.70
2cm Akustikplatte auf Lattenrost		0.20	0.30	0.60	0.70	0.70	0.70
16mm Pavaroc Fissura 5, 20cm abgehängt		0.31	0.38	0.49	0.67	0.88	0.99
Abgehängte Metalllochdecke							
- 6% / 4mm Lochung, 4cm PBA, 30cm Luftzwischenraum		0.45	0.77	0.80	0.93	0.86	0.59
- 12% / 3mm Lochung, 4cm PBA, 30cm Luftzwischenraum		0.36	0.75	0.85	0.85	0.92	0.88

Element	f [Hz]	Absorptionskoeffizient α_s [-]					
		125	250	500	1'000	2'000	4'000
Mit Zuhörern, Orchester, Chören belegte Fläche		0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85
Fläche stoffbespannter Bestuhlung ohne Zuhörer		0.49	0.66	0.80	0.88	0.82	0.70
Fläche lederbespannter Bestuhlung ohne Zuhörer		0.44	0.54	0.60	0.62	0.58	0.50



16.	SCHALLÜBERTRAGUNG IM GEBÄUDE	6
16.1	Definitionen	6
16.2	Bauakustische Kenngrössen	6
16.2.1	Schalldämm-Mass R [dB]	6
16.2.2	Bewertetes Schalldämm-Mass R_w [dB]	7
16.2.3	Bau-Schalldämm-Mass R' [dB]	7
16.2.4	Bewertetes Bau-Schalldämm-Mass R'_w [dB]	8
16.2.5	Am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} [dB]	8
16.2.6	Bewertete, am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ [dB]	8
16.2.7	Luftschall-Pegelkorrektur ΔL_{LS} [dB]	8
16.2.8	Berechnung resultierende Schalldämmung $R'_{w,res}$	9
16.2.9	Berechnung resultierende Schalldämmung $(R'_w + C)_{res}$	10
16.2.10	Früher verwendeter Luftschallschuttsindex I_a resp. I'_a [dB]	10
16.2.11	Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} [dB]	10
16.2.12	Subjektive Empfindung des Luftschallschutts	11
16.3	Theorie Luftschalldämmung einschaliger Konstruktionen	11
16.3.1	Vorbemerkungen	11
16.3.2	Allgemeines zu einschaligen Wänden	11
16.3.3	Massekurve nach "Gösele"	14
16.3.4	Einfluss der Dichtigkeit auf die Luftschalldämmung	15
16.4	Theorie Luftschalldämmung zweischaliger Konstruktionen	15
16.4.1	Allgemeines	15
16.4.2	Prinzipielle Luftschalldämmung bei einer Zweischalenkonstruktion	15
16.4.3	Berechnung der Doppelwandresonanz f_r [Hz]	16
16.4.4	Verbesserungspotential von Zweischalenkonstruktionen	17
16.4.5	Hinweise zu Zweischalenkonstruktionen	18
16.4.6	Einfluss Nebengewegübertragungen	19
16.4.7	Typische Zweischalenkonstruktionen	19
16.4.8	Luftschalldämmung verschiedener Konstruktionen	19
16.4.9	Luftschalldämmung von Holzkonstruktionen	20
16.5	SIA-Norm 181 (2020) – Luftschallschutz	20
16.5.1	Gesetzliche Anforderungen an den Luftschallschutz	20
16.5.2	Geltungsbereich SIA-Norm 181	20
16.5.3	Toleranzen, Rundungsregeln und Unsicherheiten	20
16.5.4	Anforderungsstufen	21
16.5.5	Lärmempfindlichkeit	21
16.5.6	Projektionsschlag K_P [dB]	21
16.5.7	Zuschlag für Flankenübertragung K_F [dB] (fakultativ)	21
16.6	SIA-Norm 181 – Luftschallschutz – Externe Quellen	22
16.6.1	Mindestanforderung D_e an den Luftschallschutz gegenüber externen Quellen	22
16.6.2	Zu führende Nachweise	22
16.6.3	Erhöhte Anforderung an den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen	23
16.6.4	Fiktiv erhöhte Schalldämmwerte bei geringerer Exposition	23
16.6.5	Grundaufgaben Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen	24
16.6.6	Hinweise zum Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen	25
16.7	SIA-Norm 181 – Luftschallschutz – Interne Quellen	26
16.7.1	Mindestanforderung D_i an den Luftschallschutz gegenüber internen Quellen	26
16.7.2	Erhöhte Anforderung an den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen	26
16.7.3	Zu führende Nachweise	26
16.7.4	Grundaufgaben Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen	27
16.8	Räume gegen Erschliessungszonen	29
16.9	SIA-Norm 181 – Luftschall – Interne Quellen – tieffrequente Emissionen	29
16.9.1	Mindestanforderung D_{i50} – Luftschallschutz - erheblich tieffrequente Emissionen	29
16.9.2	Erhöhte Anforderung - Luftschallschutz - erheblich tieffrequente Emissionen	29
16.9.3	Mindestanforderung D_{i50} - Luftschallschutz - massgebend tieffrequenten Emissionen	29
16.9.4	Zu führende Nachweise	30
16.10	Empfehlungen zum Luftschallschutz innerhalb derselben Nutzungseinheit	30
16.11	Typisches Equipment für Luftschallmessungen	31
16.12	Software für Luftschallberechnungen	31
16.12.1	EXCEL-Tool der FALS für Schallschutz-Nachweise	31
16.12.2	Software für Schallschutz-Prognosen	31



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 16.1	Typische Schallübertragungen	6
Abb. 16.2	Schema / Animation Luftschallmessung	6
Abb. 16.3	Auswertungsdiagramm Luftschallmessung zur Bestimmung von R_w	7
Abb. 16.4	Nomogramm Δ_{LS} [dB] in Funktion von V_2 [m ³] und S [m ²]	8
Abb. 16.5	Nomogramm zur Abschätzung der resultierenden Schalldämmung $R_{w,res}$	9
Abb. 16.6	Tabelle zur subjektiven Empfindung des Luftschallschutzes	11
Abb. 16.7	Prinzipieller Verlauf der Luftschalldämmung bei einschaligen Wänden	11
Abb. 16.8	Wellenkoinzidenz	12
Abb. 16.9	Animation des Koinzidenzeffektes	12
Abb. 16.10	Tabellen Koinzidenz-Grenzfrequenzen	13
Abb. 16.11	R'_w in Abhängigkeit des Materials und der flächenbezogenen Masse	14
Abb. 16.12	Schema der Schallübertragung bei einer Zweischalenkonstruktion	15
Abb. 16.13	Prinzipieller Verlauf der Luftschalldämmung bei einer zweischaligen Wand	15
Abb. 16.14	Verbesserung der Luftschalldämmung	17
Abb. 16.15	Backsteinmauerwerk, $d = 15$ cm	18
Abb. 16.16	Zweischalenkonstruktion, 12 / 4 / 15 cm, verputzt	18
Abb. 16.17	Zweischalenkonstruktion, 15 / 2 / 6 cm, verputzt	18
Abb. 16.18	Zweischalenkonstruktion, 15 / 3 / 1.25 cm, verputzt	19
Abb. 16.19	Zweischalenkonstruktion, 15 / 3 / 12 cm, verputzt	19
Abb. 16.20	Zweischalenkonstruktion 1.25-1.25 / 10 (5) / 1.25-1.25 cm, verputzt	19
Abb. 16.21	Tabellen Luftschalldämmung verschiedener Konstruktionen	19
Abb. 16.22	Homepage www.dataholz.com	20
Abb. 16.23	Lärmempfindlichkeit der Empfangsräume	21
Abb. 16.24	SIA-Norm 181 – Mindestanforderungen D_e ; Luftschallschutz – Externe Quellen	22
Abb. 16.25	SIA-Norm 181 – Mindestanforderungen D_e ; Luftschallschutz – Externe Quellen	22
Abb. 16.26	Illustration mit strassenzugew. Fassade und weniger stark lärmbelast. Seitenfassade	23
Abb. 16.27	Illustration Aufgabe 1 (Aussenlärm)	24
Abb. 16.28	Illustration Aufgabe 2 (Aussenlärm)	24
Abb. 16.29	SIA-Norm 181 – Mindestanforderungen D_i ; Luftschallschutz – Interne Quellen	26
Abb. 16.30	Illustration Aufgabe 1 (Innenlärm)	27
Abb. 16.31	Illustration Aufgabe 2 (Innenlärm)	28
Abb. 16.32	Illustration Aufgabe 3 (Innenlärm)	28
Abb. 16.33	SIA-Norm 181 – Mindestanf. D_{i50} ; Luftschall – Int. Quellen – tieffrequente Emissionen	29
Abb. 16.34	Schallschutz innerhalb derselben Nutzungseinheit	31
Abb. 16.35	2-kanaliges Messsystem von Norsonic	31
Abb. 16.36	BASTIAN – Luftschallberechnungsprogramm	31

ANSICHTS-EXEMPLAR
(es werden nur wenige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abkürzungen, Symbole und Einheiten:

- α : (Schall-)Absorptionsgrad [-]
- a : Abstand der Schalen bei einer Zweischalenkonstruktion [m] resp. [cm]
- A : Äquivalente Schallabsorptionsfläche [m²]; Hypothetische Grösse einer Fläche in m² mit dem Schallabsorptionsgrad 1, welche die gleiche Schallleistung absorbiert wie die Summe aller schallabsorbierenden Elemente und Oberflächen im Raum
- A_2 : Bei bauakustischen Messungen mit der Sabine'schen-Formel ermittelte äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m²]; $A_2 = 0.16 \cdot (V_2/T_2)$ - früher $A_2 = 0.163 \cdot (V_2/T_2)$
- A_0 : Bezugs-Absorptionsfläche [m²]; $A_0 = 10 \text{ m}^2$ gemäss SN EN 16283
- c : Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s)
- C : Spektrums-Anpassungswerte gemäss SN EN ISO 717-1 und -2, die auf Grund besonderer Frequenzabhängigkeiten von Geräuschen erforderlich sind, um Messwerte an die Hörempfindung anzupassen [dB]. Der Anpassungswert C geht gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 100 bis 3'150 Hz von einer Lärmbelastung mit einem Spektrum mit ziemlich gleichmässiger Frequenzverteilung aus.
- C_i : Spektrum-Anpassungswert C_i gemäss SN EN ISO 717-2 für den Frequenzbereich von 100 bis 2'500 Hz zur Bewertung vorrangig tieffrequenter Trittschallanteile [dB].
- C_{tr} : Spektrum-Anpassungswert zur Bewertung vorrangig tieffrequenter Verkehrslärm- bz. v. Musikannteile [dB]; („tr“ für „traffic“) gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 100 bis 3'150 Hz
- $C_{tr, 50-3'150 \text{ Hz}}$: Spektrum-Anpassungswert gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 50 bis 3'150 Hz [dB]
- d : Bauteil- oder Schichtdicke [m]
- D : Ermittelte Schallpegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum [dB]
- D_e : Anforderungswert an den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen (Schallschutzanforderung an den Luftschall von aussen) [dB]
- $D_{e,d}$: Projektierungswert an den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen [dB]
- $D_{e,tot}$: Gesamtwert für den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Luftschallschutz gegenüber externen Lärmquellen zu berücksichtigen sind [dB];
 $D_{e,tot} = D_{45^\circ, nT, w} + C_{tr}$; $D_{e,tot} = D_{is, 2m, nT, w} + C_{tr}$
- D_i : Anforderungswert an den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen (Schallschutzanforderung an den Luftschall von innen) [dB]
- D_{i50} : Anforderungswert an den Luftschallschutz gegenüber Räumen mit erheblich resp. massgebend tieffrequenten Emissionen in der Nacht (19:00 bis 07:00 Uhr) [dB]
- $D_{i,d}$; $D_{i50,d}$: Projektierungswert an den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen [dB]
- $D_{i,tot}$: Gesamtwert für den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen zu berücksichtigen sind [dB];
 $D_{i,tot} = D_{nT, w} + C$
- $D_{i50,tot}$: Gesamtwert für den Luftschallschutz gegenüber Räumen mit erheblich resp. massgebend tieffrequenten Emissionen in der Nacht; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Luftschallschutz gegenüber internen Lärmquellen zu berücksichtigen sind [dB];
 $D_{i50,tot} = D_{nT, w} + C_{tr, 50-3'150}$
- D_{nT} : Standard-Schallpegeldifferenz am Bau gemäss SN EN ISO 16283-1 pro Terzband gemessen [dB];
 $D_{nT} = D + 10 \cdot \log(T_2/T_0)$; $D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log(T_2/T_0)$
- $D_{nT, w}$: Bewertete, am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz [dB]; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Standard-Schallpegeldifferenzen D_{nT} [dB]
- $D_{45^\circ, nT}$: Am Bau mit einem Lautsprecher mit 45° (räumlichem) Schalleinfallswinkel gemessene Standard-Schallpegeldifferenz für die Gebäudehülle (Schallpegeldifferenz-Verfahren in Terzbändern) [dB];
 $D_{45^\circ, nT} = D + 10 \cdot \log(T/T_0)$; $D = L_{1,s} - L_2$
- $D_{45^\circ, nT, w}$: Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für die Gebäudehülle; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Standard-Schallpegeldifferenzen für die Gebäudehülle $D_{45^\circ, nT}$ [dB]
- $D_{is, 2m, nT}$: Am Bau mit einem Lautsprecher mit 45° (räumlichem) Schalleinfallswinkel gemessene Standard-Schallpegeldifferenz für die Gebäudehülle (globales Verfahren in Terzbändern) [dB];
 $D_{is, 2m, nT} = D_{is, 2m} + 10 \cdot \log(T/T_0)$; $D_{is, 2m} = L_{1, sm} - L_2$
- $D_{is, 2m, nT, w}$: Bewertete Standard-Schallpegeldifferenz für die Gebäudehülle; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Standard-Schallpegeldifferenzen für die Gebäudehülle $D_{is, 2m, nT}$ [dB]
- E_d : Dynamischer Elastizitätsmodell [N/m²]



