Akustische Zeitenwende: 50 Jahre Lärmschutz im UBA

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Impressum

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Abteilung I 2 „Verkehr, Lärm und
räumliche Entwicklung“
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
bürgerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Autorinnen und Autoren:
Percy Appel, Christian Fabris, Jan Gebhardt,
Matthias Hintzsche, Thomas Myck, Lars Schade,
Julia Treichel, René Weinandy
sowie
Antje Albrecht, Andrea Bauerdorff, Katrin Dziekan,
Detlef Gebauer, Gabriela John, Martin Schmied,
Heike Rösner, Roman Thierbach

Redaktion:
Thomas Myck, René Weinandy

Satz und Layout:
Atelier hauer + Dörfler GmbH

Druck:
RT Reprotechnik.de GmbH
gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Broschüren bestellen:
Service-Telefon: +49 340 2103-6688
Service-Fax: +49 340 2104-6688
E-Mail: uba@broschuerenversand.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Diese Publikation ist kostenfrei zu beziehen beim Umweltbundesamt. Der Weiterverkauf ist untersagt. Bei Zuwiderhandlung wird eine Schutzgebühr von 15 Euro/Stück erhoben.

Publikationen als pdf:
www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:
Titel: AdobeStock/JeanLuc
Seite 9: AdobeStock/Bea
Seite 10: Susanne Kambor (UBA)
Seite 14: Shutterstock/brizmaker
Seite 18: Shutterstock/Canetti
Seite 19: Shutterstock/Artens
Seite 25: Shutterstock/Denis Belitsky
Seite 30: Shutterstock/Travelpixs
Seite 36: Shutterstock/imageBROKER.com
Seite 38: Shutterstock/GolF2532
Seite 41: Shutterstock/BearFotos
Seite 43: Shutterstock/Bochkarev Photography
Seite 45: www.blauer-engel.de
Seite 58: UBA 1998
Seite 59: Julia Treichel (UBA)
Seite 50: Shutterstock/K303
Seite 60: Julia Treichel (UBA)
Seite 62: Shutterstock/brizmaker

Stand: Januar 2024

ISSN 2363-8311 [Print]
und/oder
ISSN 2363-832X [Online]

Akustische Zeitenwende:
50 Jahre Lärmschutz im UBA

Inhalt

1 Vorwort 9

2 Lärmwirkungen 14

2.1 Aurale Lärmwirkungen 15

2.2 Extra-aurale Lärmwirkungen 15

2.3 Empfehlungen der WHO zum Umgebungslärm 18

3 Straßenverkehrslärm 19

3.1 Wo entsteht der Lärm im Straßenverkehr? 20

3.2 Ein Blick zurück – die Entwicklung seit 1974 22

3.3 Ein Blick nach vorne – Quo Vadis Straßenverkehrslärm? 24

4 Schienenverkehrslärm 25

4.1 Möglichkeiten zur Minderung des Schienenverkehrslärms 26

4.2 Internationale Zusammenarbeit 27

4.3 Forschungsaktivitäten 27

4.4 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen 28

5 Fluglärm 30

5.1 Möglichkeiten zur Minderung des Fluglärms 31

5.2 Eine gute Idee: Lärmkontingentierung 34

5.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen 36

6 Industrie- und Gewerbelärm ... 38

6.1 Beurteilung von Anlagengeräuschen ... 39

6.2 Lärm von Windenergieanlagen ... 39

6.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen zur Minderung des Industrie- und Gewerbelärms ... 42

7 Produktlärm ... 43

7.1 Möglichkeiten der Lärmminderung bei Produkten ... 45

7.2 Schutz vor Produktlärm ... 48

7.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen ... 49

8 Lärmminderungsplanung ... 50

8.1 Die Europäische Umgebungslärmrichtlinie ... 52

8.2 Anwendung der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Deutschland ... 53

8.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen ... 56

9 Das Geräuschmesslabor des Umweltbundesamtes ... 57

9.1 Aufgaben des Geräuschmesslabors im UBA ... 59

9.2 Akustische Mess- und Auswertetechnik ... 59

9.3 Aktuelle Projekte ... 60

9.4 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen ... 61

10 Ausblick ... 62

Literaturverzeichnis ... 66

Abkürzungsverzeichnis

AVAS	Acoustic Vehicle Alerting System
BAF	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BAFU	Schweizer Bundesamt für Umwelt
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMK	Bauministerkonferenz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung
CNOSSOS	Common Noise Assessment Methods
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
dB	Dezibel
DFS	Deutsche Flugsicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EASA	European Aviation Safety Agency
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EEA	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
ERA	European Union Agency for Railways (Europäische Eisenbahnagentur)
EU	Europäische Union
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg
FluLärmG	Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
FlugLSV	Fluglärmschutzverordnung
GG	Graugruss
Hz	Hertz
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
ICAO	International Civil Aviation Organisation (Internationale Zivilluftfahrt-Organisation)
IGNA	Interest Group on Noise Abatement
ISO	International Organization for Standardization
K	Komposit
Kfz	Kraftfahrzeug
kW	Kilowatt
LAI	Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
$L_{Aeq,\,Tag}$	äquivalenter Dauerschallpegel in der Zeit von 6:00 bis 22:00 Uhr
$L_{Aeq,\,Nacht}$	äquivalenter Dauerschallpegel in der Zeit von 22:00 bis 6:00 Uhr
L_{DEN}	Tag-Abend-Nacht-Lärmindex
L_{night}	Nachtlärmindex
$L_{r,\,Tag}$	Beurteilungspegel für den Tag von 06:00 bis 22:00 Uhr
$L_{r,\,Nacht}$	Beurteilungspegel für die Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr

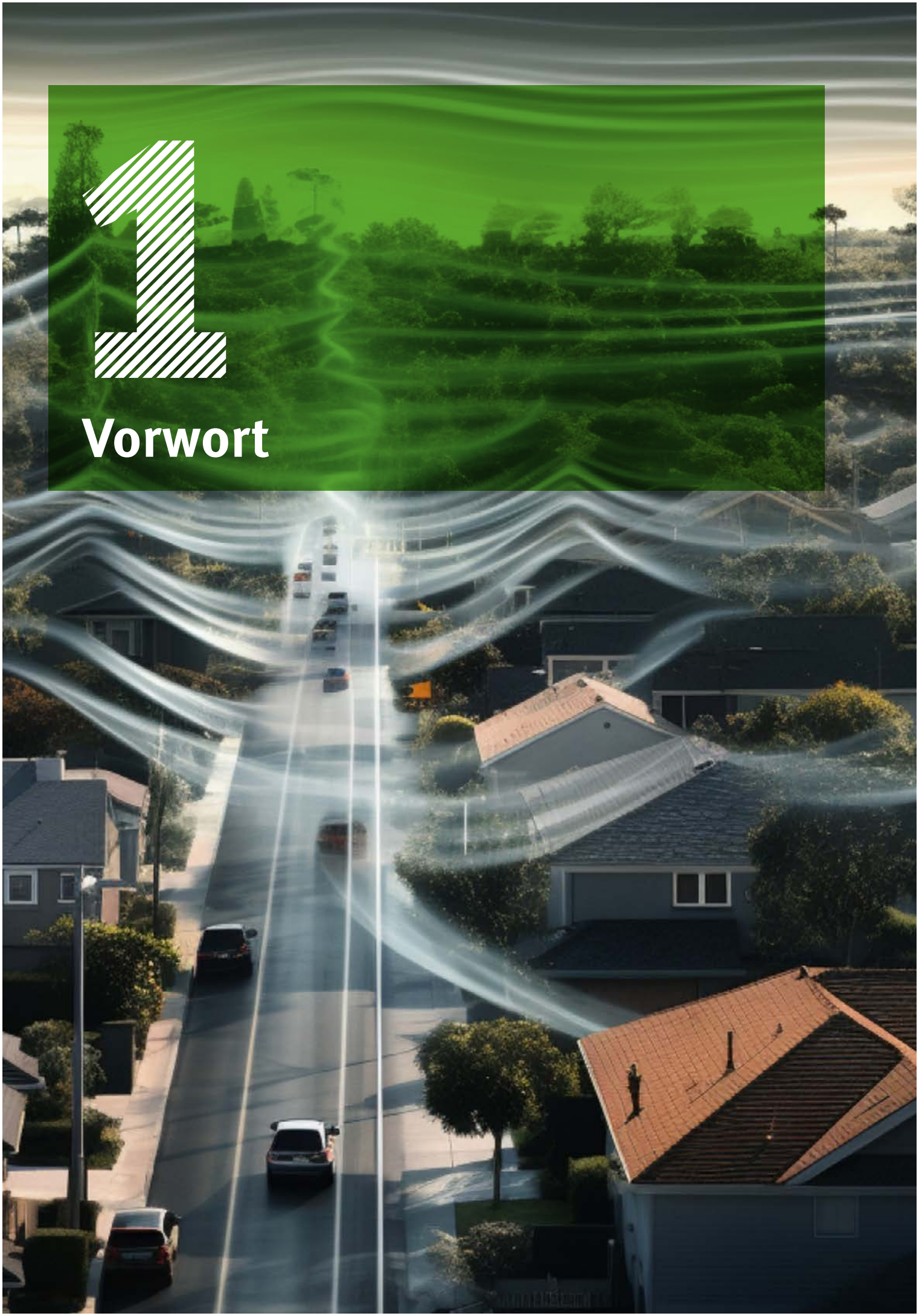
Lkw	Lastkraftwagen
LL	Low noise, Low friction
MbBO	Magnetschwebebahn-Bau- und Betriebsordnung
NAT	Number Above Threshold, auch als Maximalpegel-Häufigkeits-Kriterium bezeichnet
RDSE	Real-Driving-Sound-Emissions
RLS-19	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen 2019
RKI	Robert-Koch-Institut
SchlärmschG	Schienenlärmschutzgesetz
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
UAS	Unmanned aircraft systems (Drohnen)
UBA	Umweltbundesamt
UMK	Umweltministerkonferenz
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)

Abbildungen

Abbildung 1
Lärmbelästigung in Deutschland (in %) ... 16
Abbildung 2
Schematische Darstellung der Abhängigkeit des Antriebsgeräusches eines Verbrenner-Pkw von der Gangwahl, der Geschwindigkeit und des Rollgeräusches von der Geschwindigkeit bei gleichmäßiger Fahrt ... 21
Abbildung 3
Stand der Festsetzung der Lärmschutzbereiche ... 33
Abbildung 4
Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes zum Schutz vor Fluglärm ... 37
Abbildung 5
Beispiel einer Lärmkarte nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie für den Straßenverkehr in Dessau-Roßlau ... 53
Abbildung 6
Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Verkehrslärm im Jahr 2022 nach EU-Umgebungslärmrichtlinie ... 54
Abbildung 7
Lärmbelästigung durch mehrere Lärmquellen (in %) ... 65

Tabellen

Tab.1
Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation zum Schutz vor Umgebungslärm ... 18
Tab.2
Immissionsrichtwerte der TA Lärm ... 40
Tab.3
Empfehlungen zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung ... 56



1 Vorwort

Das Umweltbundesamt (UBA) wurde 1974 gegründet und befasst sich mit allen relevanten Umweltthemen. Hierzu gehört auch der Schutz vor Lärm, der wegen seiner ernsten Gesundheitsfolgen, insbesondere ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen und in der Folge Herzinfarkte, seit der Gründung des UBA intensiv behandelt wird.

Zur Erfassung, Beurteilung und Minderung des Lärms wurden schon 1974 zwei Gruppen im UBA eingerichtet. In den vergangenen fünf Jahrzehnten hat das UBA die wissenschaftlichen Grundlagen für zahlreiche Rechtsvorschriften zum Schutz vor Lärm erarbeitet. Ein Schwerpunkt war und ist die Minderung der Geräuschbelastung durch den Straßen-, Schienen- und Luftverkehr. So haben wir maßgeblich an der Vorbereitung der Verkehrslärmschutzverordnung (Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, kurz: 16. BImSchV) mitgewirkt, die 1990 erlassen wurde. Die Verordnung enthält Immissionsgrenzwerte für neue oder wesentlich geänderte Straßen und Schienenwege und sieht Lärmschutzmaßnahmen hierfür vor.