f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
f_c :	Koinzidenz-Grenzfrequenz [Hz]
$f_{c, 10mm}$:	Koinzidenz-Grenzfrequenz bei einer Schichtdicke von 10 mm [Hz]
f_d :	(Höhere Resonanzen), Dickenresonanzfrequenz [Hz]
f_r :	Resonanzfrequenz [Hz]
G:	Gütefaktor für die Trennung bei einer Zweischalenkonstruktion
I_a :	Früher verwendeter Luftschallisationsindex im Labor gemessen [dB]
I'_a :	Früher verwendeter Luftschallisationsindex am Bau gemessen [dB]
K:	Konstante für die Berechnung der Nachhallzeit nach Sabine: 0.16 [s/m] (früher K = 0.163 s/m)
K_P :	Projektionzuschlag [dB]; Zuschlag zum Prognosewert zur Berücksichtigung von Prognoseunsicherheiten und Abweichungen in der Ausführungsqualität
K_F :	Zuschlag für Flankenübertragung resp. Einfluss der Flankenübertragung [dB] (fakultativ); Bei der Prognose durch einfache numerische Rechenverfahren oder Abschätzung nach Erfahrung wird der Prognosewert durch einen Vergleich mit Labor-Messergebnissen und/oder Ergebnissen aus Messungen an ähnlichen Bausituationen gebildet. Die Werte können dabei anhand des Zuschlags für Flankenübertragungen K_F auf die gegebene individuelle Situation angepasst werden. Eine allfällige indirekte Luftschall-Übertragung muss zusätzlich mitberücksichtigt werden.
log:	Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
L oder L_p :	Schalldruckpegel [dB]; $L_p = 10 \cdot \log(p^2/p_0^2)$
L:	Räumlicher Mittelwert der Schalldruckpegel in einem Raum, bei kontinuierlicher Abtastung des Schallfeldes [dB]
L_A oder L:	A-bewerteter Schallpegel L_A [dB(A)]; L [dB(A)]
L_{eq} oder L_{Aeq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (A-bewerteter Mittelungspegel) L_{eq} [dB(A)]; L_{Aeq} [dB]
L_{eq} oder L_{Ceq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (C-bewerteter Mittelungspegel) L_{eq} [dB(C)]; L_{Ceq} [dB]
L_1 :	Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum [dB]
$L_{1,s}$:	Schalldruckpegel direkt auf der Aussenseite des Prüfelements gemessen (energetischer Mittelwert über die Fläche) [dB]
$L_{1,2m}$:	Mittlerer Schalldruckpegel aussen 2 m vor der Fassade oder 1 m vor vorspringenden Gebäudeteilen gemessen [dB]
L_2 :	Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]
L'_r :	Beurteilungspegel [dB(A)] gemäss Lärmschutzverordnung (LSV)
L_{GG} :	Grundgeräusch im Empfangsraum [dB(A)]
L_w :	Schallleistungspegel [dB]; [dB(A)]
ΔL_{LS} :	Luftschall-Pegelkorrektur [dB]
ΔL_{tfs} :	Pegeldifferenz tieffrequenter Schall [dB]
λ :	Wellenlänge [m]
M:	Korrekturfaktor für die Zwischenschicht bei einer Zweischalenkonstruktion
M:	log (flächenbezogene Masse)
m:	Flächenbezogene Masse des Bauteils oder des Materials [kg/m ²]
p:	Schalldruck [Pa]
p_0 :	International festgelegter Bezugswert für Luftschall [Pa]; $p_0 = 20 \cdot 10^{-6}$ Pa
π :	π (Konstante = 3.141....)
R:	Schalldämm-Mass pro Terzband, ermittelt in Laboratorien, mit unterdrückten Flankenübertragungen gemäss SN EN ISO 10140-2 [dB]; $R = D + 10 \cdot \log(S/A_2)$; $D = L_1 - L_2$
R' :	Bau-Schalldämm-Mass pro Terzband, gemessen am Bau mit Nebenweg- und Flankenübertragungen [dB]; $R' = D + 10 \cdot \log(S/A_2)$; $D = L_1 - L_2$
$R'_{w,l}$:	(Bewertetes) Schalldämm-Mass im Labor gemessen [dB]; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Schalldämm-Masse R.
$R'_{w,l}$:	(Bewertetes) Schalldämm-Mass am Bau gemessen (Bau-Schalldämm-Mass) [dB]; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Bau-Schalldämm-Masse R'.
$R'_{w,res}$:	Resultierendes, bewertetes Bau-Schalldämm-Mass [dB]
R'_{45° :	Bau-Schalldämm-Mass in Terzbändern für Aussenbauteile [dB]; Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-3 mit einem Lautsprecher mit 45° (räumlichem) Schalleinfallswinkel gemessen; $R'_{45^\circ} = D + 10 \cdot \log(S/A_2) - 1.5$; $D = L_{1,s} - L_2$
$R'_{45^\circ,w}$:	Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für das in den einzelnen Terzbändern ermittelte Bau-Schalldämm-Mass für Aussenbauteile R'_{45° [dB]
S:	Gemeinsame Fläche zwischen Sende- und Empfangsraum, Trennbauteilfläche, Bauteilfläche; Netto-Bauteilfläche (aus lichten Abmessungen); Fläche zwischen Aussenraum und Empfangsraum gemäss SN EN ISO 16283-3, Anhang A [m ²]



- T: Nachhallzeit [s]; Zeitdauer in Sekunden, während der Schalldruckpegel in einem Raum nach dem Beenden einer Schallfeldanregung um 60 dB abfällt
- T oder T₂: Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]
- T₀: Bezugs-Nachhallzeit (T₀ = 0.5 [s]); Dient der Standardisierung von Schalldruckpegeln in einem Raum
- V: Raumvolumen [m³]; Nettovolumen, ohne geschlossene Festeinbauten, wie z.B. Einbaumöbel
- V₂: Raumvolumen des Empfangsraumes [m³]
- v: Geschwindigkeit [km/h], [m/s]
- CB: Cercle Bruit; Vereinigung der Lärmschutzfachstellen der Schweiz
- EMPA: Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
- FALS: Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
- SGA: Schweizerische Gesellschaft für Akustik
- SIA: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
- SIA 181: SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»; Ausgabe 2020
- USG: Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz ([SR 814.01](#))
- LSV: Eidgenössische Lärmschutz-Verordnung ([SR 814.41](#))

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Leser die geltende [SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»](#) in der Originalfassung beschaffen. Massgebend ist der Inhalt dieser Norm.

Die Erfahrungen des Skriptverfassers im Zusammenhang mit Luftschall sind gering. Seine praktische Tätigkeit auf diesem Gebiet liegt mehr als 37 Jahre zurück. Nachfolgend sind dennoch einige spezifische Aspekte zur Bauakustik angegeben. Angaben zum aktuellen Stand der Technik und des Wissens, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung, etc., sind bei Bauakustik-Fachleuten in Erfahrung zu bringen.

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



16. SCHALLÜBERTRAGUNG IM GEBÄUDE

16.1 Definitionen

Luftschall: In Luft über Teilchenschwingung (Schallwellen) sich ausbreitender Schall.

Die Luftschallübertragung kann erfolgen

- von einem Raum zu einem anderen,
- von innen nach aussen und / oder
- von aussen nach innen ...

... und zwar durch

- die trennenden Bauelemente (z. B. Wände, Decken, Dachkonstruktionen, Türen, Fenster, usw.),
- Öffnungen aller Art (z. B. Löcher, Spalten, etc.), und
- Nebenwegübertragungen (z. B. Lüftungsschächte, verputzte Innenwärmedämmungen, flankierende Bauteile, etc.).



Abb. 16.1 Typische Schallübertragungen

- A: Abschirmen von Geräuschen vom Freien ins Gebäudeinnere (Verkehrslärm, Schiesslärm, Fluglärm, Nachbarschaftslärm, etc.).
- B: Abschirmen von Geräuschen vom Gebäudeinnern ins Freie (Industrie- und Gewerbelärm, Disco, etc.).
- C: Abschirmen von Geräuschen von Haus zu Haus (z.B. in einem Mehrfamilienhaus).
- D: Abschirmen von Geräuschen von Wohnung zu Wohnung (z.B. in einem Mehrfamilienhaus, etc.).
- E: Abschirmen von Geräuschen von Raum zu Raum (z.B. Schulhaus, Zubehörraum, Wohnung, etc.).

Unter Nebenwegübertragungen versteht man jede Form der Luftschallübertragung zwischen Räumen, die nicht nur über die gemeinsamen Trennbauteile erfolgt, sondern zusätzlich z. B. durch Übertragung über Undichtheiten, Lüftungskanäle, Rohrleitungen und Ähnliches sowie über flankierende Bauteile bzw. über unplanmässige Schallbrücken.

Flankenübertragung ist der Anteil der Luftschallübertragung zwischen Räumen, der nicht über gemeinsame Trennbauteile, sondern anteilig oder insgesamt über die flankierenden Bauteile (Decken, Wände usw.) erfolgt.

16.2 Bauakustische Kenngrössen

16.2.1 Schalldämm-Mass R [dB]

Zur Ermittlung des Schalldämm-Masses R im Labor wird im Senderaum mit einem Lautsprecher Terzbandrauschen erzeugt, und zwar so, dass ein möglichst diffuses Schallfeld entsteht. Sowohl im Sende-, als auch im Empfangsraum werden in Terzbandschritten die örtlichen und zeitlichen Energiemittelwerte des Sendepiegels L_1 und des Empfangspegels L_2 gemessen und daraus die Schallpegeldifferenz D ermittelt. Um die durchgeführte Messung auf 1 m² Bauteilfläche und eine Absorptionsfläche von 1 m² im Empfangsraum umzurechnen und damit für vergleichsbetrachtungen normieren zu können, wird im Empfangsraum die vorhandene Nachhallzeit, wiederum in Terzbandschritten zwischen 100 bis 3'150 Hz gemessen.

Die Messung im Labor (d. h. im Prüfstand mit unterdrückter Flankenübertragung) erfolgt gemäss SN EN ISO 10140-2.

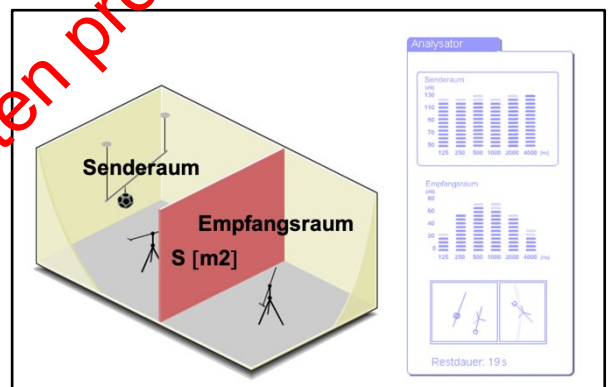


Abb. 16.2 Schema / Animation Luftschallmessung

Der frühere Link für die Animation funktioniert leider nicht mehr.

Mit diesem Messverfahren gelingt es, eine Aussage über die Güte der Luftschalldämmung des geprüften Bauelementes zu machen.

$$R = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left\{ \frac{S}{A_2} \right\} \quad [\text{dB}]$$

$$R = D + 10 \cdot \log \left\{ \frac{S \cdot T_2}{0.16 \cdot V_2} \right\} \quad [\text{dB}]$$

R: Schalldämm-Mass pro Terzband, ermittelt in Laboratorien, mit unterdrückten Flankenübertragungen [dB]; vgl. SN EN ISO 10140-2; Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung

L_1 : Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum [dB]

L_2 : Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]

D: Ermittelte Schallpegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum [dB]



- S: Gemeinsame Fläche zwischen Sende- und Empfangsraum, wobei S mindestens 5 m² beträgt [m²]
 T₂: Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]
 V₂: Raumvolumen des Empfangsraumes [m³]
 A₂: Mit der Sabine'schen-Formel (vgl. Kap. 15 Raumakustik) ermittelte äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m²]; $A_2 = 0.16(V_2/T_2)$ - früher $A_2 = 0.163(V_2/T_2)$

16.2.2 Bewertetes Schalldämm-Mass R_w [dB]

Damit die Güte des Luftschalldämmvermögens eines Bauteils mit einer einzigen Zahl (mit einer sogenannten Einzahlangabe) charakterisiert werden kann, wurde das bewertete Schalldämm-Mass R_w definiert.

Die Luftschalldämmung des im Labor geprüften Bauteils ist umso besser, je grösser das bewertete Schalldämm-Mass R_w ist.

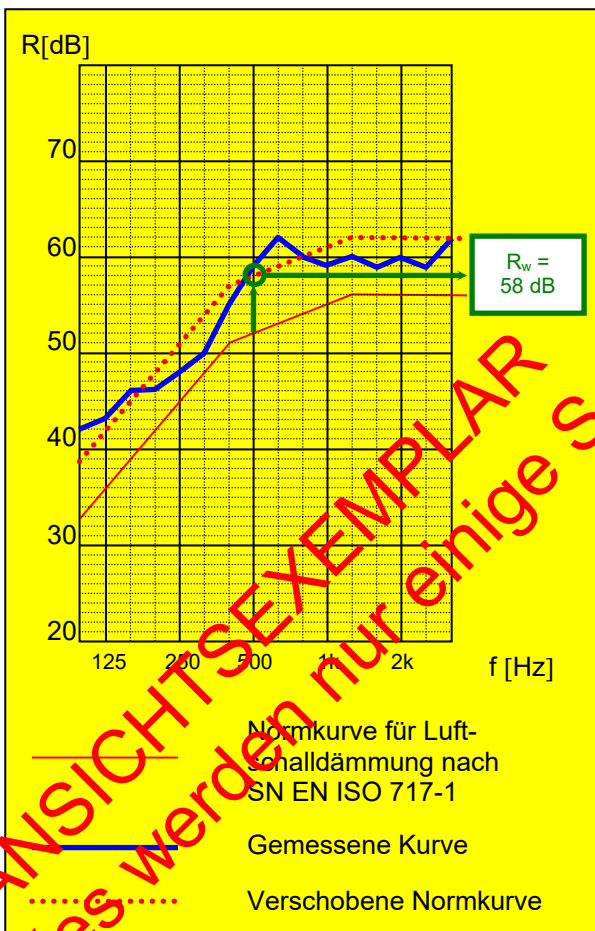


Abb. 16.3 Auswertungsdigramm Luftschallmessung zur Bestimmung von R_w

Gemäss SN EN ISO 717-1 ist das Schalldämm-Mass R_w wie folgt zu ermitteln:

Die in Terzbandschritten gemessene, frequenzabhängige Kurve des Schalldämm-Masses R wird mit einer vorgegebenen Normkurve der Luftschalldämmung bewertet.

Dabei wird die Normkurve in Schritten von ganzen Dezibel so lange gegen die gemessene R-Kurve verschoben, dass die mittlere Abweichung der gemessenen Kurve gegenüber der Normkurve maximal 2 dB, aber möglichst nahe bei 2 dB liegt. Bei der Berechnung dieses Mittelwertes werden nur jene Differenzen mitgezählt, wo die Messkurve unter der Normkurve liegt. Sind diese Bedingungen erfüllt, so entspricht der bei der verschobenen Normkurve bei 500 Hz abgelesene Wert dem bewerteten Schalldämm-Mass R_w.

Im nebenstehenden Beispiel ist die (im Labor) gemessene Kurve des Schalldämm-Masses R eingetragen. Die einzelnen R-Werte wurden mittels Messungen (L₁, L₂ und T₂) sowie aufgrund der gegebenen baulichen Verhältnisse (S und V₂) definitionsgemäss ermittelt. Aufgrund der durchgeführten Bewertung mit der Normkurve für die Luftschalldämmung lässt sich für dieses Beispiel ein bewertetes Schalldämm-Mass R_w von 58 dB ermitteln.

Normkurve für Luftschalldämmung (NK_{LS}):

f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500
NK _{LS} [dB]	23	36	39	42	45	48	51	52

f [Hz]	630	800	1k	1.25k	1.6k	2k	2.5k	3.15k
NK _{LS} [dB]	53	54	55	56	56	56	56	56

16.2.3 Bau-Schalldämm-Mass R' [dB]

Die Ermittlung des Bau-Schalldämm-Masses R' (am Bau ermittelte Werte) erfolgt analog zur Ermittlung des Schalldämmmasses R.

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left\{ \frac{S}{A_2} \right\} \quad [\text{dB}]$$

$$R' = D + 10 \cdot \log \left\{ \frac{S \cdot T_2}{0.16 \cdot V_2} \right\} \quad [\text{dB}]$$

R': Bau-Schalldämm-Mass pro Terzband, ermittelt am Bau mit Nebenweg- und Flankenübertragungen) [dB]; vgl. SN EN ISO 16283-1; Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 1: Luftschalldämmung

L₁: Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Senderaum [dB]

L₂: Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]

D: Ermittelte Schallpegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum [dB]

S: Gemeinsame Fläche zwischen Sende- und Empfangsraum, wobei S mindestens 5 m² betragen sollte [m²]

T₂: Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]

V₂: Raumvolumen des Empfangsraumes [m³]

A₂: Mit der Sabine'schen-Formel (vgl. Kap. 15 Raumakustik) ermittelte äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m²]; $A_2 = 0.16(V_2/T_2)$ - früher $A_2 = 0.163(V_2/T_2)$



16.2.4 Bewertetes Bau-Schalldämm-Mass R'_w [dB]

Analog zum bewerteten Schalldämm-Mass R_w (im Labor gemessen) wird das bewertete Bau-Schalldämm-Mass R'_w (ebenfalls als Einzahlangabe, allerdings basierend auf Messungen am Bau) bestimmt.

Die Luftschalldämmung des am Bau geprüften Bauteils ist umso besser, je grösser das bewertete Bau-Schalldämm-Mass R'_w ist.

16.2.5 Am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} [dB]

Ist zwischen dem Sende- und dem Empfangsraum keine oder nur eine sehr kleine gemeinsame Bauteilfläche vorhanden (z. B. grundriss- oder aufrissversetzte Räume, diagonal übereinanderliegende Räume, etc.), so kann nicht das Bau-Schalldämm-Mass R' , sondern «nur» die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} (am Bau gemessen) ermittelt werden. Dasselbe gilt, wenn das Volumen des Empfangsraumes ungenau definiert (z. B. bei einem angrenzenden offenen Treppenhaus) oder das Volumen des Empfangsraumes wesentlich grösser als jenes des Senderraumes ist.

Die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} charakterisiert nicht die Güte der Luftschalldämmung eines Bauelementes, sondern die Güte des Luftschallschutzes zwischen zwei Räumen.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \left\{ \frac{T_2}{T_0} \right\} \quad [\text{dB}]$$

$$D_{nT} = D + 10 \cdot \log \left\{ \frac{T_2}{T_0} \right\} \quad [\text{dB}]$$

D_{nT} : Standard-Schallpegeldifferenz am Bau gemäss SN EN ISO 16284-1 pro Terzband gemessen [dB]

L_1 : Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Senderraum [dB]

L_2 : Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum [dB]

D : Ermittelte Schallpegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum [dB]

T_2 : Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]

T_0 : Bezugs-Nachhallzeit ($T_0 = 0.5$ [s])

Die Ermittlung der Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} geschieht analog zur Ermittlung des Bau-Schalldämm-Masses. Der Unterschied besteht darin, dass die in Terzbandschritten gemessenen Werte (L_1 , L_2 und T_2) nicht über die gemeinsame Bauteilfläche S normiert, sondern über eine Bezugs-Nachhallzeit (T_0) standardisiert werden.

16.2.6 Bewertete, am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ [dB]

Bei der Bestimmung der bewerteten Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ (Einzahlangabe zur Güte des Luftschallschutzes) wird genau gleich vorgegangen, wie bei der Bestimmung des bewerteten Schalldämm-Masses R_w bzw. des bewerteten Bau-Schalldämm-Masses R'_w , d.h. die in Terzbandschritten gemessene, frequenzabhängige Kurve der Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} wird mit der vorgegebenen Normkurve der Luftschalldämmung bewertet.

$D_{nT,w}$: Bewertete, am Bau gemessene Standard-Schallpegeldifferenz [dB]; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-1 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Standard-Schallpegeldifferenzen D_{nT} [dB]

Die Luftschallschutz ist umso besser, je grösser die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ ist.

16.2.7 Luftschall-Pegelkorrektur ΔL_{LS} [dB]

Zur Umrechnung von bewerteten Bau-Schalldämm-Massen R'_w in bewertete Standard-Schallpegeldifferenzen $D_{nT,w}$ kann folgende Luftschall-Pegelkorrektur verwendet werden, die in Abhängigkeit von der Grösse der Trennfläche (S) und vom Volumen des Empfangsraumes (V_2) steht.

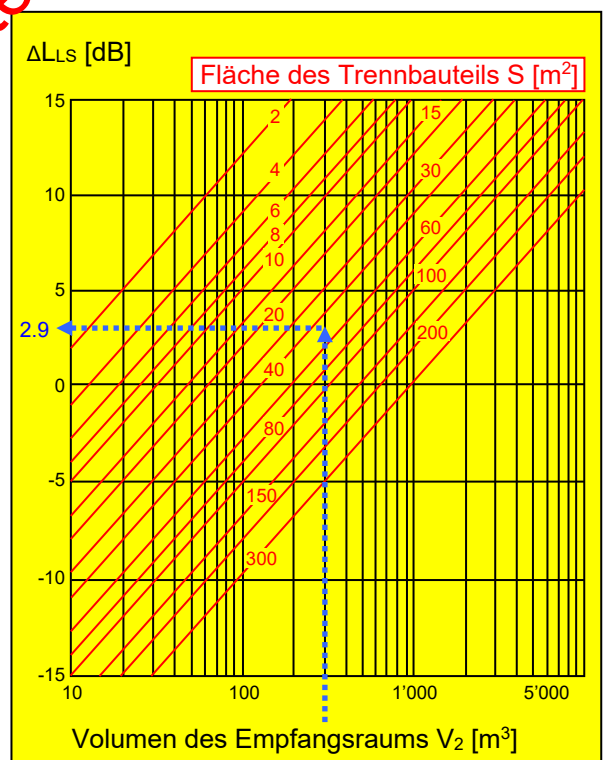


Abb. 16.4 Nomogramm ΔL_{LS} [dB] in Funktion von V_2 [m³] und S [m²]



17.	(SCHALLSCHUTZ-) FENSTER	4
17.1	Einführung	4
17.2	Fenstertypen und Fensterteile	4
17.2.1	Einfachverglastes Fenster (EV)	4
17.2.2	Einfachverglastes Fenster (EV) mit Vorfenster	4
17.2.3	Doppelverglastes Fenster (DV)	4
17.2.4	Isolierverglastes Fenster (IV)	4
17.2.5	Verbundfenster	4
17.2.6	Kastenfenster	4
17.2.7	Schallschutz-Isolierglas	4
17.2.8	Gasfüllungen im Isolierglas	5
17.2.9	Sprossenlösungen bei einer Isolierverglasung	5
17.2.10	Fensterteile	5
17.2.11	Gebräuchliche Öffnungsarten	6
17.2.12	Mögliche Anschlagsarten	6
17.2.13	Konstruktionsaufnahmen und Kontrollen vor Ort	6
17.2.14	Abminderung des Schalldämmvermögens	7
17.2	Rahmenmaterialien	8
17.3	Sanierung von Fenstern in bestehenden Gebäuden	8
17.3.1	System Neubaurahmen	8
17.3.2	System Wechselrahmen	8
17.3.3	System mit Ersatzverglasung bzw. Zusatz- oder Ersatzscheibe	8
17.3.4	System mit Nachbesserungen an den Beschlägen, Dichtungen, etc.	9
17.4	Schalldämmung von Fenstern	9
17.4.1	Einflüsse auf das Schalldämmmass R_w von Fenstern	9
17.4.2	Messung der Glasstärken	9
17.4.2	Schalldämmung von typischen Isolierverglasungen	10
17.4.3	Theoretische Bestimmung von R_w [dB]	11
17.5	Einfluss der Grösse der Verglasung	11
17.5.1	Spektraler Anpassungswerte C und C_{tr} [dB]	11
17.5.3	Spektrales Schalldämmmass R^*_{tr} [dB]	12
17.5.4	Ermittlung von R_w mittels Messung am Bau (MLS-Messungen)	12
17.5.5	Vorhalten von 1–2 dB für bau-übliche Nebenwegübertragungen	12
17.5.6	Zu erwartende Bau-Schalldämmmasse R_w	12
17.6	Räumliche Angliederung des Schallschutzfenstereinbaus bei Anlagensanierungen	13
17.6.1	Räume mit lärmempfindlicher Nutzung	13
17.6.2	Raumnutzungen mit / ohne Anspruch auf Schallschutzfenster	13
17.7	Schalltechnische Anforderungen gemäss LSV Anhang 1	13
17.8	Anforderungen Norm SIA 181 vs. Anforderungen LSV Anhang 1	14
17.9	Kosten	14
17.9.1	Kostenvergleiche Schallschutzverglasungen	14
17.9.2	Richtpreise für Kostenschätzungen	14
17.10	Schalldämmlüfter	15
17.11	Sanierung der Rollladenkästen	15
17.12	Probleme bei Fassadensanierungen mit Sandwichelementen	16
17.13	Probleme mit Randwärmestreifen	17
17.14	Aspekte der Denkmalpflege	18
17.15	Leistungsverzeichnis / Werkvertrag	18
17.16	Einbau von Schallschutzfenstern bei überschrittenem Alarmwert	19
17.16.1	Gesetzliche Grundlagen	19
17.16.2	Unterschiedliche Praxis beim SSF-Einbau in der Schweiz (Strassenlärm)	19
17.16.3	Kostentragungsregelung bei den Eisenbahnen	21
17.17	Optimales Lüften nach erfolgtem Einbau von Schallschutzfenstern	21
17.17.1	Problemstellung	21
17.17.2	Ursachen	21
17.17.3	Optimales Lüften	21
17.18	Vollzugsordner „Schallschutzfenster“ des Kantons Aargau	21



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 17.1	Einfachverglastes Fenster (EV).....	4
Abb. 17.2	Einfachverglastes Fenster (EV) mit (innerem) EV-Vorfenster	4
Abb. 17.3	Doppelverglastes Fenster (DV).....	4
Abb. 17.4	Isolierverglastes Fenster (IV)	4
Abb. 17.5	Verbundfenster.....	4
Abb. 17.6	Kastenfenster	4
Abb. 17.7	Aufbau Schallschutz-Isolierglas	4
Abb. 17.8	Sprossenlösungen	5
Abb. 17.9	Fensterteile	5
Abb. 17.10	Fensterteile (Fortsetzung)	5
Abb. 17.11	Öffnungsarten	6
Abb. 17.12	Öffnungsarten	6
Abb. 17.13	Disto Lasermessgerät zur Bestimmung der Mauerlichtmasse u. ä.	6
Abb. 17.14	(Mauer-)Lichtmass LM Breite	6
Abb. 17.15	Rahmen-Aussenmass Ra Breite (wird innen gemessen !)	6
Abb. 17.16	(Mauer-)Lichtmass LM Höhe	6
Abb. 17.17	Rahmen-Aussenmass Ra Höhe	6
Abb. 17.18	Herstellerangaben im Randverbund der Isolierverglasung	6
Abb. 17.19	Kontrolle der Dichtungen	6
Abb. 17.20	Papiertest	7
Abb. 17.21	Bandung mit ungenügender Richtmöglichkeit zur Gewährleistung des erforderlichen Anpressdruckes	7
Abb. 17.22	Beschlag mit optimaler Richtmöglichkeit zur Gewährleistung des erforderlichen Anpressdruckes	7
Abb. 17.23	Abminderungen des Schalldämmvermögens	7
Abb. 17.24	Holz-, Holz-Metall- und Kunststofffenster	8
Abb. 17.25	Demontierte Flügelrahmen / vorbereiteter alter Fensterrahmen für Einsatz neuer Wechselrahmen	8
Abb. 17.26	Detail des alten Fensterrahmens: Grob gehobelte Fläche mit Dichtungsband	8
Abb. 17.27	Schallschutzglas, Dichtungen und Seidenzopf	9
Abb. 17.28	Bestimmung der Scheibendicke mit optischer Ablesereinrichtung (Glas-O-Meter)	9
Abb. 17.29	Messung der Gesamtglasstärke mit Glas-O-Meter	10
Abb. 17.30	Einfluss der Grösse der Verglasung auf den R _w -Wert	11
Abb. 17.31	Schallschutzmessung durch die EMPA	12
Abb. 17.32	Schalldämmlüfter Firma SIEGENIA-AUBI, Leinfelden (www.siegenia.ch)	15
Abb. 17.33	Mögliches Detail für einfache Sanierung des Rollladenkastens	16
Abb. 17.34	Mögliches Detail für aufwendigere (bessere) Sanierung Rollladenkastens	16
Abb. 17.35	Mögliches Detail für Sanierung des Fensterrahmenverbreiterung	16
Abb. 17.36	Sanierter Rollladenkasten / neue Kurbel statt Gurt	16
Abb. 17.37	Schema wärmetechnisch sanierte Fassade	16
Abb. 17.38	Wärmetechnisch sanierte Fassade mit Sandwichelementen	17
Abb. 17.39	Gravierende Schalllängsleitungen (im Frequenzbereich von 315 bis 400 Hz)	17
Abb. 17.40	Mangelhafte Detailausbildung beim Randwärmedämmstreifen	17
Abb. 17.41	Mögliche Detailausbildung beim Randwärmedämmstreifen	17
Abb. 17.42	Holzfenster, Neubauplatten, IV 8 / 16 / 4 mm	18
Abb. 17.43	In Zusammenarbeit mit Denkmalpflege des Kantons NW sanierte Fenster (Engelbergstrasse, Stans) ...	18
Abb. 17.44	Zur Gilgen, Haus am Schwanenplatz, Luzern	18
Abb. 17.45	Detail, Holz-Metallfenster mit 2-fach umlaufender Falzdichtung	19
Abb. 17.46	Illustration gesetzliche Regelung Schallschutzfenstereinbau	19
Abb. 17.47	Ergänzender Einbau von Schallschutzfenstern bei einem typischen AW-Gebäude	19
Abb. 17.48	Beitragssätze im Kanton Luzern (Basis: ES II und III; Wohnräume)	20
Abb. 17.49	Kassaden-, geschoss- und fensterabhängige Beitragssätze im Kanton Luzern	20
Abb. 17.50	Beitragssätze im Kanton Nidwalden (Basis: ES II und III; Wohnräume)	20
Abb. 17.51	Mitmachraten freiwilliger SSF-Einbau im Kanton Nidwalden	20



Abkürzungen:

AW:	Alarmwert
AW:	Aussenwand
B:	Lärmempfindlicher Betriebsraum mit SSF-Anspruch
BAFU:	Bundesamt für Umwelt
BUWAL:	frühere Bezeichnung des heutigen Bundesamtes für Umwelt
CB:	Cercle Bruit Schweiz, Vereinigung kantonaler Lärmschutzfachleute
C:	Spektraler Anpassungswert [dB]
C _{tr} :	Spektraler Anpassungswert „traffic“ [dB]
DV:	Doppelverglastes Fenster
e:	Natürliche Zahl ($e = 2.71828...$)
EG:	Erdgeschoss
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ES:	Geltende Empfindlichkeitsstufe nach LSV Art. 43 (vgl. Bau- und Zonenreglement resp. Zonenplan)
EV:	Einfachverglastes Fenster
f:	Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
GH:	Giessharzverleimte Scheiben
GD _a :	Glasdicke aussen [mm]
GD _i :	Glasdicke innen [mm]
GGD:	Gesamtglasdicke ($GD_i + GD_a$) [mm]
IV:	Isolierverglastes Fenster
IV:	Gesamtdicke Isolierglas-Element [mm]
IGW:	Immissionsgrenzwert
L:	Schalldruckpegel, Schallpegel [dB] [dB(A)]
L _A :	A-bewerteter Schallpegel [dB(A)]
LBK:	Lärmbelastungskataster
L _{eq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel) [dB(A)]
LM:	(Mauer-)Lichtmass [mm]
L _r :	Belastungsgrenzwert (AW, IGW, PW)
L _r ':	Beurteilungspegel [dB(A)]
log:	Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
λ:	Wellenlänge [m]
MLS:	Messverfahren (Maximum-Length-Sequence)
OG:	Obergeschoss
π:	PI (Konstante = 3.14159...)
φ:	Vorherrschender Schalleinfallswinkel
PW:	Planungswert
R _a :	Rahmen-Aussenmass [mm]
R'	Am Bau gemessenes Schalldämmmass des Bauteils [dB]
R [*] _{tr} :	Spektral korrigiertes Bau-Schalldämmmass [dB] (heute nicht mehr gültig)
R _w :	Im Labor gemessenes, bewertetes Schalldämmmass des Bauteils [dB]
R' _w :	Am Bau gemessenes, bewertetes (Bau-) Schalldämmmass des Bauteils [dB]
R _{w res.} :	Resultierende Schalldämmung mehrerer Bauteile [dB]
S:	Bauteilfläche [m ²]
SF ₆ :	Schwefelhexafluorid
SGA:	Schweizerische Gesellschaft für Akustik
SIA:	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SSF:	Schallschutzfenster
SZR:	Scheibenzwischenraum [mm]
u:	Lärmunempfindlicher Raum (kein SSF-Anspruch)
VSG:	Sicherheitsglas
W:	Lärmempfindlicher Wohnraum mit SSF-Anspruch
WRG:	Wärmerückgewinnung
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)
SIA 181 :	Norm «Schallschutz im Hochbau»

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden.

Nachfolgend sind die einige spezifische Probleme und Gesetzmässigkeiten zu (Schallschutz-) Fenstern angegeben. Weitere Unterlagen, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung etc., sind bei Bauakustik-Fachleuten in Erfahrung zu bringen.



17. (SCHALLSCHUTZ-) FENSTER

17.1 Einführung

Fenster unterliegen bezüglich der Luftschalldämmung grundsätzlich denselben Gesetzmässigkeiten wie andere Bauteilkonstruktionen (z. B. Wände, Decken, etc.). Sie erreichen aber infolge ihres geringen Flächengewichtes und der kleinen "Schalenabstände" (Abstände der einzelnen Scheiben) nur relativ geringe Luftschalldämmwerte.