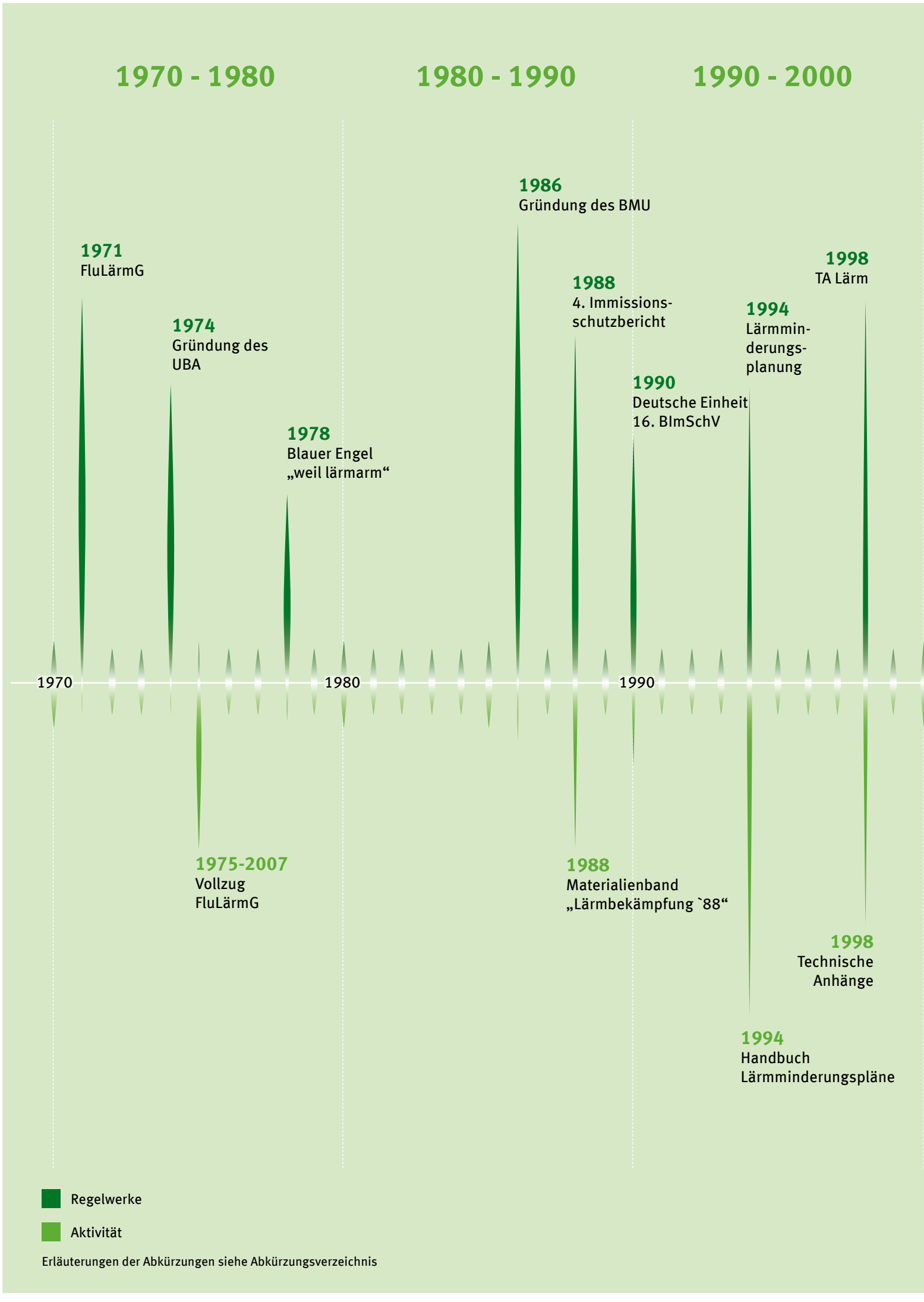
Zum Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm führte das UBA umfangreiche Arbeiten zur Novellierung des Fluglärmschutzgesetzes und der zugehörigen drei Rechtsverordnungen durch. Die Gesetzesnovelle trat im Jahr 2007 in Kraft und hat zu einer deutlichen Erhöhung des Lärmschutzniveaus im Umfeld von Flughäfen gegenüber der ursprünglichen Fassung aus dem Jahr 1971 beigetragen. Aber auch für die Minderung des Industrie- und Gewerbelärms hat das UBA bedeutende Beiträge in der Vergangenheit geleistet. Beispielsweise haben wir an der Vorbereitung der Novellierung der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm, TA Lärm“ im Jahr 1998 maßgeblich mitgewirkt und hierfür technische Anhänge zur Ermittlung und Beurteilung der Geräuschimmissionen erarbeitet. Die TA Lärm ist heute das wichtigste bundeseinheitliche Regelwerk zum Schutz vor Industrie- und Gewerbelärm.

Trotz dieser bedeutenden Erfolge bei der Lärmminderung sind heutzutage weiterhin viele Menschen in Deutschland hohen Geräuschbelastungen ausgesetzt, die ihre Gesundheit beeinträchtigen und ihre Lebensqualität mindern. Allein für den Straßenverkehr wurden bei der Kartierung nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie 16 Mio. Lärmbetroffene ab einem Pegel von L_{DEN} = 55 dB(A) ermittelt. Gründe hierfür sind das deutlich gestiegene Verkehrsaufkommen, die noch dichter gewordene Bebauung und neue Geräuschquellen wie zum Beispiel Wärmepumpen und Drohnen. Aktuelle Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zeigen, dass die Geräuschbelastung in Deutschland und in Europa noch deutlich über der liegt, die aus Gründen des Gesundheitsschutzes akzeptabel ist. Daher besteht erheblicher Handlungsbedarf auf der Ebene der Europäischen Union (EU), des Bundes, der Länder und der Gemeinden. Noch immer gibt es auf Bundes- oder Länderebene keine gesetzliche Regelung für die Lärmsanierung an bestehenden Straßen und Schienenwegen, sondern nur freiwillige Lärmschutzprogramme, deren Umfang von der jeweiligen Haushaltslage abhängt. Eine deutliche Ausweitung der Lärmsanierung ist jedoch notwendig, um die gesundheitlichen Auswirkungen durch Straßen- und Schienenverkehrslärm zu vermindern. Eine Lärmsanierung bestehender Straßen und Schienenwege sollte daher schrittweise und systematisch eingeführt werden. Angesichts der schwierigen finanziellen Lage der öffentlichen Haushalte ist es eine große Herausforderung, die Politik für eine solche Gesetzesinitiative zu überzeugen. Wichtig ist aber auch der Schutz ruhiger Gebiete. Denn das Angebot an wohnungsnahen Erholungsgebieten, in denen man „zur Ruhe kommt“, ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal unserer Städte und trägt zu deren Lebensqualität bei. Alle diese Themen werden in der vorliegenden Broschüre behandelt.

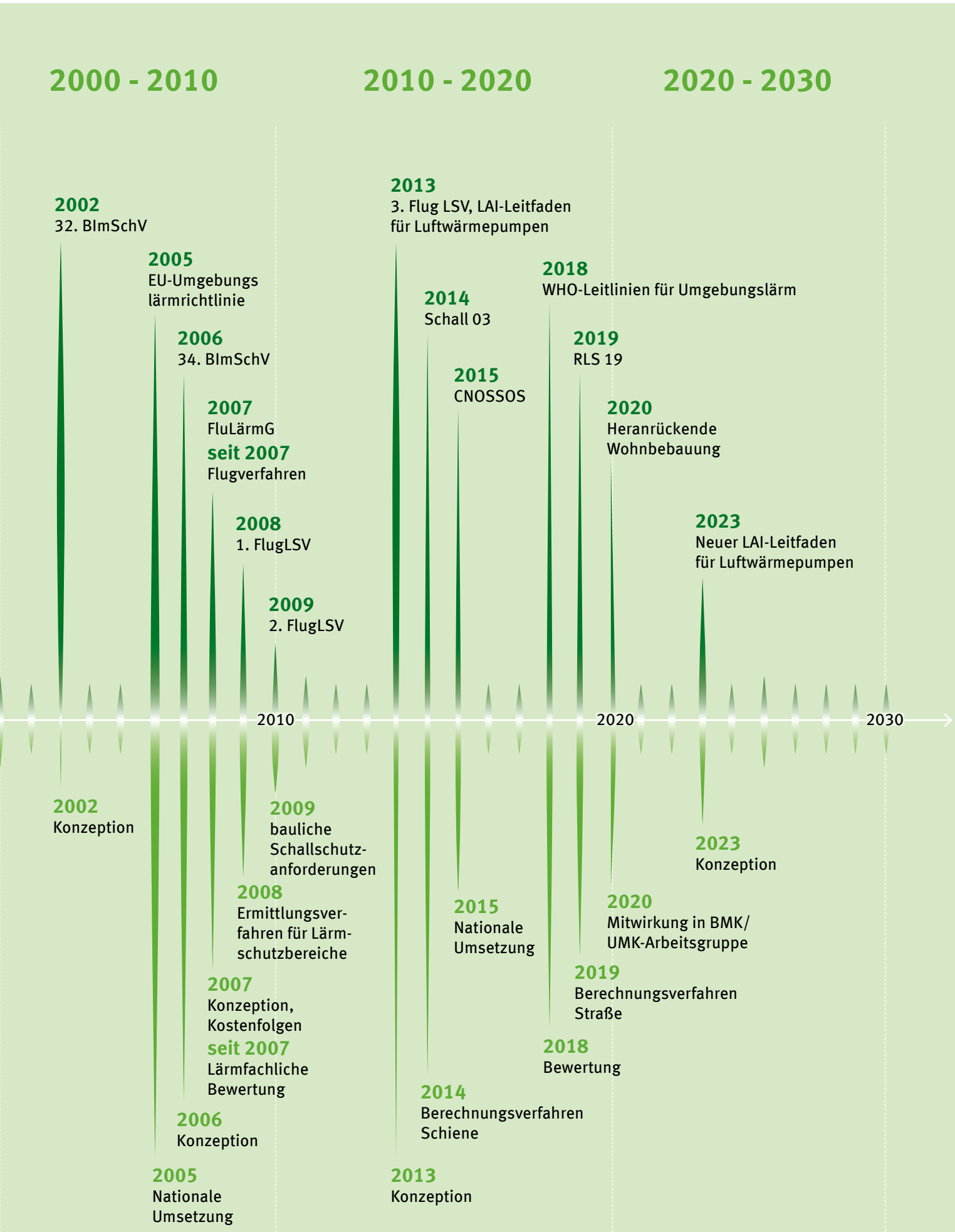
Zur deutlichen Verbesserung der Lärmsituation sind zukünftig noch erhebliche Anstrengungen aller Beteiligten erforderlich. Das allein reicht jedoch nicht aus, denn Lärm ist nur eines von vielen Umweltproblemen. Sowohl der Verkehr als auch der Anlagenbetrieb der Zukunft müssen nicht nur leise, schadstofffrei und treibhausgasneutral sein, sondern es sind auch die planetaren Grenzen und das gesamtgesellschaftliche soziale Gefüge zu berücksichtigen. Soziale Gerechtigkeit und Ressourcenschutz müssen holistisch und cradle-to-grave gedacht werden. Wie keine andere Institution weltweit ist das UBA prädestiniert, hierfür mutige Visionen und disruptive Transformationspfade in nahe und ferne Zukünfte zu entwickeln. Nichts ist dabei wichtiger als Zuversicht und der unerschütterliche Glaube an die Möglichkeiten jenseits gegenwärtiger Erfahrungshorizonte – auch und besonders in Zeiten der multiplen Krisen. Der im UBA gelebte wissenschaftliche Geist in Symbiose mit multi- und transdisziplinärer Vernetzung bis in die Spitzen der globalen Politiken ist ein Alleinstellungmerkmal des UBA und Garant für unseren Erfolg.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und Impulse für zukünftige Aktivitäten zum Schutz vor Lärm.