17.2 Fenstertypen und Fensterteile

17.2.1 Einfachverglastes Fenster (EV)

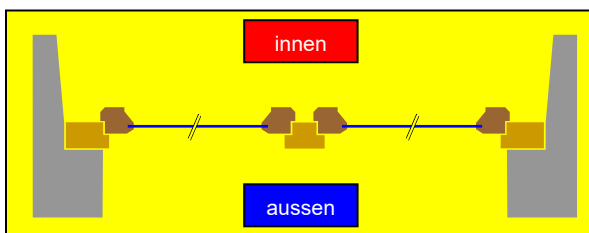


Abb. 17.1 Einfachverglastes Fenster (EV)

(Holz-)Fenster mit Flügelrahmen und eingesetzter Einfachverglasung (EV); $R'_w < 20$ dB

17.2.2 Einfachverglastes Fenster (EV) mit Vorfenster

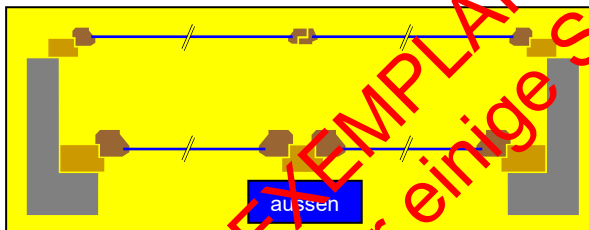


Abb. 17.2 Einfachverglastes Fenster (EV) mit (innerem) EV-Vorfenster

(Holz-)Fenster mit Flügelrahmen und eingesetzter Einfachverglasung (EV) sowie (innerem) EV-Vorfenster; $R'_w < 25$ dB.

17.2.3 Doppelverglastes Fenster (DV)

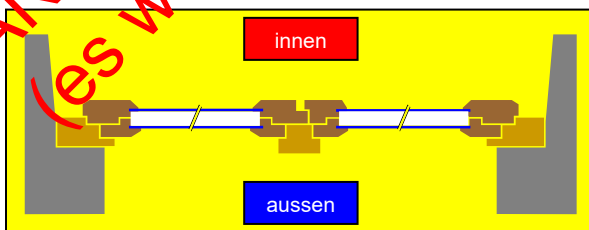


Abb. 17.3 Doppelverglastes Fenster (DV)

(Holz-)Fenster mit zwei miteinander verschraubten Flügelrahmen mit jeweils einer eingesetzten Scheibe; $R'_w < 28$ dB.

17.2.4 Isolierverglastes Fenster (IV)

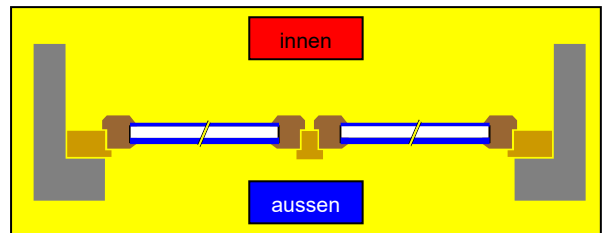


Abb. 17.4 Isolierverglastes Fenster (IV)

Fenster mit Flügelrahmen und eingesetzter 2-fach-Isolierverglasung (IV); R'_w ca. 30 bis 42 dB.

17.2.5 Verbundfenster

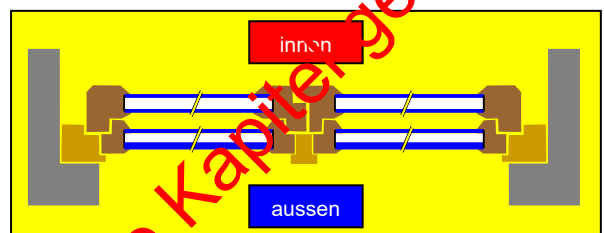


Abb. 17.5 Verbundfenster

Fenster mit zwei miteinander verschraubten Flügelrahmen mit jeweils eingesetzter 2-fach-Isolierverglasung; R'_w ca. 35 bis 50 dB.

17.2.6 Kastenfenster

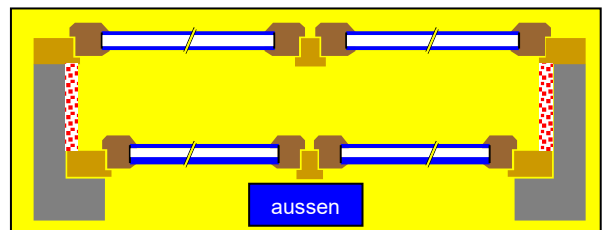


Abb. 17.6 Kastenfenster

Fenster mit zwei, mindestens um 15 cm voneinander getrennten Flügelrahmen mit jeweils eingesetzter 2-fach-IV und seitlich und oberer Hohlraumbedämpfung; R'_w ca. 40 bis 60 dB.

17.2.7 Schallschutz-Isolierglas

Ein Schallschutz-Isolierglas besteht aus zwei unterschiedlich dicken Scheiben.

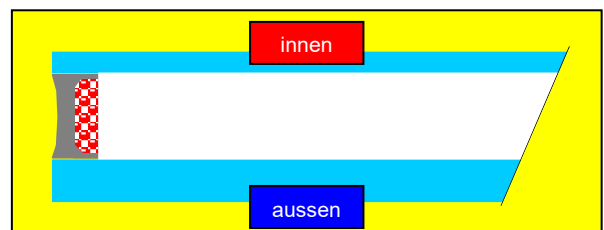


Abb. 17.7 Aufbau Schallschutz-Isolierglas



In der Regel wird das dickere Glas aussen eingebaut, was jedoch schalltechnisch nicht zwingend ist. Der Grund liegt darin, dass die „äussere“ Oberfläche des raumseitigen Glases oftmals eine wärmeschutztechnische Beschichtung aufweist. Es ist industriell einfacher, diese jeweils auf ein 4er-Standard Glas zu applizieren und das eigentliche Spezialschallschutzglas ohne solche Beschichtung herzustellen und somit auf der Aussen-seite einzubauen. Die Gläser sind ab Werk mit einem Kleber gekennzeichnet, damit diese letztlich am Bau nicht falsch eingebaut werden, was wärmetechnisch nachteilig wäre.

Ein Isolierglas besteht aus jeweils aus 2 oder 3 Scheiben (Flachglas), die am Rand hermetisch abgeschlossen sind. Verbreitet ist die Variante mit Abstandhalter und integriertem Trockenmittel, Butyl-Verklebung und Abdichtung. Beim Randverbund kann heute anstelle eines Abstandhalters in Aluminium ein solcher aus glasfaserverstärktem Kunststoff verwendet werden, was wärmetechnisch vorteilhaft ist.

17.2.8 Gasfüllungen im Isolierglas

Heute üblich sind Luft-Argon- oder andere Edelgasmischungen z.B. aus Krypton. Verboten sind solche mit Schwefelhexafluorid (SF₆), weil dieses Schwergas zum Abbau der Ozonschicht beiträgt.

17.2.9 Sprossenlösungen bei einer Isolierverglasung

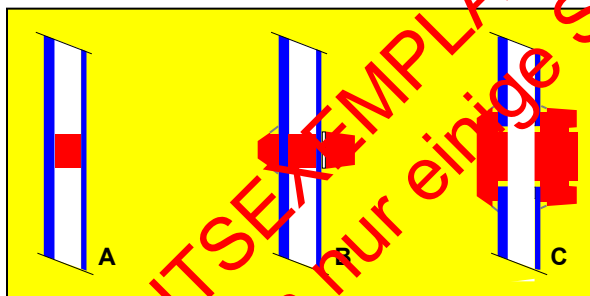


Abb. 17.8 Sprossenlösungen

- A: Zwischenglassprossen (Vorteil: einfache Reinigung)
 B: Sprosse mit durchlaufenden Gläsern, Zwischenglassprosse und aufgesetzten Sprossen innen und / oder aussen
 C: Sprosse mit getrennten Gläsern (teuerste Variante und schalltechnisch aufgrund kleinerer Glaseinheiten u. U. nachteilig)

17.2.10 Fensterteile

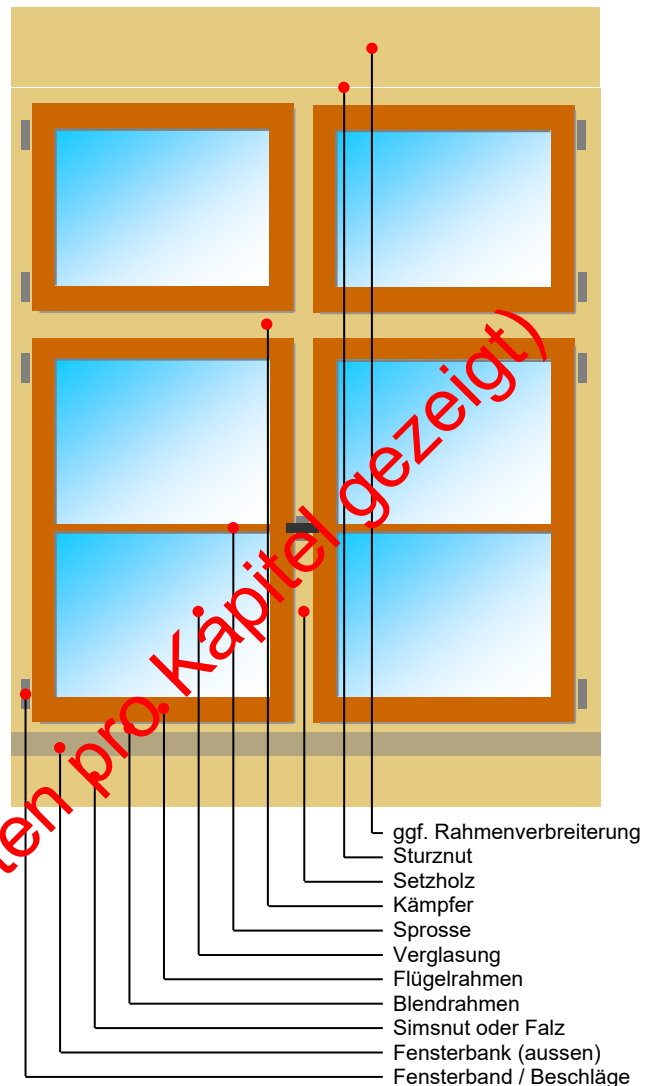


Abb. 17.9 Fensterteile

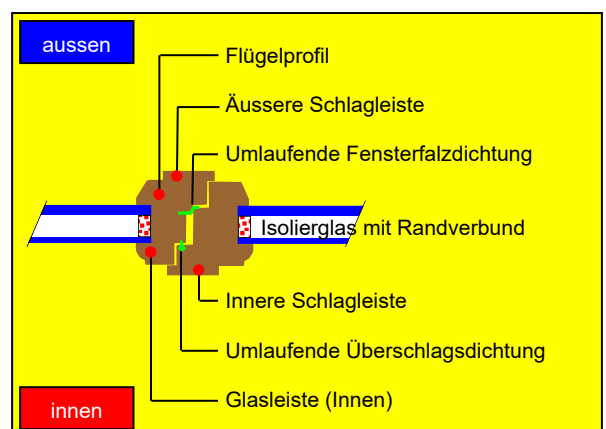


Abb. 17.10 Fensterteile (Fortsetzung)



17.2.11 Gebräuchliche Öffnungsarten

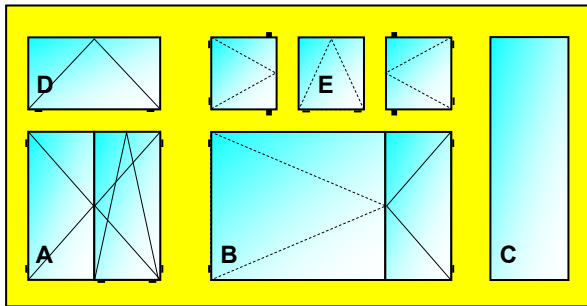


Abb. 17.11 Öffnungsarten

A: Zweiflügeliges Fenster mit einem Drehflügel (Band links) und einem kombinierten Dreh-Kippflügel (Band rechts)

B: Zweiflügeliges Fenster mit einem Drehflügel (Band rechts) und einem verschraubten (zur Reinigung aber ebenfalls drehbaren) Flügel (Band links)

C: Festverglasung

D: Verschraubter Oberflügel zum Kippen (Band unten)

E: Drei verschraubte Oberflügel (Bänder links/unten/rechts)

17.2.12 Mögliche Anschlagarten

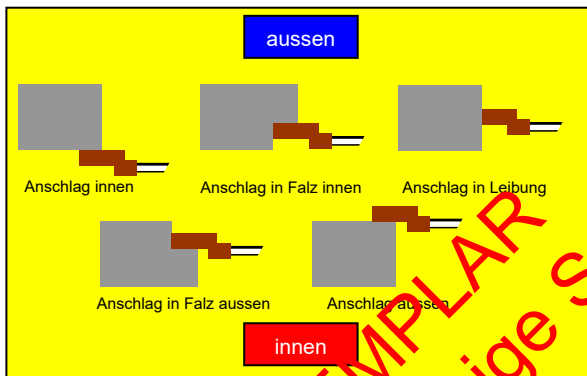


Abb. 17.12 Öffnungsarten

17.2.13 Konstruktionsaufnahmen und Kontrollen vor Ort

a) Messung der Fenstermasse



Abb. 17.13 Disto Lasermessgerät zur Bestimmung der Mauerlichtmasse u. ä.

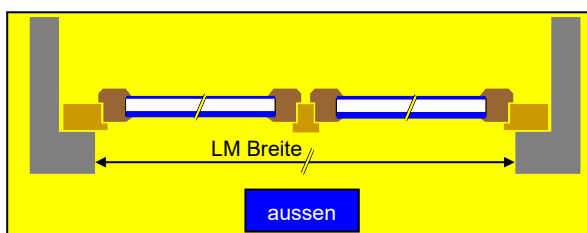


Abb. 17.14 (Mauer-) Lichtmasse LM Breite

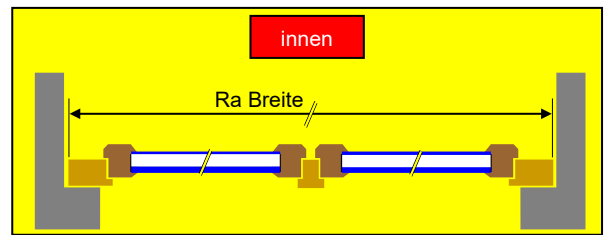


Abb. 17.15 Rahmen-Aussenmass Ra Breite (wird innen gemessen !)

Abb. 17.16 (Mauer-) Lichtmasse LM Höhe

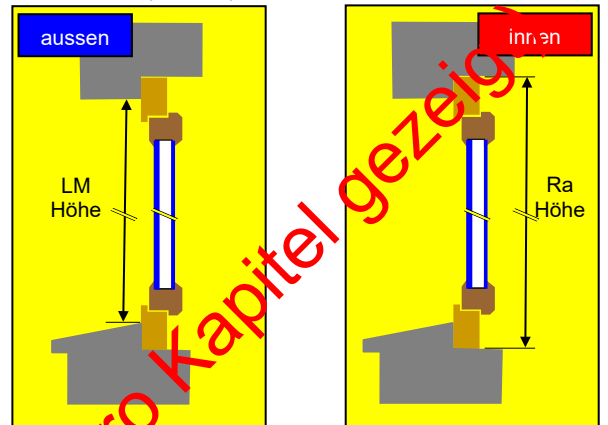


Abb. 17.17 Rahmen-Aussenmass Ra Höhe

(wird innen gemessen !)

b) Bestimmung des Alters einer Isolierverglasung

Im Zusammenhang mit der Kostenrückerstattung bereits eingebauter Schallschutzfenster im Rahmen eines Lärmsanierungsprojekts ist der Zeitpunkt des Einbaus von Bedeutung. Hierbei können allenfalls die Herstellerangaben im Randverbund der Isolierverglasung Aufschluss geben.



Abb. 17.18 Herstellerangaben im Randverbund der Isolierverglasung

c) Kontrolle der Dichtungen

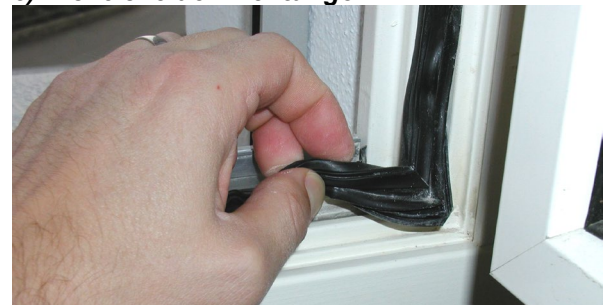


Abb. 17.19 Kontrolle der Dichtungen (Ecken verschweisst? Elastizität?)



18.	KÖRPERSCHALL IM GEBÄUDE	4
18.1	Einführung	4
18.2	Definition Körperschall	4
18.3	Trittschall- bzw. Trittschallnebenwegübertragung	4
18.3.1	Definition Trittschallübertragung	5
18.3.2	Trittschallpegel L_i [dB]	5
18.3.3	Norm-Trittschallpegel L_n bzw. L'_n	5
18.3.4	Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L_{n,w}$ [dB] bzw. $L'_{n,w}$ [dB]	6
18.3.5	Standard-Trittschallpegel L'_{nT}	6
18.3.6	Bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ [dB]	6
18.3.7	Trittschall-Pegelkorrektur ΔL_{Ts} [dB]	6
18.3.8	Spektrum-Anpassungswerte C_i [dB]	7
18.3.9	Subjektive Empfindung des Trittschallschutzes	7
18.3.10	Trittschalldämmung von Massivdecken (Rohdecken)	7
18.3.11	Trittschalldämmung mit weichfedernden Gehbelägen	8
18.3.12	Trittschalldämmung mit schwimmenden Böden («Estriche»)	9
18.3.13	Trittschalldämmung von Holzkonstruktionen	9
18.3.14	HBT - ISOL – Körperschalldämmelemente und Systeme	9
18.4	SIA-Norm 181 (2020) – Trittschallschutz	10
18.4.1	SIA-Norm 181 – Trittschallschutz – Mindestanforderungen	10
18.4.2	Zu führende Nachweise	10
18.4.3	Erhöhte Anforderungen an den Trittschallschutz	11
18.4.4	Spezialfälle	11
18.4.5	Grundaufgaben Trittschallschutz	11
18.5	Software für Trittschallberechnungen	12
18.5.1	EXCEL-Tool der FALS für Schallschutz-Nachweise	12
18.5.2	Software für Schallschutz-Prognosen	12
18.6	Literatur	12
18.7	Norm-Hammerwerk vs. Trittschall-Ball	12

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 18.1	Animierte Biegewellen	4
Abb. 18.2	Decke mit hartem bzw. weichen Belag	4
Abb. 18.3	Norm-Hammerwerk, Norsonic Typ 21	5
Abb. 18.4	Schema Trittschallmessung mit Norm-Hammerwerk	5
Abb. 18.5	Schema / Animation Trittschallmessung	5
Abb. 18.6	Auswertungsdiagramm Trittschallmessung	6
Abb. 18.7	Nomogramm ΔL_{Ts} [dB] in Funktion von V_2 [m ³]	7
Abb. 18.8	Bewerteter Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ für Beton-Rohdecken [dB]	8
Abb. 18.9	Trittschalldämmung verschiedener weicher Beläge	8
Abb. 18.10	Konstruktionsaufbau einer schwimmenden Bodenüberkonstruktion	9
Abb. 18.11	Homepage www.dataholz.com	9
Abb. 18.12	Detailausbildungen Treppen- und Podestlagerung, HBT-ISOL, Bremgarten	9
Abb. 18.13	SIA-Norm 181 – Mindestanforderungen L'_i ; Trittschallschutz	10
Abb. 18.14	Illustration Aufgabe 1	11
Abb. 18.15	BASTIAN – Trittschallberechnungsprogramm	12
Abb. 18.16	Trittschall-Ball von Norsonic AG	12



Abkürzungen:

- α : (Schall-)Absorptionsgrad [-]
- A: Äquivalente Schallabsorptionsfläche [m²]; Hypothetische Grösse einer Fläche in m² mit dem Schallabsorptionsgrad 1, welche die gleiche Schallleistung absorbiert wie die Summe aller schallabsorbierenden Elemente und Oberflächen im Raum
- A₀: Bezugs-Absorptionsfläche [m²]; A₀ = 10 m² gemäss SN EN 16283
- A₂: Bei bauakustischen Messungen mit der Sabine'schen-Formel ermittelte äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m²]; A₂ = 0.16 · (V₂/T₂) - früher A₂ = 0.163 · (V₂/T₂)
- c: Schallgeschwindigkeit (ca. 340 m/s)
- C: Spektrums-Anpassungswerte gemäss SN EN ISO 717-1 und -2, die auf Grund besonderer Frequenzabhängigkeiten von Geräuschen erforderlich sind, um Messwerte an die Gehörempfindung anzupassen [dB]. Der Anpassungswert C geht gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 100 bis 3'150 Hz von einer Lärmbelastung mit einem Spektrum mit ziemlich gleichmässiger Frequenzverteilung aus.
- C_i: Spektrum-Anpassungswert C_i gemäss SN EN ISO 717-2 für den Frequenzbereich von 100 bis 2'500 Hz zur Bewertung vorrangig tieffrequenter Trittschallanteile [dB].
- C_{tr}: Spektrum-Anpassungswert zur Bewertung vorrangig tieffrequenter Verkehrslärm- bzw. Musikanteile [dB]; („tr“ für „traffic“) gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 100 bis 3'150 Hz
- C_{tr 50-3'150 Hz}: Spektrum-Anpassungswert gemäss SN EN ISO 717-1 für den Frequenzbereich von 50 bis 3'150 Hz [dB]
- f: Frequenz [Hz]; Anzahl Schwingungen pro Sekunde [1/s]
- K: Konstante für die Berechnung der Nachhallzeit nach Sabine: 0.16 [s/m]; früher K = 0.163 s/m)
- K_P: Projektierungszuschlag [dB]; Zuschlag zum Prognosewert zur Berücksichtigung von Prognoseunsicherheiten und Abweichungen in der Ausführungsqualität
- K_F: Zuschlag für Flankenübertragung resp. Einfluss der Flankenübertragung [dB] (fakultativ); Bei der Prognose durch einfache numerische Rechenverfahren oder Abschätzung nach Erfahrung wird der Prognosewert durch einen Vergleich mit Labor-Messergebnissen und/oder Ergebnissen aus Messungen an ähnlichen Bausituationen gebildet. Die Werte können dabei anhand des Zuschlags für Flankenübertragungen K_F auf die gegebene individuelle Situation angepasst werden. Eine allfällige indirekte Luftschall-Übertragung muss zusätzlich mitberücksichtigt werden.
- log: Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
- L oder L_p: Schalldruckpegel [dB]; L_p = 10 · log(p²/p₀²)
- L: Räumlicher Mittelwert des Schalldruckpegel in einem Raum, bei kontinuierlicher Abtastung des Schallfeldes [dB]
- L_A oder L: A-bewerteter Schallpegel L_A [dB(A)]; L [dB(A)]
- L_{eq} oder L_{Aeq}: Energieäquivalenter Dauerschallpegel (A-bewerteter Mittelungspegel) L_{eq} [dB(A)]; L_{Aeq} [dB]
- L_{eq} oder L_{Ceq}: Energieäquivalenter Dauerschallpegel (C-bewerteter Mittelungspegel) L_{eq} [dB(C)]; L_{Ceq} [dB]
- L': Anforderungswert an den Trittschallschutz [dB]
- L'_d: Projektierungswert für den Trittschallschutz [dB]
- L_i: Trittschallpegel; Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum, wenn die begehbare Konstruktion im Senderraum mit dem Norm-Hammerwerk angeregt wird. L_i wird pro Terzband angegeben [dB]
- L_n: Norm-Trittschallpegel; Im Labor an Decken mit unterdrückter Flankenübertragung gemäss SN EN ISO 10140-3 gemessen. Die Anregung erfolgt mit dem Norm-Hammerwerk. L_n wird pro Terzband angegeben [dB];
 $L_n = L_i + 10 \cdot \log(A_2/A_0)$
- L'_n: Norm-Trittschallpegel; Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-2 (oder im Labor im früher üblichen Prüfstand mit Flankenübertragung) gemessen. Die Anregung erfolgt mit dem Norm-Hammerwerk. L'_n wird pro Terzband angegeben [dB];
 $L'_n = L_i + 10 \cdot \log(A_2/A_0)$
- L_{n,w}: Bewerteter Norm-Trittschallpegel des im Labor mit unterdrückter Flankenübertragung gemessenen Deckenbauteils; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-2 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Norm-Trittschallpegel L_n [dB]
- L'_{n,w}: Bewerteter Norm-Trittschallpegel am Bau gemessen; Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-2 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Norm-Trittschallpegel L'_n [dB]
- L'_{nT}: Standard-Trittschallpegel; Am Bau gemäss SN EN ISO 16283-2 gemessen. Die Anregung erfolgt mit dem Norm-Hammerwerk. L'_{nT} wird pro Terzband angegeben [dB];
 $L'_{nT} = L_i - 10 \cdot \log(T_2/T_0)$
- L'_{nT,w}: Bewerteter Standard-Trittschallpegel; Am Bau gemessen. Einzahlangabe gemäss SN EN ISO 717-2 für die in den einzelnen Terzbändern ermittelten Standard-Trittschallpegel L'_{nT} [dB]
- L'_{tot}: Gesamtwert für den Trittschallschutz; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Trittschallschutz zu berücksichtigen sind [dB];
 $L'_{tot} = L'_{nT,w} + C_i$



λ :	Wellenlänge [m]
T:	Nachhallzeit [s]; Zeitdauer in Sekunden, während der Schalldruckpegel in einem Raum nach dem Beenden einer Schallfeldanregung um 60 dB abfällt
T oder T_2 :	Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]
T_0 :	Bezugs-Nachhallzeit ($T_0 = 0.5$ [s]); Dient der Standardisierung von Schalldruckpegeln in einem Raum
V:	Raumvolumen [m ³]; Nettovolumen, ohne geschlossene Festeinbauten, wie z.B. Einbaumöbel
V_2 :	Raumvolumen des Empfangsraumes [m ³]
v:	Geschwindigkeit [km/h], [m/s]
CB:	Cercle Bruit; Vereinigung der Lärmschutzfachstellen der Schweiz
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
SGA:	Schweizerische Gesellschaft für Akustik
SIA:	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIA 181 :	SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»; Ausgabe 2020
USG:	Bundesgesetz über den Umweltschutz, Umweltschutzgesetz (SR 814.01)
LSV:	Eidgenössische Lärmschutz-Verordnung (SR 814.41)

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern entweder gelöscht oder neu adressiert wurden

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Leser die geltende [SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»](#) in der Originalfassung beschaffen. Massgebend ist der Inhalt dieser Norm.

Danke an Alastair Gurtner für seine fachlichen Impute zum Gummi-Ball.

Die Erfahrungen des Skriptverfassers im Zusammenhang mit Körperschall sind gering. Seine praktische Tätigkeit auf diesem Gebiet liegt mehr als 37 Jahre zurück. Nachfolgend sind dennoch einige spezifische Aspekte zur Bauakustik angegeben. Angaben zum aktuellen Stand der Technik und des Wissens, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung, etc., sind bei Bauakustik-Fachleuten in Erfahrung zu bringen.

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



18. KÖRPERSCHALL IM GEBÄUDE

18.1 Einführung

Besteht zwischen einem Geräuscherzeuger und einem Bauteil ein direkter Kontakt (z. B. beim Klopfen mit einem Hammer an die Wand), so wird der Bauteil direkt in Biegeschwingung versetzt (**Körperschall**). Die Erzeugung solcher Biegeschwingungen nennt man Körperschallanregung des Bauteils mit der dadurch resultierenden Körperschallübertragung.

Im Wohnungsbau kann vor allem die direkte Anregung des Fussbodens beim Begehen zu störendem **Trittschall** führen. Trittschall ist also eine spezielle Art des Körperschalls. Körperschallübertragungen entstehen auch durch die Anregung von Armaturen, Installationen, Duschetassen, Bädewannen, etc., sowie durch ein- und auslaufendes Wasser in Lavabos, etc.

Um bei einer eventuellen Störung die Art der Schallübertragung (Luft- und/oder Körperschall) feststellen zu können, ist es notwendig zu wissen, ob der Geräuscherzeuger den Bauteil direkt oder über Luftschallwellen in **Biegeschwingung** versetzt.

In dichten, biegesteifen Baustoffschichten, z. B. aus Stahl, Beton, o. ä., erfolgt die in der Bauakustik kritischste Körperschallübertragung, weil in diesen Stoffen eine grosse Schallgeschwindigkeit erreicht wird. Eine gute Dämpfung der Körperschallübertragung ist bei Stoffen mit auftretender, geringer Schallgeschwindigkeit – also in porösen, biegeweichen Materialien – vorhanden.

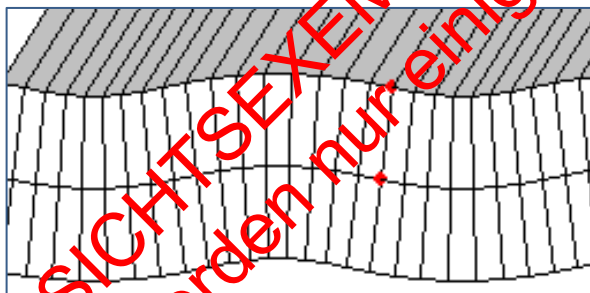


Abb. 18.1 Angeordnete Biegeschwingungen

www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.htm

18.2 Definition Körperschall

Körperschall:

Elastische Wellen in einem festen Körper (z. B. Wände, Decken, Böden, etc.), deren Frequenz im Hörbereich des menschlichen Gehörs liegen.

Körperschall wird durch die Oberflächen teilweise als Luftschall abgestrahlt und wird dann im Innern des Gebäudes hörbar. Ebenfalls zum Körperschall zu zählen sind elastische Wellen im Baugrund (z. B. verursacht durch einen vorbeifahrenden Zug). Solche Wellen können ebenfalls im Innern von Gebäuden als Luftschall hörbar werden.

Unter abgestrahltem Körperschall werden Geräusche verstanden, welche im Innern eines Gebäudes gehört werden und durch Schwingungsvorgänge ausserhalb (oder auch innerhalb) des Gebäudes entstehen und ausschliesslich als Körperschall übertragen werden.

Beispiele für Quellen ausserhalb des Gebäudes sind:

- Anlagen des öffentlichen oder privaten Verkehrs
- Einrichtungen und Maschinen in Industrie und Gewerbe
- Rollgeräusche von innerbetrieblichen Transporteinrichtungen und Transportwagen
- Einschlagen von Rammgut auf Baustellen
- Sprengarbeiten
- Veranstaltungsräume
- Freizeitanlagen wie Fitnessräume oder Diskotheken

Abgestrahlter Körperschall infolge externer Quellen lässt sich durch nachträgliche sehr aufwendige Verbesserungen am Gebäude teilweise reduzieren. Die dynamischen Eigenschaften eines Gebäudes und jene des Untergrundes spielen für die Wahrnehmbarkeit von extern verursachtem Körperschall eine besonders wichtige Rolle.

Abgestrahlter Körperschall wird in der Regel ohne Ausweichmöglichkeiten im ganzen Gebäude wahrgenommen und wirkt selbst bei geringen Pegeln stark belästigend.

Bestehende Quellen und die Übertragung des Körperschalls bis ans Gebäude stehen nicht im Einflussbereich der Bauverantwortlichen. Eine Beurteilung soll nach der künftigen eidgenössischen Verordnung über den Schutz der Bevölkerung vor Erschütterungen und abgestrahltem Körperschall vorgenommen werden. Daneben sind die Anforderungen für Geräusche haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude zu erfüllen (vgl. Kap. 19).

18.3 Trittschall- bzw. Trittschallnebenwegübertragung

Im Gegensatz zum Luftschall kann beim Trittschall ohne grossen Aufwand eine bemerkenswerte Verminderung der Schallübertragung erzielt werden, indem auf der Erregerseite ein weicher, elastischer Belag (z. B. Teppich) verlegt wird.

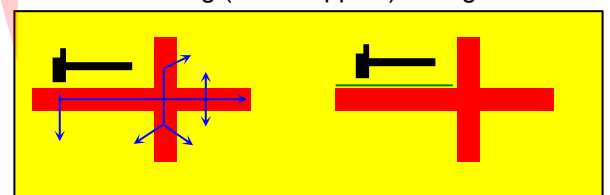


Abb. 18.2 Decke mit hartem bzw. weichen Belag



18.3.1 Definition Trittschallübertragung

Unter Trittschallübertragung versteht man die spezielle Körperschallübertragung die beim Begehen einer Bodenkonstruktion und bei ähnlicher stossartiger Anregung einer Decke oder einer Treppe entsteht. Der Trittschall wird durch die Konstruktion übertragen und wird als abgestrahlter Luftschall wahrgenommen.