Ihr
Dirk Messner



Erläuterungen der Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis


2000 - 2010
2010 - 2020
2020 - 2030
2002
32. BImSchV
2005
EU-Umgebungs
lärmrichtlinie
2006
34. BImSchV
2007
FluLärmG
seit 2007
Flugverfahren
2008
1. FlugLSV
2009
2. FlugLSV
2013
3. Flug LSV, LAI-Leitfaden
für Luftwärmepumpen
2014
Schall 03
2015
CNOSSOS
2018
WHO-Leitlinien für Umgebungslärm
2019
RLS 19
2020
Heranrückende
Wohnbebauung
2023
Neuer LAI-Leitfaden
für Luftwärmepumpen
2010
2020
2030
2002
Konzeption
2009
bauliche
Schallschutz-
anforderungen
2008
Ermittlungsver-
fahren für Lärm-
schutzbereiche
2007
Konzeption,
Kostenfolgen
seit 2007
Lärmfachliche
Bewertung
2006
Konzeption
2005
Nationale
Umsetzung
2013
Konzeption
2014
Berechnungsverfahren
Schiene
2015
Nationale
Umsetzung
2018
Bewertung
2019
Berechnungsverfahren
Straße
2020
Mitwirkung in BMK/
UMK-Arbeitsgruppe
2023
Konzeption

2 Lärmwirkungen

Schall ist ein wesentlicher Bestandteil unseres sozialen Lebens und gleichzeitig oft unerwünscht. Unser Körper funktioniert biologisch so, dass wir Schall erzeugen und verarbeiten können. Wir benötigen Schall zum Beispiel zur Kommunikation. Der Mensch ist mit einem feinen Sensor ausgestattet, der Schall wahrnehmen kann. Dieser Sensor ist das Ohr mit seinen nachgeschalteten Verarbeitungsebenen im Gehirn. Der Sensor ist immer aktiv, auch im Schlaf, denn das Ohr schläft nie (UBA 2021). Bei vielen Vorgängen entsteht Schall, der sich aus mehreren Frequenzanteilen mit unterschiedlicher Stärke zusammensetzt. Dieser Schall wird als Geräusch bezeichnet und beschreibt die rein physikalisch-akustische Komponente. Der Begriff „Lärm“ hingegen sagt etwas darüber aus, wie wir Geräusche als Ergebnis einer kognitiven Auseinandersetzung empfinden. Geräusche werden also zu Lärm, wenn diese unerwünscht, störend oder gesundheitsschädlich sind.

Das UBA befasst sich seit seiner Gründung 1974 mit den Auswirkungen des Lärms auf die menschliche Gesundheit. Die Beurteilung der Lärmwirkungen ist die wissenschaftliche Grundlage für die Entwicklung und Fortschreibung von Rechtsvorschriften und Regelwerken zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm. Hierfür werden die medizinischen, physiologischen, psychologischen und sozialen Lärmwirkungen analysiert und beurteilt. Die Lärmwirkungen können in zwei Kategorien eingeteilt werden, und zwar in aurale und extra-aurale Wirkungen.

2.1 Aurale Lärmwirkungen

Die auralen Lärmwirkungen betreffen das Gehör, das durch kurzzeitige hohe Maximalpegel oder einer dauerhaften hohen Geräuschbelastung geschädigt werden kann. Diese Schädigungen des Innenohrs werden aurale Wirkungen genannt. Dazu gehören Beeinträchtigungen des Hörvermögens bis hin zur Schwerhörigkeit, sowie zeitlich begrenzte oder andauernde Ohrgeräusche, den Tinnitus (Śliwińska-Kowalska & Zaborowski 2017). Hohe Geräuschpegel treten nicht nur an geräuschintensiven Arbeitsplätzen auf, sondern auch in der Freizeit, zum Beispiel durch laute Musik. Ferner können Geräusche auf den gesamten Organismus wirken und Stressreaktionen auslösen, die als extra-aurale Lärmwirkungen bezeichnet werden. Dies kann auch schon bei niedrigeren, nicht-gehörschädigenden Geräuschpegeln geschehen, wie sie in der Umwelt vorkommen und zum Beispiel durch Verkehrslärm ausgelöst werden (Wothge & Niemann 2020). Da aurale Lärmwirkungen im Kontext des umweltbezogenen Immissionsschutzes selten auftreten, konzentriert sich der folgende Text auf die extra-auralen Lärmwirkungen.

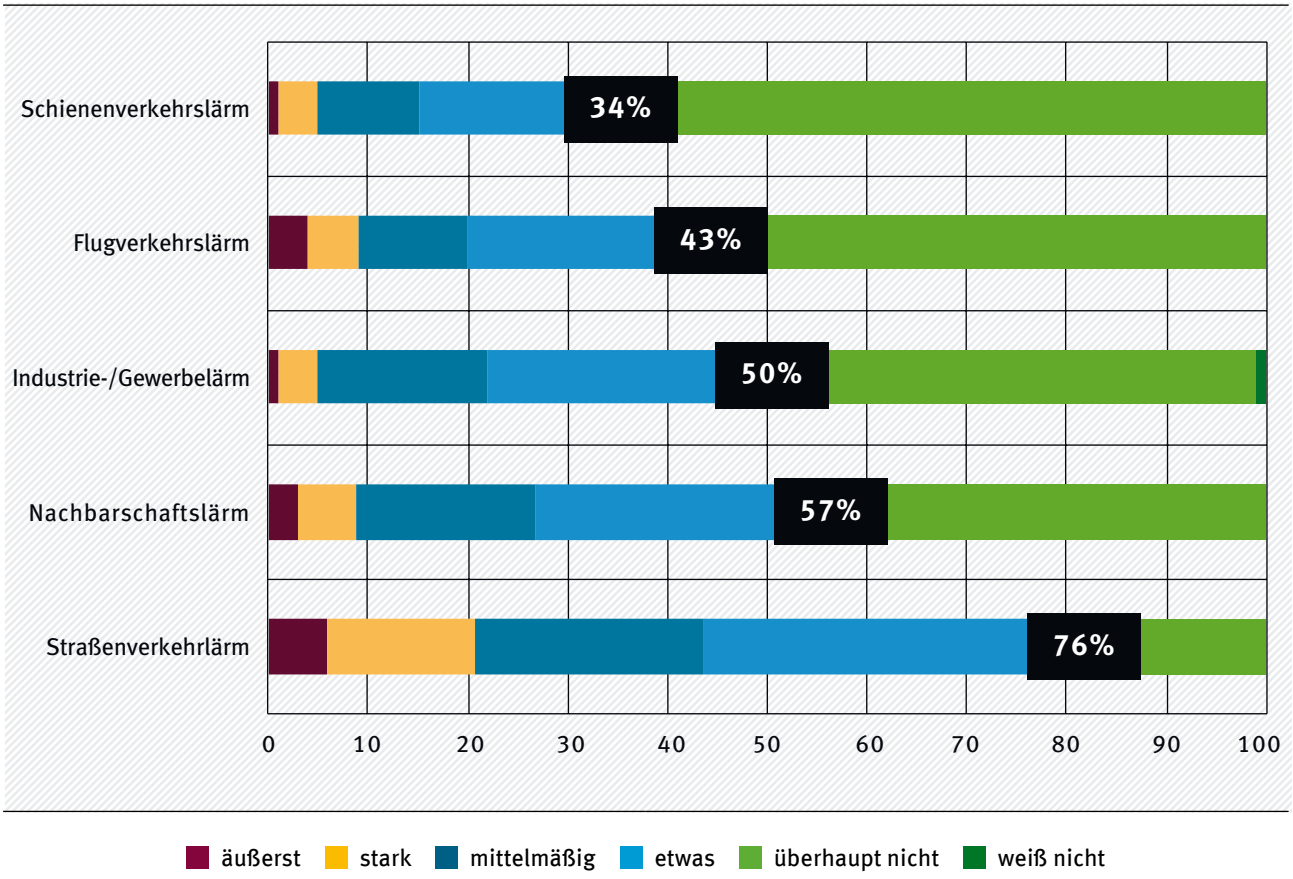
2.2 Extra-aurale Lärmwirkungen

2.2.1 Lärmbelästigung

Eine der zentralen Auswirkungen des Umgebungslärms ist die Lärmbelästigung (Guski et al. 2017). Lärm wirkt sich negativ auf die Kommunikation, die Erholung und die Entspannung aus. Aber auch konzentriertes Arbeiten und das psychische Wohlbefinden werden durch Lärm negativ beeinflusst. Diese Beeinträchtigungen tragen wesentlich zur Lärmbelästigung der Betroffenen bei. Dabei handelt es sich nicht allein um das subjektive Wohlbefinden einzelner Menschen in der Bevölkerung. Vielmehr kann die Belästigung auch erhebliche Stress-Reaktionen auslösen und damit ein potentieller Vorläufer für gesundheitliche Beeinträchtigungen sein. Die Belästigung ist daher ein ernstzunehmender gesundheitlicher Risikofaktor und wird deshalb in der deutschen Gesetzgebung berücksichtigt. So schreibt der Gesetzgeber den Schutz der Bevölkerung vor „erheblicher Belästigung“ in mehreren Rechtsvorschriften zum Immissionsschutz vor, insbesondere im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und dem Fluglärmschutzgesetz (FluLärmG).

Abbildung 1

Lärmbelästigung in Deutschland (in %)



Frage: Wenn Sie einmal an die letzten 12 Monate hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich persönlich durch den Lärm von folgenden Dingen gestört oder belästigt gefühlt? (Angaben in Prozent, Abweichungen von 100 Prozent rundungsbedingt)

Quelle: UBA 2022b, Datengrundlage Rubik 2020; Belz et al. 2022

Wie stark sich die Menschen durch Lärm belästigt fühlen, hängt neben der messbaren physikalischen Geräuschbelastung auch von zahlreichen nicht-akustischen Faktoren ab, wie zum Beispiel der persönlichen Einstellung zu einer Geräuschquelle und der individuellen Empfindlichkeit (Disposition). Das Ausmaß der Lärmbelästigung in Deutschland kann anhand der regelmäßig durchgeführten, repräsentativen Umfragen des UBA beurteilt werden. Nach einer Untersuchung aus dem Jahr 2020 fühlen sich 76 Prozent (%) der Befragten in ihrem Wohnumfeld durch Straßenverkehr gestört oder belästigt. An zweiter Stelle der verkehrsbedingten Lärmbelästigungen steht der Luftverkehr: Der Fluglärm stört 43 % der Bevölkerung. Bundesweit fühlen sich 34 % durch Schienenverkehr beeinträchtigt. Der Umfrage zufolge zählen aber auch Geräusche der Nachbarn zu den bedeutenden Ursachen der Lärmbelästigung. So fühlen sich dadurch 57 % der Bürger*innen beeinträchtigt (Rubik 2020; Belz et al. 2022) (siehe Abbildung 1).

2.2.2 Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Lärm mindert nicht nur das subjektive Wohlbefinden und die Lebensqualität, sondern kann auch die körperliche Gesundheit negativ beeinflussen: Die Verarbeitung von Hörschall führt potentiell zu einer Aktivierung des Hormonsystems und des autonomen Nervensystems. Infolgedessen kann sich, bei dauerhafter Lärmeinwirkung, der Blutdruck und die Herzfrequenz verändern sowie der Stoffwechsel und dessen Regulation beeinträchtigt werden. Kardiovaskuläre Risikofaktoren, wie erhöhte Blutzuckerwerte, können durch die Lärmwirkung auftreten und zu einer Arterienverkalkung beitragen. Dies kann die Entstehung eines Bluthochdrucks begünstigen und schließlich einen Herzinfarkt oder Schlaganfall auslösen (van Kempen et al. 2018).

2.2.3 Schlafstörungen

Für den Erhalt der psychomotorischen Leistungsfähigkeit und Gesundheit ist ungestörter Schlaf in ausreichender Dauer von zentraler Bedeutung (Basner & McGuire 2018). Nicht nur zu Zeiten der Wachphase, sondern auch wenn der Mensch schläft, werden Hormone ausgeschüttet, Proteine aufgebaut oder Gedächtnisinhalte konsolidiert. Diese komplexen physiologischen Prozesse sind notwendig, damit sich der Körper mental und physisch erholen und auf die nächste anstehende Wachphase vorbereiten kann. Treten in der Nacht Geräusche auf, werden diese auch im Schlaf wahrgenommen und können situationsbedingt unterschiedliche physiologische Reaktionen zur Folge haben. Das kann von einer Beschleunigung der Herzfrequenz bis hin zu einer vollständigen Aufwachreaktion reichen. Auf diese Weise kann nächtlicher Lärm den natürlichen Schlafablauf stören und die Erholungsfunktion des Körpers beeinträchtigen. Akute Folgen sind das vermehrte Auftreten von Müdigkeit und eine verminderte Leistungsfähigkeit. Langfristig ist eine Störung des Schlafs durch eine andauernde Geräuschbelastung ein Gesundheitsrisiko, vor allem für das Herz-Kreislauf-System (Wothge & Niemann 2020).

2.2.4 Kognitive Entwicklung von Kindern

Darüber hinaus beeinträchtigt Lärm aber auch die Sprachentwicklung und mentale Leistungsfähigkeit von Kindern (Clark & Paunovic 2018). Dies zeigen Studien insbesondere aus Großbritannien (Clark et al. 2013) und Deutschland (Klatte et al. 2014). Diese ergaben, dass Fluglärm mit eingeschränkter Lesekompetenz und Gedächtnisleistung von Kindern zusammenhängt. Es ist davon auszugehen, dass bei einem Anstieg des Dauerschallpegels (also eines zeitlich gemittelten Schallpegels) um 10 Dezibel (dB(A)) bzw. 20 dB(A) der Erwerb der Lesekompetenz um ein bzw. zwei Monate verzögert wird. Diese Verzögerung mag gering erscheinen, ihre Relevanz zeigt sich jedoch bei einer Betrachtung der gesamten Zeit für den Erwerb der Lesekompetenz. Diese erfolgt in der Regel im ersten Schuljahr. Durch die Schuleingewöhnungsphase und die Ferien beträgt die Gesamtlernzeit im ersten Schuljahr ungefähr sechs Monate. Eine Lernverzögerung von zwei Monaten bedeutet also eine Verzögerung um etwa ein Drittel der Gesamtleselernzeit gegenüber Kindern, die nicht durch Lärm am Schulort belastet sind. Es ist derzeit ungeklärt, ob und wann die Kinder diese Verzögerung wieder aufholen können.