Unter Nebenwegübertragung beim Trittschall versteht man die Körperschallübertragung über flankierende Bauteile. Sie umfasst auch die Übertragung durch Installationen (Rohrleitungen, Kanäle, Türzargen usw.), welche durch Körperschall angeregt werden.

Trittschall:

Beim Begehen oder einer ähnlichen Anregung einer begehbaren Konstruktion entstehender Körperschall, der durch die Konstruktion übertragen und als Luftschall abgestrahlt wird.

18.3.2 Trittschallpegel L_i [dB]

Unter dem Trittschallpegel L_i versteht man den mittleren Störschallpegel in einem (Empfangs-) Raum, welcher mit dem Klopfen eines speziellen, normierten Hammerwerks (=Trittschallquelle zur Anregung von begehbaren Konstruktionen gemäss SN EN ISO 16283-2) auf einer begehbaren Konstruktion (Boden, Treppe, Balkon, Terrasse, etc.) in einem anderen (Sende-) Raum verursacht wird.

Der Trittschallpegel L_i ist frequenzabhängig und ist deshalb mit einer Terzbandanalyse im Frequenzbereich zwischen 100 und 3150 Hz (analog der Luftschallmessung) zu erfassen.

Der Trittschallpegel L_i ist, wie die vergleichbare schalltechnische Grösse des Empfangspegels L_2 bei der Messung der Luftschalldämmung, abhängig von den raumakustischen Verhältnissen im Empfangsraum.

Trittschallpegel L_i [dB]:

Mittlerer, je Terze gemessener Schalldruckpegel im Empfangsraum, wenn die begehbare Konstruktion im Senderaum mit dem Norm-Hammerwerk angeregt wird.



Abb. 18.3 Norm-Hammerwerk, Norsonic Typ 21
(Foto: HBT-Isol, Bremgarten; www.hbt-isol.ch)

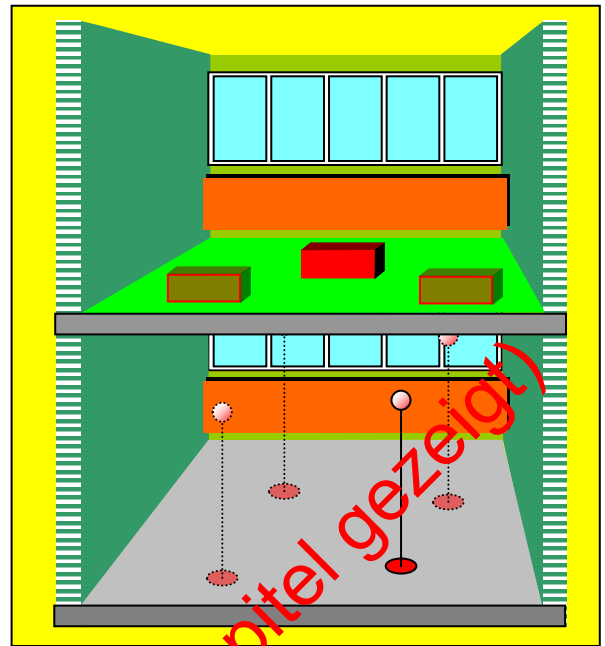


Abb. 18.4 Schema Trittschallmessung mit Norm-Hammerwerk im Senderaum (oben) und Mikrofone im Empfangsraum (unten)

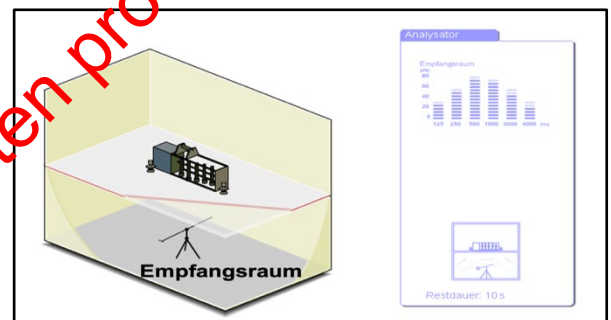


Abb. 18.5 Schema / Animation Trittschallmessung

Der frühere Link für die Animation funktioniert leider nicht mehr.

18.3.3 Norm-Trittschallpegel L_n bzw. L'_n

Der Norm-Trittschallpegel L_n (im Labor) bzw. L'_n (im Bau) wird mittels einer Bezugs-Schallabsorptionsfläche (A_0) normiert.

Der Norm-Trittschallpegel ist daher pro Terzband wie folgt zu bestimmen:

$$L_n; L'_n = L_i + 10 \cdot \log \left\{ \frac{A_2}{A_0} \right\} \quad [\text{dB}]$$

L_n : Norm-Trittschallpegel; Im Labor an Decken mit unterdrückter Flankenübertragung gemäss SN EN ISO 10140-3 gemessen. Die Anregung erfolgt mit dem Norm-Hammerwerk. L_n wird pro Terzband angegeben [dB]

L'_n : Norm-Trittschallpegel gemessen am Bau [dB]

L_i : Gemessener, mittlerer Schalldruckpegel im Empfangsraum, wenn die begehbare Konstruktion im Senderaum mit dem Norm-Hammerwerk angeregt wird. L_i wird pro Terzband angegeben [dB]

A_2 : Vorhandene äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum [m^2];

$A_2 = 0.16 \cdot (V_2 / T_2)$ - früher $A_2 = 0.163 \cdot (V_2 / T_2)$

A_0 : Bezugs-Schallabsorptionsfläche ($A_0 = 10 \text{ m}^2$) gemäss SN EN 16283



19.	HAUSTECHNISCHE ANLAGEN	3
19.1	Einleitung	3
19.2	SIA-Norm 181 (2020) – Geräusche gebäudetechn. Anlagen und fester Einrichtungen	3
19.2.1	Begriffe	3
19.2.2	Geräuscharten	3
19.2.3	Spezielle Fälle.....	4
19.2.4	Mindestanforderung - Geräusche gebäudetechn. Anlagen und fester Einrichtungen	4
19.2.5	Zu führende Nachweise	4
19.2.6	Erhöhte Anforderung - Geräuschen gebäudetechn. Anlagen und fester Einrichtungen ...	5
19.3	EMPA-Pendelfallhammer	5
19.4	HBT - ISOL – Körperschalldämmelemente und Systeme	5
19.5	Technische Systeme von Geberit.....	5
19.6	Vorlesung von Walter Lips, suva	5

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 19.1	Mindestanford. L_H gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen.....	4
Abb. 19.2	EMPA-Pendelfallhammer	5

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abkürzungen:

K _i :	Pegelkorrekturen für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen
K ₁ :	Pegelkorrekturen zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Empfangsraum
K ₂ :	Pegelkorrekturen zur Berücksichtigung der Tonhaltigkeit im Empfangsraum
K ₃ :	Pegelkorrekturen zur Berücksichtigung der Impulshaltigkeit im Empfangsraum
K ₄ :	Pegelkorrekturen für den Nachweis mit dem Empa-Pendelfallhammer (Pegelkorrekturen vgl. SIA-Norm 181)
K _P :	Projektionierungszuschlag [dB]; Projektierungszuschlag [dB]; Zuschlag zum Prognosewert zur Berücksichtigung von Prognoseunsicherheiten und Abweichungen in der Ausführungsqualität [dB]
K _F :	Zuschlag für Flankenübertragung resp. Einfluss der Flankenübertragung [dB] (fakultativ); Bei der Prognose durch einfache numerische Rechenverfahren oder Abschätzung nach Erfahrung wird der Prognosewert durch einen Vergleich mit Labor-Messergebnissen und/oder Ergebnissen aus Messungen an ähnlichen Bausituationen gebildet. Die Werte können dabei anhand des Zuschlags für Flankenübertragungen K _F auf die gegebene individuelle Situation angepasst werden [dB]
log:	Dekadischer Logarithmus (Logarithmus zur Basis 10)
L _H :	Anforderungswert gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen [dB]
L _{A,F,max} :	Mit der Zeitbewertung FAST ermittelter und mit dem A-Filter bewerteter Maximalpegel gemäss IEC bzw. SN EN 61672-1; [dB(A)]
L _{eq} oder L _{Aeq} :	Energieäquivalenter Dauerschallpegel (A-bewerteter Mittelungspegel) L _{eq} [dB(A)], L _{Aeq} [dB]
L _{nT} :	Standard-Schalldruckpegel; Auf die Bezugsnachhallzeit T ₀ von 0.5 s standardisierter Schalldruckpegel [dB]
L _{nT,A,50-5'000} :	A-bewerteter Standard-Schalldruckpegel; Energetische Summe der A-bewerteten Standard-Schalldruckpegel L _{nT} über die Terzbänder von 50 Hz bis 5'000 Hz [dB]
L _{H,d} :	Projektionierungswert; Gesamtwert für die Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung zu berücksichtigen sind [dB]
L _{H,tot} :	Gesamtwert für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen [dB]; Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen zu berücksichtigen sind.
T oder T ₂ :	Gemessene, mittlere Nachhallzeit im Empfangsraum [s]
T ₀ :	Bezugs-Nachhallzeit (T ₀ = 0.5 [s]); Dient der Standardisierung von Schalldruckpegeln in einem Raum
V:	Raumvolumen [m ³]; Nettovolumen, ohne geschlossene Festeinbauten, wie z.B. Einbaumöbel
V ₂ :	Raumvolumen des Empfangsraumes [m ³]
CB:	Cercle Bruit; Vereinigung der Lärmschutzfachstellen der Schweiz
EMPA:	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FALS:	Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich
SGA:	Schweizerische Gesellschaft für Akustik
SIA:	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIA 181 :	SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»; Ausgabe 2020

Links: Die Links wurden Ende August 2022 überprüft. Dennoch ist nicht auszuschliessen, dass diese zwischenzeitlich nicht mehr funktionieren, weil die betreffenden Dokumente von den Urhebern gelöscht oder neu adressiert wurden

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Leser die geltende [SIA-Norm 181 «Schallschutz im Hochbau»](#) in der Originalfassung beschaffen. Massgebend ist der Inhalt dieser Norm.

Die Erfahrungen des Skriptverfassers im Zusammenhang mit der Akustik der Haustechnik sind gering. Seine praktische Tätigkeit auf diesem Gebiet liegt mehr als 37 Jahre zurück. Nachfolgend sind dennoch einige spezifische Aspekte zur Akustik der Haustechnik angegeben. Angaben zum aktuellen Stand der Technik und des Wissens, die vorhandenen Berechnungsmodelle, die individuelle Beurteilung, etc., sind bei Bauakustik-Fachleuten in Erfahrung zu bringen.



19. HAUSTECHNISCHE ANLAGEN

19.1 Einleitung

Haustechnische Anlagen erzeugen Körperschall, der sich im Gebäude ausbreitet und als Luftschall abgestrahlt wird. Solche Störungen werden vermieden, indem Trägheitskräfte durch konstruktive Vorkehrungen klein gehalten und Übertragungen von Schwingungen durch elastische Lagerung (akustische Entkoppelung der haustechnischen Anlage vom übrigen Baukörper) eingeschränkt werden.

Typische Quellen haustechnischer Geräusche sind sanitäre Installationen (Frischwasser, Abwasser, Hantieren an Waschtischen), Kücheneinrichtungen (Türen und Schubläden in Küchenmöbeln, Hantieren auf Arbeitsflächen, Küchenmaschinen), Heizungen, Liftanlagen, Ventilatoren, elektrische Leistungsschalter und Transformatoren.

19.2 SIA-Norm 181 (2020) – Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

Die Erläuterungen zu den gesetzlichen Anforderungen an den Schallschutz, zum Geltungsbereich der SIA-Norm 181, zu den Rundungsregeln, den Toleranzen, den Anforderungsstufen, zur Lärmempfindlichkeit, zum Projektierungszuschlag K_P , zum Zuschlag für Flankenübertragung K_F sind den Ausführungen im Kapitel 16.5 zu entnehmen.

Zu den Geräuschen von haustechnischen Anlagen werden neben den Geräuschen der eigentlichen Haustechnik auch Geräusche fester Einrichtungen im Gebäude wie z. B. Türen, Fenster, Bad- und Kücheneinrichtungen zugeordnet.

19.2.1 Begriffe

Funktionsgeräusch: Geräusch haustechnischer Anlagen und fester Einrichtungen im Gebäude, dessen Intensität und zeitlicher Ablauf weitgehend unabhängig vom Benutzer ist.

Benutzungsgeräusch: Geräusch gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen, dessen Intensität und zeitlicher Ablauf weitgehend abhängig vom Benutzer ist.

Einzelgeräusch: Geräusch mit einer Dauer von maximal 3 Minuten und einer geringen Häufigkeit des Auftretens.

Dauergeräusch: Geräusch mit einer Dauer von mehr als 3 Minuten oder einer sehr grossen Häufigkeit des Auftretens..

Maximalpegel $L_{A,F,max}$ [dB]: Mit der Zeitbewertung FAST ermittelter und mit dem A-Filter bewerteter Maximalpegel gemäss IEC bzw. SN EN 61672-1.

Standard-Schalldruckpegel L_{nT} [dB]: Auf die Bezugsnachhallzeit T_0 von 0.5 s standardisierter Schalldruckpegel.

A-bewerteter Standard-Schalldruckpegel $L_{nT,A,50-5'000}$ [dB]: Energetische Summe der A-bewerteten Standard-Schalldruckpegel L_{nT} über die Terzbänder von 50 Hz bis 5'000 Hz.

Gesamtwert für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen $L_{H,tot}$ [dB]: Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen zu berücksichtigen sind.

19.2.2 Geräuscharten

Einzelgeräusche	Funktionsgeräusche: Waschsch, Spülbecken und Baderanne füllen bzw. auslaufen lassen; WC spülen inklusive Spülvorgang auslösen (ohne Feststoffanteile); Betriebsgeräusche von Wasser- und Abwasserinstallationen; An-, Um-, Abstellen von Ventilen und sonstigen Armaturen; Aufzugsanlagen; Geräusche automatisch betätigter Garagentore, automatische Türschliesser und Storenanlagen; Schaltgeräusche elektrischer Anlagen
Einzelgeräusche	Benutzungsgeräusche: Manuelles Betätigen von Duschtrennwänden, Garagentoren, Storen und Rollläden, Hauseingangs- und Abschlussstüren, Schiebetüren und Schiebefenster Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Empa-Pendelfallhammer): Nutzen von Badewanne, Duschtasse und bodenebene Duschfläche, WC, Waschtisch, Waschtischkombination, Bidet, Spülbecken, Arbeitsfläche in Küche, Schrank, Unter- und Oberbau, Spiegelschrank
Dauergeräusche	Funktionsgeräusche: Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage, Geschirrspüler, Waschmaschine, Tumbler, Kühlanlage, Ventilator, Heizung, Kompressor, Wärmepumpe, Whirlpool, Dachentwässerung Benutzungsgeräusche: Geräusche industrieller oder gewerblicher Einrichtungen mit manueller Betätigung

Einfach vermeidbare Störungen (z.B. Nutzen von Seifenschalen und baulichen Abstellflächen, Betätigen von Papierrollenhaltern, Duschvorhängen und Duschschlauch, Bedienen von Kurbelstangen) rechtfertigen keine Beurteilung im Sinne der Norm. Verbesserungsmassnahmen sind im Sinne des Vorsorgeprinzips zu treffen.



19.2.3 Spezielle Fälle

Mischnutzungen: In einem Gebäude mit störenden Betrieben gelten gegenüber Räumen mittlerer und hoher Lärmempfindlichkeit, die zu Wohnzwecken genutzt werden, die um 5 dB verringerten Anforderungswerte. Dabei gilt 25 dB als Kleinstwert.

Ausschliessliche Tagesnutzung: Wenn zweifelsfrei sichergestellt ist, dass Störungen nur am Tag (07.00 h bis 19.00 h) auftreten, gelten die um 5 dB erhöhten Werte.