2.2.5 Psychische Erkrankungen

In der Vergangenheit wurden vor allem die Auswirkungen des Verkehrslärms auf das Herz-Kreislauf-System und die chronische Lärmbelästigung analysiert. Nur eine geringe Anzahl wissenschaftlicher Studien fokussierte sich bislang auf die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Verkehrslärm und der psychischen Gesundheit des Menschen. Als Beitrag zur Schließung dieser Wissenslücke hat das UBA den Wirkungszusammenhang zwischen dauerhafter Verkehrslärmbelastung und verschiedenen psychischen Erkrankungen untersuchen lassen (Seidler et al. 2023). Hierzu zählen insbesondere die psychischen Krankheitsbilder Depression und Angststörung. Darüber hinaus wurde der Einfluss verschiedener Moderator- beziehungsweise Mediatorvariablen, wie beispielsweise das Vorhandensein von Lärmschutzmaßnahmen, der Wohndauer oder der Luftverschmutzung am Wohnort, betrachtet. Diese Studie zeigt, dass sich durch permanenten Verkehrslärm das Risiko für Depressionen erhöhen kann. Durch eine Zunahme des Straßen-, Schienen- oder Fluglärms um 10 dB kann das Erkrankungsrisiko um bis zu 4, 5 und 11 % ansteigen. Für eine Angststörungen nimmt das Risiko bis zu 3 % beziehungsweise sogar 15 % zu (Seidler et al. 2023).

2.3 Empfehlungen der WHO zum Umgebungslärm

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2018 Leitlinien für Umgebungslärm für die Europäische Region veröffentlicht (WHO 2018). Diese beinhalten quellenspezifische Empfehlungen für fünf unterschiedliche Geräuschquellen: Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie Lärm von Windenergieanlagen und Lärm während der Ausübung von Freizeitaktivitäten. Für jede dieser Quellen hat die WHO Leitlinienwerte für den ganztägigen Dauerschallpegel L_{DEN} und den Dauerschallpegel für den Nachtzeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr L_{night} definiert und eine Bewertung der Stärke vorgenommen. Eine „starke Empfehlung“ kann laut WHO in den meisten Situationen als politische Richtlinie übernommen werden. Eine „bedingte Empfehlung“ erfordert dagegen einen politischen Abstimmungsprozess mit umfangreicher Diskussion unter Einbeziehung der verschiedenen beteiligten Akteur*innen. Die Leitlinienwerte und die Empfehlungsstärke sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab.1

Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation zum Schutz vor Umgebungslärm

Geräuschquelle	L_{DEN} [dB(A)]	L_{night} [dB(A)]	Stärke der Empfehlung
Straßenverkehr	53	45	stark
Schienenverkehr	54	44	stark
Luftverkehr	45	40	stark
Windenergieanlagen	45	-	bedingt
Freizeitaktivitäten	70 ($L_{Aeq, 24}$)		bedingt

Quelle: WHO 2018

Straßenverkehrslärm

Unter den Verkehrslärmquellen nimmt der Straßenverkehr in dreierlei Hinsicht eine Sonderrolle ein: Erstens ist dieser anders als der Schienen- und Luftverkehr eine „Überall-Quelle“, denn fast jeder Wohnort in Deutschland liegt an einer öffentlichen Straße und ist mehr oder weniger von Straßenverkehrslärm betroffen. Das spiegelt sich auch in der Umweltbewusstseinsstudie (Rubik 2020; Belz et al. 2022) wider, laut der sich etwa drei Viertel der Befragten durch Straßenverkehrslärm gestört fühlen. Zweitens verursacht der Straßenverkehr an vielen Wohnorten hohe Geräuschpegel mit wenigen Maximalpegeln, also ein permanentes lautes Hintergrundrauschen.

An weniger belasteten Orten und auch nachts sind dagegen häufig die Vorbeifahrten einzelner Fahrzeuge besonders störend, deren Maximalpegel ähnlich wie im Schienen- und Luftverkehr ungewollte Aufwachreaktionen hervorrufen. Aber anders als bei dem Schienen- und Luftverkehr sind die Maximalpegel im Straßenverkehr allzu oft auf Sounddesign zurückzuführen, was die dritte Besonderheit des Straßenverkehrslärms ist: Es gibt bei Personenkraftwagen (Pkw) und Motorrädern ein regelrechtes „Geschäftsmodell Lärm“, also Sound als Marketingstrategie der Kraftfahrzeughersteller.

Geschäftsmodell „Lärm“

Der Begriff „Geschäftsmodell Lärm“ beschreibt die Aktivitäten vieler Hersteller von Pkw und Motorrädern im sogenannten Sound-Segment: Spezielle, in der Regel hoch motorisierte Modelle werden mit besonderen Sound-Paketen ausgerüstet und beworben. Der vermeintlich sportliche Sound ist dabei ein wichtiges Verkaufsargument. Gleichzeitig belästigen und gefährden diese Fahrzeuge Anwohner*innen sowie andere Verkehrsteilnehmende mit teils exzessiven Geräuschpegeln. Mit dem Geschäftsmodell stellen die Hersteller ihr Gewinninteresse über ihre gesellschaftliche Verantwortung für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung. Voraussetzung für das Geschäftsmodell Lärm sind Schlupflöcher in den Typprüfvorschriften, die durch massives Lobbying der Hersteller offengehalten werden (Schade & Gebhardt 2022, Keating 2012).

3.1 Wo entsteht der Lärm im Straßenverkehr?

Die vielen verschiedenen Geräuschquellen des Straßenverkehrs lassen sich in drei Kategorien gruppieren:

Antriebsgeräusche umfassen alle Quellen, die Komponenten des Antriebsstrangs zuzuordnen sind, also zum Beispiel dem Motor, dem Getriebe, gegebenenfalls der Kette, und natürlich der Abgasanlage. Die Antriebsgeräusche unterschieden sich im Klang und in der Lautstärke stark von Fahrzeug zu Fahrzeug und bilden das komplexe Zusammenspiel einer Vielzahl von Designentscheidungen in der Entwicklungsphase des Fahrzeugs ab. Im Betrieb ist das Antriebsgeräusch bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor stark von der Motordrehzahl und dem Lastzustand abhängig. Bei Elektroantrieben entfallen einige akustisch wichtige Komponenten wie beispielsweise die Ansaug- und Abgasanlage, weshalb diese wesentlich leiser als moderne Verbrennungsmotoren sind.

Reifen-Fahrbahn-Geräusche, häufig auch verkürzt als Rollgeräusche bezeichnet, umfassen alle Geräusche, die beim Abrollen der Reifen im Zusammenspiel mit der Fahrbahnoberfläche entstehen. Sie hängen sowohl von Eigenschaften der Fahrbahn wie zum Beispiel der Ebenheit und des Absorptionsgrads ab, als auch von Eigenschaften des Reifens wie zum Beispiel Profil, Gummimischung, Reifendimension, Radlast und Drehmoment. In der etwa postkartengroßen Kontaktfläche zwischen Reifen und Straße entsteht aber nicht nur ein Großteil des Straßenverkehrslärms, sie spielt auch eine zentrale Rolle für die Sicherheit des Fahrzeugs, weshalb die Akustik bei der Entwicklung neuer Reifen und neuer Straßendeckschichten nur eine untergeordnete Rolle spielt. Im realen Verkehr hängen die Reifen-Fahrbahn-Geräusche in erster Linie von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs ab.

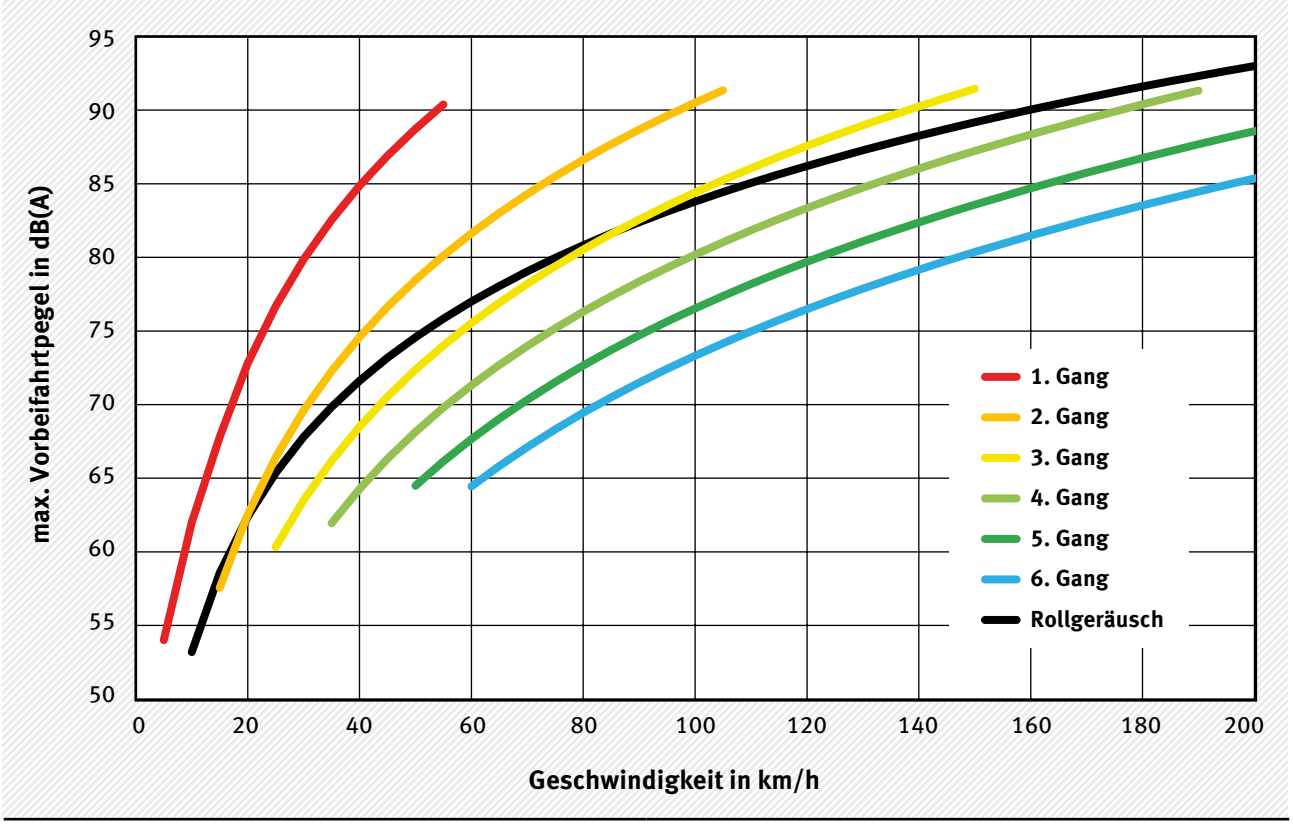
Aerodynamische Geräusche umfassen alle Geräusche, die bei der Umströmung des Fahrzeugs durch die Umgebungsluft entstehen. Bei modernen Fahrzeugen, die aus Gründen der Kraftstoffersparnis in Richtung eines geringen Strömungswiderstands optimiert sind, spielen aerodynamische Geräusche in der Regel erst bei sehr hohen Autobahn-Geschwindigkeiten eine Rolle.

Eine Sonderrolle nehmen künstliche Zusatzgeräusche ein, also per Lautsprecher vom Fahrzeug in seine Umgebung abgestrahlte Geräusche. Sie sind für E-Fahrzeuge unter der Abkürzung AVAS (Acoustic Vehicle Alerting System) bei niedrigen Geschwindigkeiten bis 20 km/h gesetzlich vorgeschrieben und gehören streng genommen in keine der drei genannten Kategorien. Da diese aber die vermeintlich zu geringen Antriebsgeräusche von E-Fahrzeugen ergänzen sollen, erscheint eine Zuordnung zu den Antriebsgeräuschen sinnvoll.

Betrachtet man ein Fahrzeug über seinen möglichen Geschwindigkeitsbereich, so ist bei niedrigen Geschwindigkeiten das Antriebsgeräusch pegelbestimmend und bei höheren Geschwindigkeiten das Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Je nach Fahrzeugtyp können bei sehr hohen Geschwindigkeiten aerodynamische Geräusche dominieren. Ab welcher Geschwindigkeit das Reifen-Fahrbahn-Geräusch das Antriebsgeräusch als dominante Quelle ablöst, hängt von vielen Parametern wie zum Beispiel Fahrzeugtyp, Straßenbelag und Motorlast ab. Als Orientierung gilt, dass sich bei Pkw in gleichmäßiger Fahrt bei etwa 20 km/h Antriebs- und Reifen-Fahrbahn-Geräusch die Waage halten, bei Lkw ist dies bei etwa 50 km/h der Fall (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2

Schematische Darstellung der Abhängigkeit des Antriebsgeräusches eines Verbrenner-Pkw von der Gangwahl, der Geschwindigkeit und des Rollgeräusches von der Geschwindigkeit bei gleichmäßiger Fahrt



Quelle: eigene Darstellunge

3.2 Ein Blick zurück – die Entwicklung seit 1974

Das UBA befasst sich seit seiner Gründung mit der Entstehung und Minderung des Straßenverkehrslärms. So haben wir bereits 1977 den Stand der Geräuschemissionen von Kraftfahrzeugen (Kfz) in einem Forschungsprojekt untersuchen lassen (UBA 1979). Schon damals zeigte sich, dass der Straßenverkehr die hauptsächliche Geräuschquelle in Deutschland ist. Weitere Untersuchungen im Jahr 1983 bestätigen dieses Bild (UBA 1989). Diese Studien trugen dazu bei, dass 1984 ein „lärmarmes Kraftfahrzeug“ in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) definiert wurde und damit die Voraussetzung zur Einführung von Benutzervorteilen für solche Fahrzeuge geschaffen wurde. Trotz dieser und verschiedener anderer Maßnahmen blieb die Geräuschbelastung durch den Straßenverkehr auch in den Folgejahren hoch, weil gleichzeitig das Verkehrsaufkommen deutlich zugenommen hatte. Zur Verbesserung dieser Situation hat das UBA 1997 einen umfangreichen Maßnahmenkatalog vorgelegt (UBA 1998). Dieser enthielt unter anderem Maßnahmen, die auch heute noch kontrovers diskutiert werden, wie die Empfehlung „Tempo 30“ vermehrt einzuführen. Der Geräuschpegel sinkt bei einer Verringerung der höchstzulässigen Geschwindigkeit von 50 auf 30 km/h um 2 bis 3 dB(A). Zudem erhöht Tempo 30 die Verkehrssicherheit und verringert die verkehrsbedingten Schadstoffemissionen (Heinrichs et al. 2017; Heinrichs et al. 2023; Lohse et al. 2023). Das UBA empfiehlt daher seit 1978 eine innerörtliche Regelgeschwindigkeit von 30 km/h einzuführen.

3.2.1 Technologische Entwicklungen

Fahrzeuge

Das Jahr 1974 ist nicht nur das „Geburtsjahr“ des UBA, es markiert auch mit der Markteinführung des VW Golf den Beginn des Siegeszugs wassergekühlter Fronttriebler bei Pkw. Am Beispiel des VW Golf lassen sich gut allgemeine Entwicklungen bei Pkw aufzeigen. Die Fahrzeuge sind größer und vor allem schwerer geworden: Während der Golf I noch unter 800 kg Leermasse auf die Waage brachte, wiegt ein aktueller Golf VIII schon mindestens 1.250 kg und als Plug-in-Hybrid sogar 1.600 kg. Ähnlich markant ist die Entwicklung bei der Nennleistung, die für die kleinste Motorvariante von 37 Kilowatt (kW) beim Golf I auf 66 kW beim Golf VIII anstieg, einhergehend mit einer Steigerung der Spitzengeschwindigkeit von 145 km/h auf 188 km/h. Dank Fortschritten vor allem bei Schalldämpfern und Motorkapseln konnten die Antriebsgeräusche bei Pkw trotz der höheren Motorleistungen gesenkt werden. Gleiches gilt für Lkw und – bis auf die Motorkapseln – auch für Motorräder.

Einen Wendepunkt stellt die Entwicklung der elektronischen Motorsteuerung seit den 1980er Jahren zusammen mit der Entwicklung von Soundgeneratoren und Auspuffklappensystemen nach der Jahrtausendwende dar. Diese Technologien bilden die Grundlage für modernes Sounddesign, das in Form des „Geschäftsmodells Lärm“ bei Pkw und Motorrädern eine pathologische Form angenommen hat.

Der wichtigste aktuelle technologische Trend ist sicher die angestrebte Transformation vom Verbrennungsmotor zum Elektroantrieb, was zu einer deutlichen Senkung der Antriebsgeräusche führen wird. E-Fahrzeuge setzen bei Pkw allerdings die oben beschriebene Entwicklung hin zu höheren Fahrzeugmassen und mehr Leistung fort und beschleunigen sie sogar.

Reifen

Die Entwicklung hin zu schwereren und leistungsstärkeren Pkw mit höheren Spitzengeschwindigkeiten spiegelt sich in einem Trend zu größeren und breiteren Reifen wider. Auch hier kann der VW Golf als Beispiel dienen: Während der Golf I mit einer Reifenbreite von 145 mm auskam, sind die Reifen des Golf VIII mindestens 205 mm breit. Mit dem Trend zu breiteren Reifen geht auch ein Trend zu größeren Felgen und niedrigeren Querschnittsverhältnissen einher. Und da breitere Reifen tendenziell lauter sind, ist dieser Trend aus Lärmschutzsicht ungünstig.

Bei Lkw ist vor allem die Bereifung der Antriebsachsen aus Lärmschutzsicht interessant. Hier konnten durch die Entwicklung weniger lauter Reifenprofile deutliche Fortschritte beim Rollgeräusch erzielt werden.

Das Rollgeräusch von Zweirädern ist im Allgemeinen vernachlässigbar, da runde Reifenquerschnitte, geringe Reifenbreiten und niedrige Radlasten akustisch günstig sind.

Fahrbahn

Die Entwicklung offenporiger Deckschickten – vornehmlich in Asphaltbauweise – und deren vermehrter Einsatz im Fernstraßennetz ist aus Sicht des Lärmschutzes der wichtigste technologische Trend der vergangenen 50 Jahre im Straßenbau. In den vergangenen 20 Jahren hat die Forschung an weiteren lärmmindernden Straßendeckschichttypen die Palette des Lärmschutzes im Straßenbau erheblich erweitert. Auch wenn im Spannungsfeld von Sicherheit, Kosten und Lärmschutz kein echter Durchbruch erzielt werden konnte, haben die Belange des Lärmschutzes im Straßenbau in den vergangenen Jahrzehnten an Stellenwert gewonnen. Profitiert haben diese Entwicklungen vom stetigen Ausbau des Fernstraßennetzes. So wuchs die Länge des deutschen Autobahnnetzes von etwa 7.500 km im Jahr 1974 auf heute gut 13.000 km, was den Straßenverkehrslärm weiter in die Fläche gebracht hat.

3.2.2 Gesetzliche Regelwerke

Die Einführung europäisch harmonisierter Geräuschstandards für Pkw und Lkw war 1974 gerade einmal vier Jahre alt, entsprechende Vorschriften für Motorräder folgten 1978, und erst 2001 wurden mit der EU-Reifenrichtlinie (2001/43/EG) Geräusch-Grenzwerte für Reifen eingeführt. Diese Geräuschvorschriften für Fahrzeuge und Reifen, also sowohl Messverfahren als auch Grenzwerte, werden inhaltlich bei der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) in Genf entwickelt und basieren auf Normen der International Standards Organisation (ISO). Sie werden regelmäßig überarbeitet und an den sich dynamisch entwickelnden Stand der Technik angepasst.

Mit dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), das 1974 in Kraft trat, wurde in der Bundesrepublik der Grundstein für den gesetzlichen Lärmschutz gelegt. Im Jahr 1990 folgte mit der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) eine Konkretisierung des Schutzniveaus, allerdings nur im Bereich des Straßenneubaus.

Die Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) verbietet seit ihrer Novelle von 1970 explizit unnötiges Lärmen. 1974 wurde dann mit den „Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Nachtruhe“ die Grundlage u. a. für die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Gründen des Lärmschutzes gelegt. Heute ist dieses kostengünstige und hoch wirksame Instrument zur Lärmminderung in den „Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm“ (Lärmschutz-Richtlinien-StV) geregelt, leider in einer Fassung, die weitgehend dem Ursprungsdokument aus dem Jahr 1981 entspricht und dringend aktualisiert werden müsste (BMVBS 2007).

3.2.3 Gesamtbild

Die vielen einzelnen Entwicklungen fügen sich zu einem Gesamtbild zusammen, das für den Lärmschutz ernüchternd ist: Während die Antriebsgeräusche – besonders bei Lkw, aber auch bei Pkw – deutlich gesenkt werden konnten, sind beim Reifen-Fahrbahn-Geräusch kaum Fortschritte zu beobachten. Hier übertönen die Effekte des Trends zu breiten Reifen und schwereren Fahrzeugen die positiven Effekte optimierter Reifenprofile und Gummimischungen. Erschwerend kommt hinzu, dass – bei weitgehend gleichgebliebener mittlerer Jahresfahrleistung von etwa 13.000 km pro Jahr und Fahrzeug – die deutsche Pkw-Flotte von 17 Millionen Pkw im Jahr 1974 auf heute knapp 49 Millionen Fahrzeuge angeschwollen ist (Statista 2023).

Dass das „Geschäftsmodell Lärm“ sich entwickeln konnte und heute floriert, also trotz kontinuierlicher Anpassung der Kfz-Zulassungsvorschriften an den aktuellen Stand der Technik auf Sound ausgelegte Fahrzeuge ab Werk zum Teil extreme Geräuschkulissen erzeugen können, ist ein gravierendes Defizit der Typ-Zulassungsvorschriften. (siehe Infokasten zum „Geschäftsmodell Lärm“).

Trotz Erfolgen in Teilbereichen müssen wir insgesamt konstatieren: Es ist bis heute nicht gelungen, die Bürger*innen in Deutschland wirksam vor Straßenverkehrslärm zu schützen. Wer am Bestandsstraßennetz wohnt, hat auch 50 Jahre nach Einführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) immer noch keinen gesetzlichen Anspruch auf ein Schutzniveau vor Straßenverkehrslärm, das gesunden Schlaf bei gekipptem Fenster ermöglicht. So verwundert es kaum, dass sich auch heute noch drei von vier Deutschen durch Straßenverkehrslärm gestört fühlen (Rubik 2020; Belz et al. 2022).

3.3 Ein Blick nach vorne – Quo Vadis Straßenverkehrslärm?

Es ist schwer zu sagen, wohin die Reise beim Lärmschutz im Straßenverkehr führen wird. Es ist aber leicht, für einen zukünftigen Erfolg wesentliche Weichenstellungen zu benennen.

Kraftfahrzeuge

Um die Typ-Zulassungsvorschriften wirksam zu schärfen, muss die Genese der Vorschriften dem Lobby-Einfluss der Kraftfahrzeughersteller entzogen werden. Dafür sollte die Zuständigkeit für die zulässigen Geräuschemissionen von Kraftfahrzeugen vom Verkehrsressort zum Umweltressort überführt werden, und zwar sowohl national als auch bei der EU, denn Lärmschutz an der Geräuschquelle ist Umwelt- und Gesundheitsschutz.

Die fachliche Unabhängigkeit der Technischen Dienste setzt voraus, dass keine wirtschaftliche Abhängigkeit von der Automobilindustrie besteht. Dafür ist die Finanzierung der Technischen Dienste auf ein Umlagesystem umzustellen.

Auf technischer Ebene ist eine grundsätzliche Novelle des Geräusch-Typprüfverfahrens erforderlich, um eine transparente und umfassende Bewertung der Geräuschemissionen zu gewährleisten. Der Grundsatz, dass Kraftfahrzeuge nach dem Stand der Technik unvermeidbare Geräuschemissionen nicht überschreiten dürfen, sollte dem Verfahren an zentraler Stelle vorangestellt sein. Das ergänzende Prüfverfahren sollte durch Messungen im realen Verkehr ergänzt werden, sogenannten Real-Driving-Sound-Emissions (RDSE). Neben den mit typischen Fahrsituationen verbundenen Geräuschemissionen sollten ergänzend Maximalpegel ermittelt und in die Fahrzeugpapiere eingetragen werden. Die Einhaltung der Maximalpegel könnte im Verkehr automatisiert kontrolliert und Überschreitungen sanktioniert werden. Außerdem könnten in besonders schutzbedürftigen Bereichen Ruhezonen ausgewiesen werden, die nur leise Fahrzeuge befahren dürften.