19.2.4 Mindestanforderungen gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

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

Abb. 19.1 Mindestanforderungen L_H gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

19.2.5 Zu führende Nachweise

Messung:

$$L_{H,tot} \leq L_H$$

Für Einzelgeräusche gilt:

$$L_{H,tot} = L_{A,F,max} + K_1 + K_2 \quad [dB]$$

Für Dauergeräusche (einfache Messmethode) gilt:

$$L_{H,tot} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \quad [dB]$$

Für Dauergeräusche (erweiterte Messmethode) gilt:

$$L_{H,tot} = L_{nT,A,50-5'000} + K_2 + K_3 \quad [dB]$$

$L_{H,tot}$: Gesamtwert für die gemessenen Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen: Summe der Kennwerte, die in der jeweiligen Anforderung zu berücksichtigen sind [dB]
 L_H : Anforderungswert gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen [dB]
 $L_{A,F,max}$: A-bewerteter, mit der Zeitkonstante FAST gemessener Maximalpegel [dB]
 $L_{nT,A,50-5'000}$: Gemessener Standard-Schalldruckpegel [dB];

K_1 : Pegelkorrekturen für Geräusche gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

Messmethode für Einzelgeräusche:

K_1 : Zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Empfangsraum
 $K_1 = 0$ dB(A) für Räume mit stark absorbierender Ausstattung
 $K_1 = -1$ dB(A) für Räume mit gering absorbierender Ausstattung
 $K_1 = -2$ dB(A) für Räume ohne absorbierende Ausstattung
 K_2 : Für den Nachweis mit dem Empa-Pendelfallhammer (Pegelkorrekturen vgl. SIA-Norm 181)

Einfache Messmethode für Dauergeräusche:

Zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Empfangsraum
 $K_1 = 0$ dB(A) für Räume mit stark absorbierender Ausstattung
 $K_1 = -2$ dB(A) für Räume mit gering absorbierender Ausstattung
 $K_1 = -4$ dB(A) für Räume ohne absorbierende Ausstattung
 K_2 : Zur Berücksichtigung der Tonhaltigkeit
 $K_2 = 0$ dB(A) bei nicht hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 2$ dB(A) bei schwach hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 4$ dB(A) bei deutlich hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 6$ dB(A) bei stark hörbarem Tongehalt
 K_3 : Zur Berücksichtigung der Impulshaltigkeit
 $K_3 = 0$ dB(A) bei nicht hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 2$ dB(A) bei schwach hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 4$ dB(A) bei deutlich hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 6$ dB(A) bei stark hörbarem Impulsgehalt

Erweiterte Messmethode für Dauergeräusche:

Gemessen werden die Schalldruckpegel L und die Nachhallzeiten T in den Terzbändern von 50 Hz bis 5'000 Hz. Es sind mindestens 5 Mikrofonpositionen vorzusehen [dB];

Der Schalldruckpegel wird auf die Bezugsnachhallzeit T_0 von 0.5 s standardisiert (L_{nT} Standard-Schalldruckpegel);
 $L_{nT} = L - 10 \log (T_2/T_0)$ [dB]

Durch die terzbandweise A-Bewertung und das energetische Summieren über die Terzbänder von 50 Hz bis 5'000 Hz wird der A-bewertete Standard-Schalldruckpegel $L_{nT,A,50-5'000}$ gebildet.

K_2 : Zur Berücksichtigung der Tonhaltigkeit
 $K_2 = 0$ dB(A) bei nicht hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 2$ dB(A) bei schwach hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 4$ dB(A) bei deutlich hörbarem Tongehalt
 $K_2 = 6$ dB(A) bei stark hörbarem Tongehalt
 K_3 : Zur Berücksichtigung der Impulshaltigkeit
 $K_3 = 0$ dB(A) bei nicht hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 2$ dB(A) bei schwach hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 4$ dB(A) bei deutlich hörbarem Impulsgehalt
 $K_3 = 6$ dB(A) bei stark hörbarem Impulsgehalt



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 20.1	Emissionsbegrenzung der anderen Art, Indien	3
Abb. 20.2	Massnahmen an der Quelle ? Gerliswilstrasse Emmen LU	3
Abb. 20.3	Massnahmen im Übertragungsbereich ? Gerliswilstrasse Emmen LU	3
Abb. 20.4	Massnahme am Gebäude ? Gerliswilstrasse Emmen LU	3
Abb. 20.5	Platzgestaltung Wesemlin, Stadt Luzern; 30er Zone, Poller, Strassenverengung, Aufpflasterung	3
Abb. 20.6	Umgestaltung Libellenstrasse, Stadt Luzern; 30er Zone, Verengungen (versetzte PP, Bäume)	3
Abb. 20.7	Kreisel St.Christoph, Rothenburgstrasse, Emmen	3
Abb. 20.8	Neue Ortseinfahrtsgestaltung (Mittelinsel für Fussgänger), Root LU	3
Abb. 20.9	(mutige) Strassenumgestaltung (Fahrbahnverschmälerung, breitere Troittoirs, Corminboeuf FR	4
Abb. 20.10	Strassenumgestaltung (Fahrbahnverschmälerung, breitere Troittoirs, Wabern BE)	4
Abb. 20.11	Strassenumgestaltung, Signalisation „Begegnungszone“, Burgdorf BE	4
Abb. 20.12	Lärmschutzwand, Ostring, Stadt Bern (Quelle: Stadtplanungsamt Bern)	4
Abb. 20.13	Übergang Drainasphalt- / Splittmastix-Belag, Nationalstrasse A1, Lausanne VD	4
Abb. 20.14	„Finger“-Fahrbahnübergang mit Gummimattenbelegung, Nationalstrasse A1, Lausanne VD	4
Abb. 20.15	Galeriebauwerk, Nationalstrasse A2, Hergiswil NW	4
Abb. 20.16	Automatische Geschwindigkeitsüberwachung, Wohnquartier Langensand, Stadt Luzern	4
Abb. 20.17	Holzlärmschutzwand, Überbauung Kapf, Emmen LU	5
Abb. 20.18	Lärmschutzwand mit Solarzelle, Nationalstrasse A3, Chur / Bonaduz GR	5
Abb. 20.19	Lärmschutzwand, Aarau	5
Abb. 20.20	Lärmschutzwand, Merlischachen SZ	5
Abb. 20.21	Schallabsorbierend verkleidete Einstellhallenzufahrt, Dorfparking, Stans	5
Abb. 20.22	Mögliche Lärmschutzwand im Innerortsbereich, Ebikon LU	5
Abb. 20.23	Nur bezüglich Sportplatz wirkungsvolle Lärmschutzwand, Vallasterstrasse, Stadt Luzern	5
Abb. 20.24	Eine Lärmschutzwand hat auch eine Rückseite, die ansprechend gestaltet werden sollte	5
Abb. 20.25	(mutig) Gestaltete Lärmschutzwand, Autobahn, Karlsruhe D	6
Abb. 20.26	Lärmschutzwand aus Lavabeton mit Glaszwischenelementen, Deutschlnad	6
Abb. 20.27	Lärmschutzwand aus Alukassetten, mit gestalteten und bepflanzten Pfeilern, Deutschland	6
Abb. 20.28	Lärmschutzwand aus Alukassetten mit fraglicher Gestaltung, Deutschland	6
Abb. 20.29	Stark gegliederte Lärmschutzwand, Deutschland	6
Abb. 20.30	Gekrümmte Randwand (Innenseite absorbierend), Nationalstrasse A2, Bellinzona TI	6
Abb. 20.31	dito, gekrümmte Mittelwand (Aussenseite reflektierend)	6
Abb. 20.32	Lava-Betonwand, gekrümmt, A2 Nähe Eptingen BL	6
Abb. 20.33	Lärmschutzwand aus Glas (reflektierend), Nationalstrasse A2, Bellinzona TI	7
Abb. 20.34	Lärmschutzwand zwischen Gebäuden (bezüglicher Innenhof), Ebikon LU	7
Abb. 20.35	Lärmschutzwand Überbauung Eschenbach LU	7
Abb. 20.36	Lärmschutzwand Einfamilienhäuser Hünenbergstrasse, Stadt Luzern	7
Abb. 20.37	Neuer Zwischenbau, Überbauung Spitalstrasse, Stadt Luzern	7
Abb. 20.38	dito	7
Abb. 20.39	Sicht-, aber kein Lärmschutz, Palisadenwand, Obergütschstrasse, Stadt Luzern	7
Abb. 20.40	Lärmschutzwand entlang Schussfeld, Schiessanlagen Hüslensmoos, Emmen LU	7
Abb. 20.41	Lärmschutzwand mit gerichtetem SINUS-Blech, A2 Zubringer Zentrum, Horw LU	8
Abb. 20.42	dito, Ansicht von Rückseite	8
Abb. 20.43	Schallabsorbierende Verkleidung, Tunnelportal Spier, A2 Horw LU	8
Abb. 20.44	ALU-Lärmschutzwand A2 Grosshof, Kriens LU	8
Abb. 20.45	Lärmschutzwand Glas / absorbierende ALU-Abkrümmung, A2 Sentibrücken, Stadt Luzern	8
Abb. 20.46	dito, ungenügende Abschirmung des Direktschalls und vorhandene Reflexionen	8
Abb. 20.47	Lärmschutzwände (New Jersey-Elemente / vorgelagerte Leiteinrichtung), A2 Grosshof Kriens LU	8
Abb. 20.48	Lärmschutzwände (vorgelagerte Leiteinrichtung), A2 Grosshof Kriens LU	8
Abb. 20.49	Dämm und aufgesetzter Lärmschutzwand aus Lava-Beton A2 Anschluss Stans Nord NW	9
Abb. 20.50	Lavabetonwand mit farbiger Glasscheibe (Wohnhaus Freienbach SZ)	9
Abb. 20.51	Lavabetonwand (Überbauung Pfäffikon SZ)	9
Abb. 20.52	Lavabetonwand (Wohnhaus Nähe Brugg AG)	9
Abb. 20.53	Lavabetonwand (Wohnhaus Nähe Brugg AG)	9
Abb. 20.54	Holzlärmschutzwand mit Glasaufsatz, A4 Goldau SZ	9
Abb. 20.55	Holzlärmschutzwand, A4 Goldau SZ	9
Abb. 20.56	Lavabeton und Glaswand, Sihltalstrasse, Adliswil ZH	9
Abb. 20.57	Glaswand, Sihltalstrasse, Adliswil ZH	10
Abb. 20.58	Lavabetonwand mit aufgesetzter Glaswand, Sihltalstrasse, Adliswil ZH	10
Abb. 20.59	Lavabetonwand, Döttingen AG	10
Abb. 20.60	Lärmschutzwand A3 Zürich (absorbierende Wand mit Sinus-Blech-Verkleidung)	10
Abb. 20.61	Lärmschutzwand A3 Zürich (absorbierende Wand mit Sinus-Blech-Verkleidung)	10
Abb. 20.62	Lavabetonwand mit aufgesetzter Glaswand, SBB-Linien Zürich-Thalwil, Stadt Zürich	10
Abb. 20.63	Glaswand, A1 Baden AG	10
Abb. 20.64	Betonwand, Baden AG	10



Abb. 20.65	Lärmschutzwand mit Solarzellen, Wallisellen ZH (Quelle: SBB-Publikationen)	11
Abb. 20.66	Überdachung A2, Basel	11
Abb. 20.67	Überdachung A2, Basel	11
Abb. 20.68	Lärmschutzwand Fachhochschule HTA, Luzern / Horw	11
Abb. 20.69	Holz-Lärmschutzwand, SBB-Unterführung, Rothenburg-Station (LU)	11
Abb. 20.70	Holz-Lärmschutzwand, Sarnen OW (Schleusenausbildung bei einem Weg)	11
Abb. 20.71	dito, transparenter Teil im Bereich einer Brücke	11
Abb. 20.72	Lärmschutzwand Autobahn Nürnberg – Dresden	11
Abb. 20.73	Lärmschutzwandsystem Nähe Bern (Foto: Thomas Stern)	12
Abb. 20.74	Strassenumgestaltung Kantonsstrasse Horw LU	12
Abb. 20.75	Geplantes Lärmschutz-System A2 Hergiswil NW	12
Abb. 20.76	Lärmschutz-Bauwerk A2 Südportal Sonnenbergtunnel, Kriens	12
Abb. 20.77	Lärmschutz-System A2 Chiasso TI	12
Abb. 20.78	Holz-Lärmschutzwand, Horwerstrasse, Stadt Luzern	12
Abb. 20.79	Lärmschutzwand aus Drahtgitternetz mit Humus und Bewuchs, Stansstadterstrasse, Stans	12
Abb. 20.80	dito, noch ohne Bewuchs, Buochserstrasse, Stans	12
Abb. 20.81	Lärmschutzwandsystem Nähe Dresden (Foto: Fredy Rey)	13
Abb. 20.82	Lärmschutzwandsystem Nähe Dresden (Foto: Fredy Rey)	13
Abb. 20.83	Lärmschutzwandsystem Nähe Dresden (Foto: Fredy Rey)	13
Abb. 20.84	Lärmschutzwandsystem Nähe Dresden (Foto: Fredy Rey)	13
Abb. 20.85	Holz-Lärmschutzwand, Zentrum, Horw LU	13
Abb. 20.86	Künstlerische Aussenverkleidung Lärmschutzwand, A2 Emmen	13
Abb. 20.87	Holz-Lärmschutzwand, Eschenbacherstrasse, Rothenburg LU	13
Abb. 20.88	Holz-Lärmschutzwand, Bertiswilstrasse, Rothenburg LU	13

ANSICHTSEXEMPLAR
(es werden nur einige Seiten pro Kapitel gezeigt)



Abb. 20.1 Emissionsbegrenzung der anderen Art, Indien



Abb. 20.5 Platzgestaltung Wesemlin, Stadt Luzern; 30er Zone, Poller, Strassenverengung, Asphaltflasterung



Abb. 20.2 Massnahmen an der Quelle ? Gerliswilstrasse Emmen LU



Abb. 20.6 Umgestaltung Libellenstrasse, Stadt Luzern; 30er Zone, Verengungen (versetzte PP, Bäume)



Abb. 20.3 Massnahmen im Übertragungsbereich ? Gerliswilstrasse Emmen LU



Abb. 20.7 Kreisel St.Christoph, Rothenburgstrasse, Emmen



Abb. 20.4 Massnahme am Gebäude ? Gerliswilstrasse Emmen LU



Abb. 20.8 Neue Ortseinfahrtsgestaltung (Mittelsinsel für Fussgänger), Root LU



Abbildungsverzeichnis:

Abb. 21.1	Überbauung Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (schallabsorbierende Fassade)	2
Abb. 21.2	dito, einseitige Orientierung gegen Süden, geschlossener Baukörper	2
Abb. 21.3	Wohnhaus Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (Laubengangkonzept)	2
Abb. 21.4	Wohnhaus Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (Terrasse mit Glaswand)	2
Abb. 21.5	Geschäftshaus Baltensweiler, Ebikon LU (Glasfassade, klimatisiert, Schallschutzgläser)	2
Abb. 21.6	Motel Stans NW, Kantonsstrassenseite (vorgehängte Glasfassade mit Sonnenschutzglas)	2
Abb. 21.7	dito, Nationalstrassenseite (Detail Witterungsschutz)	2
Abb. 21.8	Wohnhaus Spiez BE (vorgehängte Glasfassade) (Quelle: B. Staiger, Horw)	2
Abb. 21.9	Gewerbegebäude Rieden, Stans NW (vorgehängte Glasfassade bei Wohnung)	3
Abb. 21.10	Wohnhaus Stansstadterstrasse Stans NW (Wintergärten, kontrollierte Lüftung, Lärmschutzwand)	3
Abb. 21.11	Überbauung Schlossberg, Stadt Luzern (quergestellte Gebäudekuben, verglaster Innenhof)	3
Abb. 21.12	dito, lärmberuhigter Innenhof	3
Abb. 21.13	Wohnüberbauung Root LU (quergestellte Gebäudekuben, verglaste Innenhöfe)	3
Abb. 21.14	Wohn-/Geschäftshaus Root LU (Gewerbevorbau, örtlich durch „Lärmschutzwand“ unterbrochen)	3
Abb. 21.15	Wohnhaus Hünenberg ZG (nachträgliche Konzeption verglaster Balkone; Wintergärten)	3
Abb. 21.16	Wohnüberbauung Hünenberg ZG (Vorplätze, Garagen, verglaste Unterstände, Terrassen)	3
Abb. 21.17	Wohnüberbauung Gisikon LU (Winkelverglasungen, Lärmschutzwand zwischen Gebäuden)	4
Abb. 21.18	dito, teilverglassene Balkone	4
Abb. 21.19	Wohnüberbauung Ebikon LU (Erschliessungszone und Ateliers gegen Strasse hin konzipiert)	4
Abb. 21.20	dito (lärmempfindliche Räume konsequent lärmabgewandt orientiert)	4
Abb. 21.21	Wohn- und Geschäftshaus Obergrund, Stadt Luzern (liegende Schallschirme; Wirkung ?)	4
Abb. 21.22	dito; Wirkungsvoller Gewerbevorbau und Balkone	4
Abb. 21.23	Wohn- und Geschäftshaus Paulusplatz, Stadt Luzern (spezielles Kastenfenster 2-fach kippbar)	4
Abb. 21.24	Wohnüberbauung Unter Steinhof, Hergiswil NW (schallabsorbierende Fassade)	4
Abb. 21.25	Wohnhaus Seetalstrasse Emmen LU (konsequent lärmabgewandte Räume)	5
Abb. 21.26	Überbauung Spichermatt, Stans NW (lärmabgewandte Räume, Erkerkonstruktionen)	5
Abb. 21.27	Geschäftshaus Stans NW (nur Betriebsräume, Klimatisiert mit WRG, Schallschutzverglasung)	5
Abb. 21.28	Einfamilienhaus Hergiswil NW (Primärfenster lärmabgewandt, Zweitfenster seitlich)	5
Abb. 21.29	Wohnhaus Stansstad NW (Balkonbrüstung mit Glasaufsatz, Erkerkonstruktionen)	5
Abb. 21.30	Gewerbevorbau, Überbauung Kapf, Rothenburgstrasse, Emmen LU	5
Abb. 21.31	Altersheim Sonnmatt, Hochdorf (vorgehängte Blumentröge, schallabsorbierende Untersichten)	5
Abb. 21.32	dito, lärmtechnische Wirkung im 1. OG ca. 2 dBA, im 2. OG ca. 4 dBA	5
Abb. 21.33	Wohnhaus Bärtiswil, Rothenburg	6
Abb. 21.34	Überbauung Baldeggerstrasse, Eschenbach LU	6
Abb. 21.35	Wohnüberbauung Eschenbach LU	6
Abb. 21.36	Wohnhaus Spitalstrasse, Stadt Luzern (nachträgliche Verglasung Balkone)	6
Abb. 21.37	Einfamilienhäuser Hünenbergstrasse, Stadt Luzern (Dämme, Flügelmauern, Einfahrtstore)	6
Abb. 21.38	Gewerbevorbau, Überbauung Kapf, Rothenburgstrasse, Emmen LU	6
Abb. 21.39	Überbauung Littauerboden, Littau (LU)	6
Abb. 21.40	Wohnhaus an Nationalstrasse A2 Hergiswil NW (nachträglich ausgebautes Dachgeschoss)	6
Abb. 21.41	Wohn- und Gewerbehaus Merlischachen SZ	7
Abb. 21.42	Wohnhaus Obermeggen, Meggen LU	7
Abb. 21.43	Wohnüberbauung Küssnacht am Rigi SZ	7
Abb. 21.44	dito, Holz-Lärmschutzwand, Zwischenelement aus Glas, Sockelbereich absorbierend mit Gitterrost	7
Abb. 21.45	Wohnhaus Kreuzbuch, Stadt Luzern (Winkelbau)	7
Abb. 21.46	Wohnüberbauung Küssnacht am Rigi SZ	7
Abb. 21.47	Wohnhaus Bärtiswil, Rothenburg	7
Abb. 21.48	Wohnüberbauung Küssnacht am Rigi SZ	7
Abb. 21.49	Wohnüberbauung am linken Zürichseeufer	8
Abb. 21.50	Terrassenhaus Richterswil	8
Abb. 21.51	Wohnüberbauung linkes Zürichseeufer	8
Abb. 21.52	Wohnüberbauung linkes Zürichseeufer (Bäch SZ)	8
Abb. 21.53	Gewerbebau mit Wohnung (Dottikon AG)	8
Abb. 21.54	Wohnüberbauung mit Garagenvorbauten (Sarmenstorf AG)	8
Abb. 21.55	Wohnhaus Taubenhäuserstrasse, Stadt Luzern	8
Abb. 21.56	Geschäftshaus, Basel	8



Abb. 21.1 Überbauung Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (schallabsorbierende Fassade)



Abb. 21.5 Geschäftshaus Baltensweiler, Ebikon LU (Glasfassade, klimatisiert, Schallschutzgläser)



Abb. 21.2 dito, einseitige Orientierung gegen Süden geschlossener Baukörper

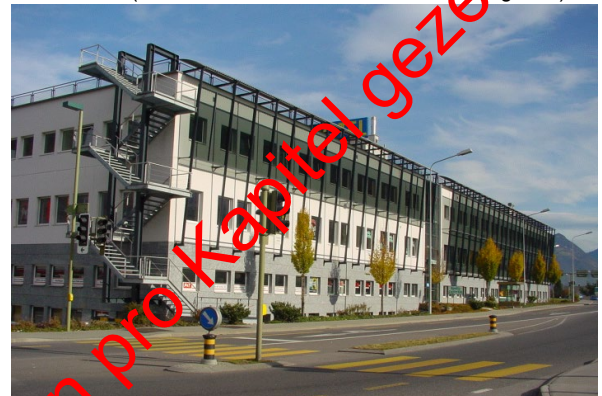


Abb. 21.6 Motel Stans NW, Kantonsstrassenseite (vorgehängte Glasfassade mit Sonnenschutzglas)



Abb. 21.3 Wohnhaus Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (Laubengangkonzept)



Abb. 21.7 dito, Nationalstrassenseite (Detail Witterungsschutz)



Abb. 21.4 Wohnhaus Rothenburgstrasse, Eschenbach LU (Terrasse mit Glaswand)



Abb. 21.8 Wohnhaus Spiez BE (vorgehängte Glasfassade) (Quelle: B. Staiger, Horw)



1.	Allgemeine Akustik - Literatur	2
1.1	Grundlagewerke	2
1.2	Vorlesungen.....	2
1.3	Veröffentlichungen BUWAL	2
1.4	Publikationen kantonaler Institutionen	3
1.5	Schweizerische Publikationen verschiedene Lärmarten	3
1.6	Lärmschutz-Konstruktionen	4
1.7	Statistiken	4
1.8	Erschütterungen	4
1.9	Zeitschriften	4
2.	Strassenverkehrslärm	4
2.1	Belastungsgrenzwerte / Berechnungsmodelle	4
2.2	Verkehr	5
2.3	Beläge.....	5
2.4	Lärmschutz-Konstruktionen	5
2.5	Schallschutzfenster.....	5
2.6	Parkplatzanlagen	5
2.7	Erschütterungen/Körperschall	5
2.8	Verschiedenes	5
2.9	Tempo 30.....	6
3.	Eisenbahnlärm	6
3.1	Belastungsgrenzwerte / Berechnungsmodelle	6
3.2	Lärmschutz-Konstruktionen.....	6
3.3	Weisungen Konzepte BIV / SBB	6
4.	Schiesslärm	6
5.	Fluglärm	7
6.	Industrie-/ Gewerbelärm	7
7.	Schallschutz	7
8.	Normative Grundlagen	7
8.1	SIA-Normen	7
8.2	Schweizernormen SN	7
8.3	VNI-Richtlinien *)	8
8.4	DIN-Normen *)	8
8.5	Weitere Normen *)	8
9.	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (suva)	8
9.1	Hörschäden	8
9.2	Industrielärm	8
9.3	Kursunterlagen	8
9.4	Periodische Publikationen	8
10.	Discolärm	8
11.	Computermodelle	9
12.	Internet-Links	9
13.	Dankeschön	9



1. Allgemeine Akustik - Literatur

1.1 Grundlagewerke

[001] Bauphysikalische Entwurfslehre, Bau- und Raumakustik, Fasold - Sonntag- Winkler, Verlag für Bauwesen, Berlin

⇒ als Geschenk von Beat Marty 1990 erhalten

[002] Ingenieurakustik Henn / Sinambari / Fallen, Verlag Vieweg & Sohn Wiesbaden / Braunschweig

[003] Schall, Wärme, Feuchte, Gösele / Schüle, Wiesbaden/Berlin, Bauverlag 1973

[004] TA Lärm, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, Kommentar, C. Heymanns Verlag KG, Köln

[005] Schalltechnisches Taschenbuch, H. Schmidt, 2. Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag

[006] Lärm, Schlaf und Leistung, Eckhard Gros, Hochschulschriften 184, Pahl-Rugenstein Verlag, Köln

[007] Umweltqualität und Wohnstandorte, Ratgeber für die Bebauungsplanung, Umweltbundesamt Berlin

[008] Bauphysik, Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis, Christoph Zürcher, Thomas Frank, Hochschulverlag AG ETH Zürich / B.G. Teubner Stuttgart, 1997

[009] Klangalltag – Alltagsklang, Evaluation der Schweizer Klanglandschaft anhand einer Repräsentativbefragung bei der Bevölkerung, Abhandlung zur Erlangung der Doktorwürde der Philosophischen Fakultät der Universität Zürich, vorgelegt durch Alexander M. Lorenz, Zentralstelle für Studentenschaft, Zürich 2000

[010] Kommentar zum Umweltschutzgesetz, herausgegeben von der Vereinigung für Umweltrecht und Helen Keller 2. Auflage, 4. Lieferung, Zürich 2000, Erläuterungen zum Lärmschutzrecht (Art. 15, 19 bis 25), Christoph Zäch (Bearbeiter der 1. Auflage) und Robert Wolk (Bearbeiter der 2. Auflage)

1.2 Vorlesungen

[050] Vorlesung Anselm Lauber, ETHZ, Sommer 1979, Raumakustik

[051] Vorlesung Anselm Lauber, ETHZ, 1980/81, Schallsolation

[052] Vorlesung Dr. sc. nat ETH Robert Hofmann, ETHZ, 1983, Lärmbekämpfung I

[053] Vorlesung Walter Lips, HTA Luzern/How, Akustik für den Heizungs-, Lüftungs- und Klimaingenieur, 10. Auflage 2000 (Walter Lips ist Mitarbeiter der suva, Bereich Akustik)

[054] Vorlesungsscript „Grundlagen für die praktische Lärmbekämpfung“, W. Stalder, Luzern, Abendtechnikum der Innerschweiz, ATIS (1987)

[055] ATIS-Schallschutz-Vorlesung K. Menti

[056] Praktische Akustik, Schallschutz, Raum- und Bauakustik, Universität Freiburg, 1989, Prof. Ulrich Winkler, Bauphysikalisches Institut AG, Bern

[057] Vorlesung Dr. sc. nat ETH Robert Hofmann, ETHZ, 2000, Lärm und Lärmbekämpfung in der Schweiz

1.3 Veröffentlichungen BUWAL

1.3.1 Mitteilungen zur Lärmschutzverordnung (LSV)

[100] Strassenverkehrslärm: Umrechnung von Lärmmessungen auf durchschnittliche Verkehrsmengen. 1989. MLSV-1-D

[101] Sanierung bestehender Strassen: Bundesbeiträge an Schallschutzfenster bei Lärmbelastungen zwischen den Immissionsgrenzwerten und den Alarmwerten. 1990. MLSV-2-D

[102] Emissionsbegrenzungen bei neuen und bestehenden Anlagen, Anforderungen an Lärmermittlungen und -beurteilungen. 1990. MLSV-3-D

[103] Nutzungsplanung und Baubewilligung in lärmbelasteten Gebieten. 1991. MLSV-4-D

[104] Zuordnung und Bestimmung der Empfindlichkeitsstufen nach Art. 43 und 44 LSV. 1992. MLSV-5-D

[105] Strassenlärm: Korrekturen zum Strassenlärm Berechnungsmodell. 1995. MLSV-6-D

[106] Methode zur Ermittlung der Aussenlärm-Immissionen bei geschlossenem Fenster. 1995. MLSV-7-D

[107] LSV Anhang 1: Anforderungen an die Schalldämmung von Fenstern. Übergangslösung. 1998. 2 S. MLSV-8-D

[108] Verzicht auf Schallschutzfenster mit Schwefelhexafluorid (SF₆), MLSV-1 / 2000-D

1.3.2 Schriftenreihe Umweltschutz

[110] Anleitung zur Ermittlung und Beurteilung von Lärmimmissionen an Strassen. Januar 1987. SRU-57-D

[111] Anleitung zur Erstellung von Lärmbelastungskatastern und zur Planung von Massnahmen. Dezember 1988. SRU-77-D

[112] Belastungsgrenzwerte für den Lärm von Militärflugplätzen. 5. Teilbericht der Eidg. Kommission für die Beurteilung von Lärm-Immissionsgrenzwerten. April 1989. SRU-103-D

[113] Grobverfahren zur Bestimmung von Eisenbahnlärm. November 1989. SRU-114-D

[114] SEMIBEL. Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm. Version 1. Programmdokumentation. März 1990. SRU-116-D

[115] Computermodell SL-90 zur Berechnung von Schiesslärm von 300m-Anlagen. März 1991. SRU-130-D



Werner Stalder (2.5.56)

dipl. Ing. HTL
dipl. Akustiker SGA

- Familie:** Beatrice Stalder-Koller, Familienfrau und Handarbeitslehrerin
Severin Stalder (84), Elektroingenieur EPFL, Dr. sc. ETH Zürich
Flavia Stalder (86), Lehrerin und schulische Heilpädagogin
- Privatadresse:** Listrighöhe 11
CH - 6020 Emmenbrücke – Schweiz
- Tel.Nrn:** +41 41 280 86 15
+41 79 738 24 54
- EMailadresse:** werner.stalder@hotmail.ch; [Kontakt](#)
- Berufliche Tätigkeiten:** Tiefbauzeichnerlehre (1972 – 1975)
Studium Bauingenieur HTL, Technikum Luzern / Horw (1976 - 1979)
Mitarbeiter Bauingenieurbüro (1979 – 1980)
Mitarbeiter Büro für Bauphysik, Dr. Amrein+Martinelli+Menti AG (1980 – 1985)
Abteilungsleiter Amt für Umweltschutz Kanton Luzern (1985 – 1990)
Mitinhaber / Mitglied Geschäftsleitung Planteam GHS AG (1990 – 1999)
Mitinhaber Ragonese Strobel Partner AG (1990 – 1999)
Mitinhaber / Mitglied Geschäftsleitung SINUS Engineering AG AG (1995 – 1999)
Abteilungsleiter Amt für Umwelt Kanton Nidwalden (1992 – 2006)
Teamleiter Dienststelle Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern (1999 – 2016)
- Besondere Referenzen:** Aus- und Weiterbildungskurs Lärm- und Schallschutz (seit 1987)
Nebenamtl. Dozent Hochschule für Technik und Architektur Luzern (1980 – 2006)
Diplomexperte Hochschule für Technik und Architektur Luzern (1980 – 2006)
Aufbau der Lärmbelastungskarten und -kataster der 1. Generation in LU/NW
Projektleitung von ca. 100 Lärmsanierungsprojekten (Kosten ca. 45 Mio.Fr.)
Entwicklung der Finanzierungsmodelle für freiwillige Lärmschutzmassnahmen
Leitung des Einbaus von ca. 25'000 Schallschutzfenstern
Mitarbeit bei der Planung der Galeriebauwerke Stansstad und Knutwil, der
Lärmschutzbauwerke Grosshof und Reussegg/Lochhof, der Anschlussbauten
beim Kirchenwaldtunnel und der Lärmschutzwände an der A2 in Emmen
Mitverfasser diverser Publikationen, so u.a. für "element 30", Cercle Bruit
Schweiz, Innerschweizerische Vereinigung für Raumplanung, etc.
Diverse Fachreferate: Internationale Tagung für Verkehrslärm in Dresden,
akustisches Kolloquium ETH ZH, Rechtswissenschaften Uni Freiburg, schweiz.
Verband Fenster- und Fassadenbranche, schweiz. Arbeitsgemeinschaft für
Holzforschung, Innerschweizerische Vereinigung für Raumplanung, Glas
Troesch AG, Regionalpolizeien des Kantons Aargau, Schlichtungsbehörden für
Miete und Pacht des Kantons Aargau, VOSER Rechtsanwälte Baden,
Gemeindeverwaltung Lachen (SZ), ffakustik | fachschule für akustik, Gemeinde-
präsidenten-Konferenz oberer Brienzersee-Oberhasli, Regionalwerke AG
Baden, u.v.m.
- Freizeit / Hobbies:** Mitglied Kirchenrat Emmen (1998 – 2005)
Reisen (vorab Destinationen in den USA und in Skandinavien)
Fliegen- und Schleppfischen