Lärmschutz im Bestand

Der gesetzliche Lärmschutz der 16. BImSchV für neue und wesentlich geänderte Straßen ist – schrittweise und systematisch – auf Bestandsstraßen auszuweiten. Angesichts der teilweise massiven Überschreitungen der Vorsorgegrenzwerte der 16. BImSchV und der vielen Betroffenen besteht dringender Handlungsbedarf. Gleichzeitig fehlen einfache Lösungen, denn ein umfassender Lärmschutz scheiterte bisher an den erwarteten hohen Kosten und unvermeidbaren verkehrlichen Einschnitten. Eine Lösung muss sich daher zunächst auf die höchsten Geräuschbelastungen konzentrieren und sollte das Schutzniveau systematisch über angemessen lange Zeiträume an das Niveau der Lärmvorsorge der 16. BImSchV angleichen. Wichtig ist, dass ein Startpunkt gesetzt und Perspektiven zwischen Bund, Ländern und Kommunen abgestimmt werden.

Straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen

Das Straßenverkehrsrecht und die Lärmschutz-Richtlinien-StV (BMVBS 2007) sind zu novellieren, um den aktuellen Stand der Forschung abzubilden und die Anordnung von Geschwindigkeitsbeschränkungen aus Gründen des Lärmschutzes zu erleichtern. Im Sinne des Subsidiaritätsprinzips sollte den Kommunen mehr Verantwortung und Handhabe gegeben werden, um besonders innerstädtische Raum- und Verkehrsplanung besser zu integrieren. Niedrigere Geschwindigkeiten verringern nicht nur die Geräuschimmissionen, sondern erhöhen auch die Verkehrssicherheit und verbessern das Neben- und Miteinander motorisierter und nicht-motorisierter Mobilität (Heinrichs et al. 2023). Die damit verbundene Steigerung der Attraktivität der Innenstädte wiederum schont Klima und Ressourcen.

4

Schienenverkehrslärm

Das UBA befasst sich seit langer Zeit mit der Erfassung, Beurteilung und Minderung des Schienenverkehrslärms. So haben wir bereits 1977 in Zusammenarbeit mit der Industrie eine erste Untersuchung zum Thema Kurvenquietschen durchgeführt und Minderungsmaßnahmen vorgeschlagen (UBA 1979). Auch in den 1990er Jahren traten Lärmkonflikte zum Beispiel beim Neu- und Ausbau von Schienenwegen auf, weil neue Fahrbahnarten wie „Feste Fahrbahnen“ eingeführt wurden. Dabei ist das Gleis direkt auf einen harten Untergrund, beispielsweise Beton, befestigt. Das UBA hat damals umfangreiche Geräuschmessungen an diesen Schienenwegen durchgeführt, die eine wichtige Grundlage für die Fortschreibung von Rechtsvorschriften waren (UBA 1998).

Aber auch gegenwärtig hat das Thema Lärmschutz im Schienenverkehr eine hohe Relevanz. Die gute Umweltbilanz des Schienenverkehrs, vor allem für den Klimaschutz, wird durch die zum Teil hohe Geräuschbelastung getrübt. Diese wird zunehmend zum Hemmnis für den Ausbau des Schienennetzes und gefährdet das politische Ziel der Verkehrsverlagerung, bei der mehr Verkehr von der Straße auf die Schiene verlagert werden soll. Auf Grundlage der EU-Umgebungslärmrichtlinie (2002/49/EG) wird die Geräuschbelastung der Bevölkerung durch den Schienenverkehr an Eisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von über 30.000 Zügen pro Jahr und in Ballungsräumen mit mehr als 100.000 Einwohnern erfasst (siehe Kapitel 8.1). Die hierzu notwendige Lärmkartierung und die Lärmaktionsplanung an den bundeseigenen Strecken erfolgt durch das Eisenbahn-Bundesamt (EBA 2023a). Die Geräuschbelastung entlang nichtbundeseigener Bahnen sowie in den Ballungsräumen (auch entlang von S-Bahnen, Straßenbahnen) wird in länderspezifischer Verantwortung ermittelt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass rund 3,6 Millionen Menschen in Deutschland ganztags Pegeln von mehr als 55 dB(A) ausgesetzt sind. Nachts von 22 bis 6 Uhr sind rund 2,7 Millionen Menschen von Dauerschallpegeln mit mehr als 50 dB(A) vom Schienenverkehrslärm betroffen (UBA 2023a). Problematisch sind vor allem Lärmschwerpunkte entlang der europäischen Güterverkehrskorridore, mit räumlich konzentrierten, hohen Geräuschbelastungen, zum Beispiel im Mittelrheintal.

4.1 Möglichkeiten zur Minderung des Schienenverkehrslärms

Der Schienenverkehr erfolgt grenzüberschreitend. Maßnahmen zur Minderung des Schienenverkehrslärms werden daher überwiegend auf EU- und Bundes-Ebene getroffen. Das betrifft insbesondere die zulässigen Geräuschemissionen von Schienenfahrzeugen. Europaweit einheitliche Geräuschgrenzwerte für neue Schienenfahrzeuge sind in der „Technischen Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Fahrzeuge - Lärm (TSI Noise)“ festgelegt (Europäische Kommission 2014 und 2023). Hierbei ist aber zu beachten, dass die TSI Noise erst seit 2006 gültig ist. Auf Basis der Interoperabilitäts-Richtlinie bleiben somit die Inbetriebnahme-Genehmigungen für Schienenfahrzeuge, die vor dem Jahr 2006 in Betrieb genommen wurden, bis auf Weiteres gültig. Damit gelten für diese Schienenfahrzeuge die Zulassungslärmgrenzwerte der TSI Noise nicht. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen, wurde die TSI Noise im Jahr 2019 überarbeitet und ergänzt. Dabei wurden vor allem die sogenannten „leiseren Strecken“ eingeführt. Das sind Strecken, die mindestens 20 km lang sind und auf denen durchschnittlich mehr als 12 Güterzüge täglich in der Nachtzeit zwischen 22 und 6 Uhr verkehren. Auf diesen Strecken ist der Betrieb von GG-gebremsten Güterwagen ab dem 8. Dezember 2024 grundsätzlich untersagt.

Eine Aktualisierung der „leiseren Strecken“ erfolgt ab dem 8. Dezember 2024 in einem Abstand von maximal 5 Jahren. Hierbei wird durch die jeweiligen Mitgliedstaaten geprüft, ob weitere Strecken als „leisere Strecken“ geführt werden müssen. Sollte das Verkehrsaufkommen auf „leiseren Strecken“ im Aktualisierungszeitraum um mehr als 50 % zurück gehen und die Zahl der täglich während der Nachtzeit verkehrenden Güterzüge im Durchschnitt unter 12 fallen, wird eine als „leisere Strecke“ ausgeschriebene Strecke nicht weiter als solche geführt. Die Europäische Kommission verpflichtet sich darüber hinaus, die Umrüstungsfortschritte und die Auswirkungen der leiseren Strecken auf die Schienengüterverkehrsbranche zu bewerten.

National gibt es zum Schutz vor Schienenverkehrslärm keine generelle Regelung. Lediglich beim Neubau oder einer wesentlichen Änderung eines

Schienenweges, wenn zum Beispiel der Schienenweg um ein durchgehendes Gleis baulich erweitert wird, sind die in der Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) festgelegten Immissionsgrenzwerte einzuhalten; dies wird als Lärmvorsorge bezeichnet. In der Verordnung ist festgelegt, wie hoch der Dauerschallpegel im Wohnort sein darf. Für bestehende Schienenwege gibt es dagegen keine entsprechende Regelung. Aus diesem Grund führt der Bund das sogenannte Lärmsanierungsprogramm durch, das eine freiwillige Leistung des Bundes nach Haushaltsrecht ist. Hierbei ist aber zu beachten, dass die Lärmsanierung keine Grenzwerte festlegt, sondern Auslösewerte. Diese sind bis zu 7 dB(A) höher als die Grenzwerte der Lärmvorsorge und es besteht kein gesetzlicher Anspruch auf diese Lärmschutzmaßnahmen. Die aktuellen Auslösewerte für die Lärmsanierung sind auf der Internetseite des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) einsehbar (BMDV 2022).

In den letzten Jahren wurden verschiedene Aktivitäten zum Schutz gegen Schienenverkehrslärm gestartet. Eine besonders wichtige Maßnahme ist die Umrüstung lauter Güterwagen, die das BMDV gefördert hat. Hierbei wurden die bislang verwendeten „Grau Guss (GG)-Bremssohlen“ gegen sogenannte „Low noise, Low friction (LL)-Bremssohlen“ ausgetauscht, weil diese Bremsen die Räder nicht so stark aufrauen und dadurch ein leiseres Abrollen bewirken. Um diese Maßnahme zu flankieren, wurde im Jahr 2017 das Schienenlärmschutzgesetz (SchlärmschG) erlassen, welches das Befahren von nicht umgerüsteten Schienengüterfahrzeugen ab dem Netzfahrplan 2020 auf dem deutschen Schienennetz grundsätzlich verbietet. Die Umrüstung der Güterwagen ist mittlerweile in Deutschland abgeschlossen. Hierdurch wurde eine Lärmminderung des Schienengüterverkehrs von bis zu 10 dB(A) erreicht, was ungefähr einer Halbierung der empfundenen Lautstärke entspricht.

4.2 Internationale Zusammenarbeit

Das UBA ist international stark vernetzt. So haben wir auf europäischer Ebene an der Überarbeitung der TSI Noise maßgeblich mitgewirkt. Darüber hinaus ist das UBA in der „Interest Group on Noise Abatement“ (IGNA) des „Environmental Protection Agencies Network“ (EPA Network) aktiv (Weinandy & Peeters 2023). In diesem Gremium wirken viele europäische Staaten und auch die Europäische Umweltagentur (EEA) mit, die Strategien zum Schutz vor Lärm entwickeln und sich über aktuelle Lärmschutzregelungen austauschen Die IGNA wird gemeinsam von dem Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) und dem UBA geleitet.

4.3 Forschungsaktivitäten

Um den Schienenverkehrslärm nachhaltig zu verringern, hat das UBA verschiedene Forschungsaktivitäten zu aktuellen Fragestellungen durchgeführt. Hierbei lag und liegt der Fokus auf Forschungsarbeiten deren Ergebnisse durch die EU, den Bund, die Länder, die Kommunen und der Industrie aufgegriffen und umgesetzt werden können. Dabei wurde in den letzten Jahren schwerpunktmäßig der durch den Schienengüterverkehr verursachte Lärm untersucht. Das UBA hat mit dem Forschungsprojekt „Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms“ (Mitusch et al. 2017) Maßnahmen entwickeln lassen, wie der Schienengüterverkehrslärm zukünftig reduziert werden kann. Zudem wurde in dem Projekt ein Konzept für ein Schienenlärm-Monitoring entwickelt. Die Bundesregierung hat dieses Konzept aufgegriffen und umgesetzt. Es wurden 19 Geräuschmessstationen an Schienenwegen installiert, die das EBA betreibt. Die Standorte der Messstationen wurden so gewählt, dass diese mehr als zwei Drittel des Schienengüterverkehrsaufkommens in Deutschland erfassen. Die Messergebnisse zeigen, dass durch die Umrüstung der Güterwagen auf leisere Bremsen eine deutliche Lärmminderung erzielt werden konnte. So nahm der Anteil umgerüsteter Güterwagen von 59 % im Juni 2019 auf 89 % im Jahr 2022 zu, während sich die Geräuschemissionen in diesem Zeitraum um ca. 7 dB(A) verringerten (EBA 2023b)

Mit den Lärmminderungserfolgen durch die Umrüstung der Güterwagenflotte treten nunmehr andere Geräuschquellen in den Vordergrund. Durch den

Fahrbetrieb können Laufflächenfehler an den Rädern entstehen, wie zum Beispiel Flachstellen, die lärmintensiv sein können. Das UBA hat in dem Forschungsprojekt „Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums“ (Huth et al. 2022) untersuchen lassen, wie groß die Geräuschentwicklung und Belästigungswirkung durch die Laufflächenfehler ist. Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse wurde mit dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) und dem BMDV eine Gesetzesinitiative eingeleitet, um akustisch auffällige Laufflächenfehler vom deutschen Schienennetz zu verbannen.

Ein aktuell großes Thema ist die Verkehrswende und die damit einhergehende Ausweitung des Schienenverkehrs. Um die Verkehrswende mit einem ausreichenden Schienenlärmschutz zu flankieren, hat sich das UBA zunächst mit der Lärmminderung bei Straßenbahnen befasst und hierzu ein Forschungsprojekt (Hamöller et al. 2021) durchführen lassen. In dem Projekt wurden verschiedene Lärmminderungsmöglichkeiten aufgezeigt und Handlungs- und Eingriffsmöglichkeiten der Kommunen benannt. Das Projekt hat gezeigt, dass vor allem durch Schienenschleifen eine deutliche Lärmminderung bei Straßenbahnen erzielt werden kann. Zurzeit werden in dem Projekt „Verkehrswende und Konzept für einen leiseren Schienenverkehr bis 2030“ Lärmminderungskonzepte im Schienenverkehr mit Bezug zur Verkehrswende untersucht. Hierbei liegt der Fokus auf Umsetzungskonzepten für ausgewählte Lärmminderungsmaßnahmen.

4.4 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen

Das UBA verfolgt seit langem das Ziel, Möglichkeiten für einen geräuscharmen Schienenverkehr aufzuzeigen und umzusetzen. Trotz des 2017 erlassenden Schienenlärmschutzgesetzes und der abgeschlossenen Umrüstung von Güterwagen von GG– auf LL–Sohlen treten vor allem nachts lokal Geräuschpegel auf, die deutlich über den Werten liegen, die aus Gründen des Gesundheitsschutzes anzustreben sind. Hinzu kommt, dass die für den Klimaschutz notwendige Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene eine Erhöhung der Verkehrsleistung mit sich bringen wird. Die Verkehrsverlagerung auf die Schiene muss aus Gründen des Gesundheitsschutzes und zur Akzeptanzerhöhung in der Bevölkerung mit einem ausreichenden Lärmschutz einhergehen. Das UBA empfiehlt zukünftig folgende Maßnahmen zur Minderung des Schienenverkehrslärms zu realisieren:

- **Einführung von Geräuschgrenzwerten für Bestandsstrecken**
  Für Bestandsstrecken sollten durch den Bund und die Länder verbindliche Immissionsgrenzwerte eingeführt werden, die das gleiche Schutzniveau wie die Lärmvorsorge der 16. BImSchV aufweisen. Die Immissionsgrenzwerte der 16. BImSchV betragen zum Beispiel für reine und allgemeinen Wohngebiete 59 dB(A) am Tag und 49 dB(A) in der Nacht. Dabei ist der Tag als die Zeit von 06:00 bis 22:00 Uhr und die Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr definiert.
- **Nutzung weiterer Lärmschutzmaßnahmen an der Geräuschquelle**
  Die vorhandenen und noch zu entwickelnden Lärmschutzmaßnahmen an der Quelle, also an der Strecke und am Zug, sind konsequent durch die Schienenverkehrsindustrie umzusetzen. Beispiele für Schallschutzmaßnahmen an der Quelle sind in dem Gutachten „Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms“ (Mitusch et al. 2017), das vom UBA beauftragt wurde, dargestellt. Es werden sowohl Maßnahmen am Zug wie zum Beispiel Radschallabsorber, als auch für die Strecke, wie das besonders überwachte Gleis, beschrieben. Die fortschreitende Digitalisierung im Schienengüterverkehr, vor allem bei den Güterloks und Güterwagen, eröffnet zudem neue Möglichkeiten des Lärmschutzes für Güterbahnen. Darüber hinaus sollte die EU, so die Empfehlungen des Gutachtens, die Geräusch-Zulassungsgrenzwerte der TSI–Noise für Neufahrzeuge um 5 dB(A) absenken und diese auf den Bestand, mit einer entsprechenden Umsetzungsfrist, ausweiten. Neben der allgemeinen Lärmreduzierung der Schienenfahrzeuge sollten die Stromabnehmer für Hochgeschwindigkeitszüge und die Lärmminderungsmöglichkeiten für Kurvenfahrten einbezogen werden. Für die Stromabnehmer ist eine Geräuschminderung gegenüber der aktuellen Bauausführung von bis zu 15 dB(A) bei

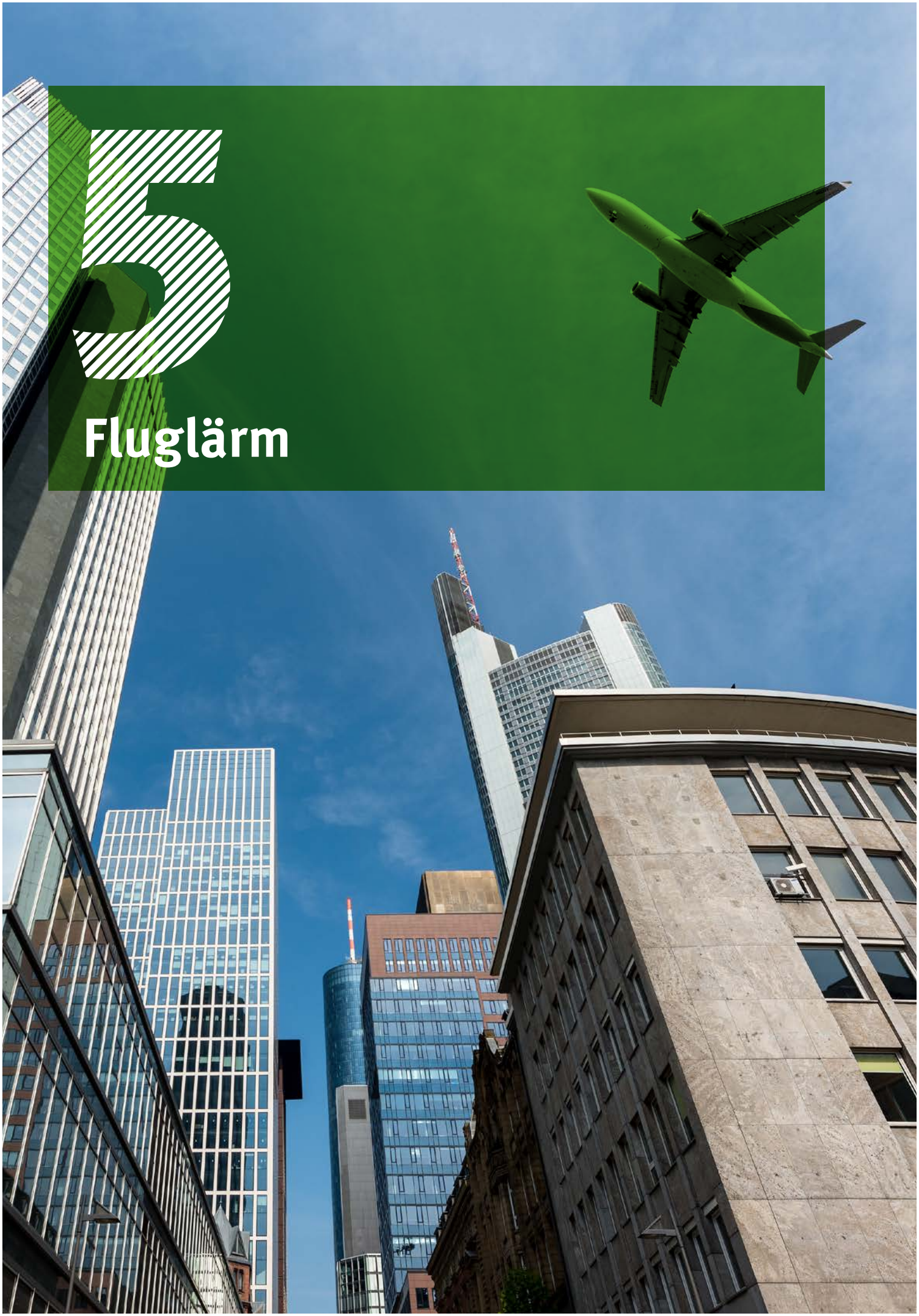
300 km/h möglich und für Kurvenfahrten kann je nach Kurvenradius eine Geräuschminderung bis zu 8 dB(A) fahrzeugseitig erzielt werden.

- **Berücksichtigung von Lärmschutzbelangen bei der Festlegung von Trassen**
  Bereits bei der Planung neuer Trassenverläufe sollten verstärkt Lärmschutzbelange berücksichtigt werden, um Lärmprobleme schon von Anfang an zu minimieren. So sollten neue Schienengüterverkehrstrassen möglichst nicht durch stark besiedeltes Gebiet führen.

- **Einführung eines Maximalpegelkriteriums für die Nacht**
  Gerade nachts kann der Schienenverkehrslärm aufgrund der hohen Maximalpegel sehr störend sein. Lärmwirkungsstudien zeigen, dass akute Beeinträchtigungen des Schlafs, wie zum Beispiel Aufwachreaktionen, besser mit Maximalpegeln von Einzelschallereignissen korrelieren als mit Dauerschallpegeln (siehe Kapitel 2.2). Der Zusammenhang zwischen nächtlichen Aufwachreaktionen und Einzelschallereignissen des Schienenverkehrs ist gut belegt (Schlattjan et al. 2014). In dem „Gutachten zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht“ (Möhler 2017) ist eine mögliche Vorgehensweise zur Einführung eines Maximalpegelkriterium dargestellt. Das UBA empfiehlt, ergänzend zum Beurteilungspegel, ein Maximalpegelkriterium für die Nacht über die Aufwachreaktionen einzuführen. Dabei sollte durchschnittlich weniger als eine zusätzliche lärmbedingte Aufwachreaktion pro Nacht bezogen auf ein Jahr zugrunde gelegt werden.

Die Umsetzung dieser Lärmminderungsmaßnahmen erfordert den weiteren Gestaltungswillen aller Akteur*innen, denn nur gemeinsam lässt sich eine deutliche Verbesserung der Lärmsituation im Schienenverkehr erzielen. Hierzu wird das UBA auch zukünftig konkrete Wege und Minderungsmöglichkeiten aufzeigen.

5 Fluglärm



Fluglärm ist seit Jahrzehnten ein gravierendes Umweltproblem gerade im Umfeld der Flugplätze. Bereits mit der Einführung des Flugbetriebs mit Strahlverkehrsflugzeugen in den 1960er Jahren gab es zahlreiche Lärmbeschwerden, weil die Geräuschemissionen dieser Flugzeuge noch nicht begrenzt waren. Konsequenterweise wurden zunächst 1969 in den USA und dann 1971 auf internationaler Ebene die ersten Geräuschgrenzwerte für zivile Strahlflugzeuge festgelegt. Die Regelungen auf internationaler Ebene wurden in den Anhang 16 zum Luftfahrtabkommen der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (International Civil Aviation Organization, kurz: ICAO) niedergelegt. Dieses Regelwerk entwickelte sich bis heute zur zentralen Vorschrift über die Geräuschemissionen ziviler Luftfahrzeuge. Der aktuelle ICAO-Anhang 16 besteht mittlerweile aus vier Bänden, die sich nicht nur mit Fluglärm, sondern auch mit den Schadstoffemissionen von Flugtriebwerken, den CO_2-Emissionen der Luftfahrzeuge und der internationalen Klimaschutzmaßnahme im Luftverkehr CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) befassen (ICAO 2017a, ICAO 2017b, ICAO 2017c, ICAO 2018).

5.1 Möglichkeiten zur Minderung des Fluglärms

5.1.1 Lärmminderung an der Geräuschquelle

Fluglärm entsteht hauptsächlich durch die Triebwerke und die Flugzeugzelle, so dass sich die Lärmminderungsmaßnahmen hierauf konzentrieren. Beim Start dominieren die Triebwerksgeräusche gegenüber den Geräuschen durch die Umströmung der Flugzeugzelle. Bei der Landung kommt dagegen dem Umströmungslärm eine zunehmende Bedeutung zu, weil die Triebwerke in dieser Flugphase mit wesentlich geringerer Leistung als beim Start betrieben werden und dadurch deutlich weniger Lärm verursachen. Generell ist die Lärmminderung an der Geräuschquelle, also dem Luftfahrzeug, am effektivsten. Wenn insgesamt der Luftverkehr mit einer leiseren Luftfahrzeugflotte abgewickelt wird, verringert sich die Fluglärmbelastung an jedem Flugplatz an dem diese Luftfahrzeuge starten und landen. Der Band I des ICAO-Anhangs 16 zielt hierauf ab und enthält detaillierte Bestimmungen für die Lärmzulassung von Strahl- und Properflugzeugen sowie Hubschraubern (ICAO 2017a). Diese umfassen genaue Vorgaben für die Durchführung und Auswertung der Geräuschemissionsmessungen und enthalten die für die verschiedenen Luftfahrzeugtypen geltenden Grenzwerte. Die Geräuschgrenzwerte für neue Flugzeuge sind im Kapitel 14 dieses Regelwerks festgelegt. Sie gelten für Flugzeuge mit einer maximalen Startmasse über 55 Tonnen (t), die seit dem 31. Dezember 2017 zugelassen werden. Für leichtere Flugzeuge gelten die Kapitel-14-Grenzwerte seit dem 31. Dezember 2020.

Die schrittweise Verschärfung der Geräuschgrenzwerte hat bewirkt, dass Luftfahrzeuge in der Vergangenheit deutlich leiser geworden sind und sich dieser Trend fortsetzt. Neueste Verkehrsflugzeuge, wie die Boeing 787-9 oder der Airbus A350-941, unterschreiten bereits die aktuellen Kapitel-14-Geräuschgrenzwerte (EASA 2023). Um auch bei einem weiter zunehmenden Luftverkehr die Fluglärmbelastung zukünftig zu reduzieren, ist eine weitere Senkung der Geräuschgrenzwerte auf internationaler Ebene erforderlich. Hierdurch sollen den Luftfahrzeug- und Triebwerksherstellern frühzeitig ambitionierte Zielwerte vorgegeben werden. Das Umweltkommitee der ICAO untersucht derzeit verschiedene Optionen zur Senkung der Kapitel-14-Geräuschgrenzwerte. Darüber hinaus erarbeitet die ICAO Lärmzulassungsvorschriften für zukünftige zivile Überschallflugzeuge, weil ab dem Jahr 2030 regelmäßiger ziviler Überschallverkehr zu erwarten ist (ICAO 2022). Das UBA wirkt an diesen Arbeiten mit.

5.1.2 Flugbetriebliche Maßnahmen

Auch flugbetrieblich bestehen verschiedene Möglichkeiten, Fluglärm zu verringern. Hierzu zählen die Anwendung lärmmindernder Ab- und Anflugverfahren, die lärmoptimierte Nutzung des Bahnsystems, die Festlegung von Nachtflugbeschränkungen und die Optimierung des Verlaufs der Flugrouten unter Lärmschutzaspekten. Die Festlegung der sogenannten Flugrouten – oder präziser formuliert – Flugverfahren erfolgt per Rechtsverordnung durch das Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung (BAF). Flugverfahren, die von besonderer Bedeutung für den Schutz der Bevölkerung vor Fluglärm sind, werden im Benehmen mit dem UBA erlassen, d. h. vor Erlass der Rechtsverordnung kann das UBA eine fachliche Stellungnahme abgegeben, die bei der Entscheidung über die Inhalte der Rechtsverordnung berücksichtigt werden kann. Jährlich werden zahlreiche Flugverfahren geändert

oder neu eingeführt, die in vielen Fällen hinsichtlich ihrer Lärmauswirkungen vom UBA zu bewerten sind. Dabei nimmt das UBA eine lärmfachliche Bewertung der Flugverfahrensvorschläge der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS) vor und stellt so das Benehmen mit dem BAF her.

5.1.3 Planerische Maßnahmen

Neben flugbetrieblichen Maßnahmen sind auch planerische Vorgaben wichtig, um die Siedlungsentwicklung in der Flughafenumgebung zu steuern und zukünftige Lärmkonflikte möglichst zu vermeiden. Entsprechende Regelungen sind im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) enthalten. Das Gesetz wurde bereits 1971 erlassen und war damit eines der ersten bundesweit gültigen Umweltschutzgesetze. Es sah die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an Verkehrsflughäfen mit Fluglinienverkehr und militärischen Flugplätzen mit Strahlflugzeugbetrieb vor. Rund 25 Jahre später hatte das Gesetz seine Schutzfunktion verloren, weil die Lärmschutzbereiche vielfach nur noch wenig über das Flugplatzgelände hinausreichten. Der Deutsche Bundestag leitete daher 1998 eine Novellierung des FluLärmG von 1971 ein. Die Erarbeitung der Gesetzesnovelle erwies sich jedoch als äußert schwierig und langwierig, weil deutliche Auffassungsunterschiede zwischen den beteiligten Akteur*innen existierten. Dabei standen insbesondere die Kostenfolgen der beabsichtigen Gesetzesnovelle im Fokus der Diskussion, da ein Erstattungsanspruch für bauliche Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Wohngebäuden im Lärmschutzschutzbereich vorgesehen ist. Die Aufwendungen für diese Maßnahmen sollten – wie bereits im FluLärmG von 1971 – vom Flugplatzhalter getragen werden. Hierzu hat das UBA detaillierte Vorschläge unterbreitet und umfangreiche Probeberechnungen für verschiedene Flugplätze vorgenommen sowie die aus dem Gesetzesentwurf resultierenden Kosten abgeschätzt (UBA 2004, Öko-Institut 2005). Darüber hinaus hat das UBA an der Entwicklung des Verfahrens zur Ermittlung der Lärmschutzbereiche maßgeblich mitgewirkt (Myck & Vogelsang 2007).

Erst nach langen Beratungen zwischen den Akteur*innen sowie auf Bundes- als auch auf Landesebene konnte im Jahr 2007 das novellierte FluLärmG verabschiedet werden und Inkrafttreten. Es sieht seitdem die Festsetzung von Lärmschutzbereichen an Verkehrsflughäfen, größeren Verkehrslandeplätzen und verschiedenen militärischen Flugplätzen vor.

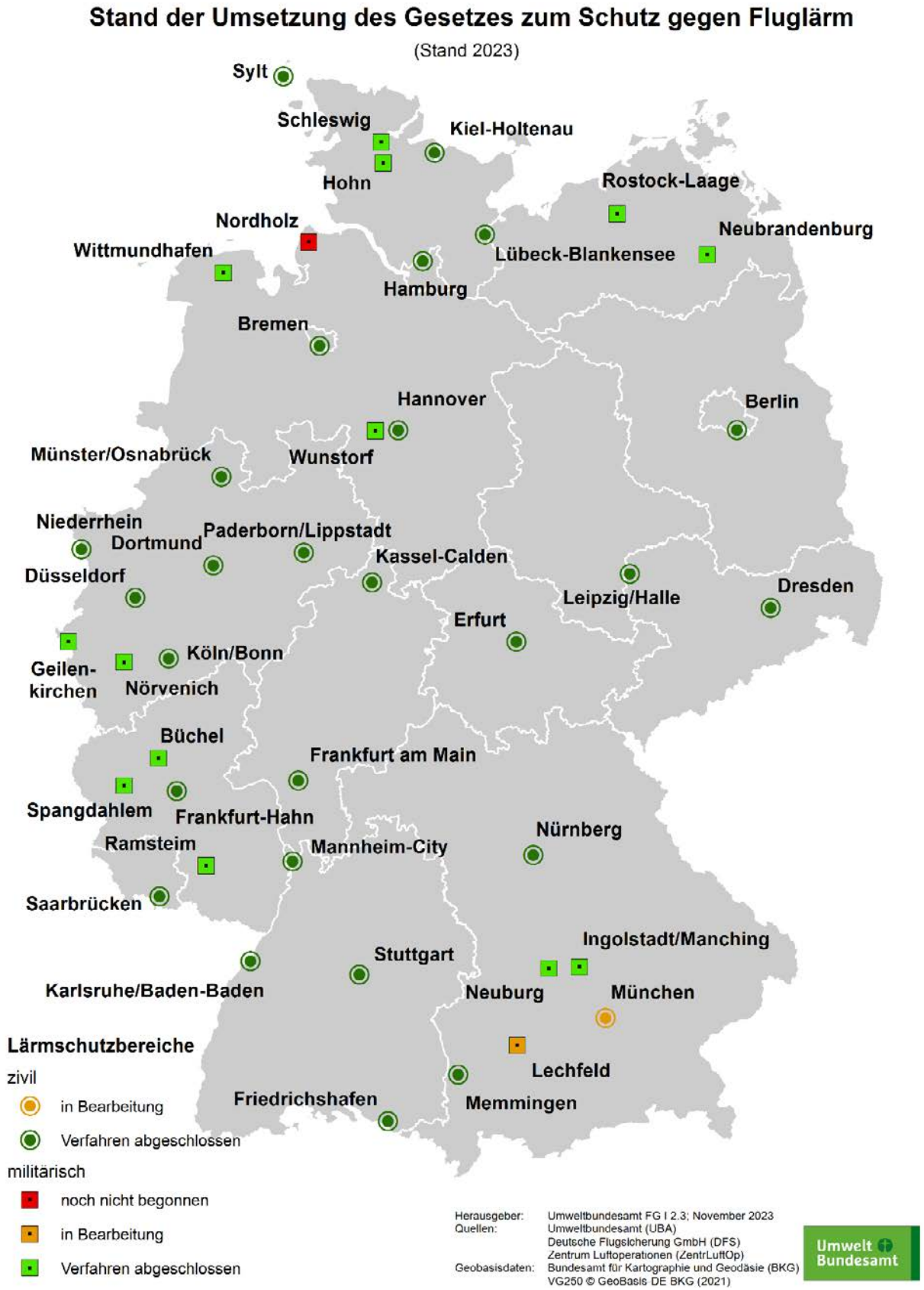
Der Lärmschutzbereich besteht aus zwei Tag-Schutzzonen und einer Nacht-Schutzzone. Die Schutzzonengrenzwerte sind nach verschiedenen Kriterien differenziert. Es wird sowohl zwischen zivilen und militärischen Flugplätzen als auch zwischen bestehenden und neuen oder wesentlichen auszubauenden Flugplätzen unterschieden. Die Werte sind in Form von äquivalenten Dauerschallpegeln für den Tag $L_{Aeq,\,Tag}$ in der Zeit von 6:00 bis 22:00 Uhr und für die Nachtzeit von 22:00 bis 6:00 Uhr $L_{Aeq,\,Nacht}$ angegeben. Zusätzlich wird für die Festlegung der Nacht-Schutzzone ein Häufigkeits-Maximalpegelkriterium verwendet, das auch als „NAT (Number Above Threshold)-Kriterium“ bezeichnet wird. In der Tag-Schutzzone 1 und der Nacht-Schutzzone des Lärmschutzbereichs werden auf Kosten des Flugplatzhalters bauliche Schallschutzmaßnahmen an bestehenden Wohngebäuden bis zu einem bestimmten Höchstbetrag erstattet. In der Nacht-Schutzzone trägt der Flugplatzhalter zudem die Aufwendungen für den Einbau von Lüftungseinrichtungen in Schlafräumen. Darüber hinaus wird bei Neu- oder wesentlichen Ausbauvorhaben eine finanzielle Entschädigung für Beeinträchtigungen des Außenwohnbereichs in der Tag-Schutzzone 1 geleistet.

Mit Novellierung des FluLärmG im Jahr 2007 wurde die Zuständigkeit für den Vollzug dieses Gesetzes vom Bund auf die Bundesländer übertragen. Die Festsetzung der Lärmschutzbereiche erfolgt seitdem durch Rechtsverordnung der jeweiligen Landesregierung. Das BMUV und das UBA unterstützen die die Länderbehörden, um einen einheitlichen Gesetzesvollzug zu gewährleisten. Abbildung 3 zeigt den aktuellen Stand der Festsetzung der Lärmschutzbereiche.

Nach dem FluLärmG muss die Bundesregierung spätestens 2017 und danach spätestens alle zehn Jahre dem Deutschen Bundestag einen Bericht über dieses Gesetz vorlegen. Dabei sollen insbesondere die Schutzzonenwerte des Lärmschutzbereiches unter Berücksichtigung des Standes der Lärmwirkungsforschung und der Luftfahrttechnik bewertet werden. Hierzu hat das UBA einen ausführlichen Fluglärmbericht erarbeitet, der eine wichtige Grundlage für den Bericht der Bundesregierung war (UBA 2017a). Die Bundesregierung stellt in ihrem Bericht über das FluLärmG insbesondere fest, dass allein durch bauliche Schallschutzmaßnahmen an Wohngebäuden keine umfassende Lösung der Fluglärmprobleme erreichbar ist (Bundesregierung 2019).

Abbildung 3

Stand der Festsetzung der Lärmschutzbereiche



Quelle: eigene Darstellung

Hierzu bedarf es auch Maßnahmen des aktiven Lärmschutzes durch Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Luftfahrt- und Flugbetriebstechnik. Diese sind jedoch nicht Bestandteil des FluLärmG, sondern des Luftverkehrsrechts. Neben dieser grundsätzlichen Feststellung enthält der umfangreiche Bericht zum FluLärmG verschiedene konkrete Verbesserungsvorschläge, wie zum Beispiel weitergehende Regelungen für den baulichen Schallschutz an Grundschulen, Kindertageseinrichtungen und Krankenhäusern. Zur Realisierung dieser Maßnahmen ist eine Änderung des FluLärmG durch den Deutschen Bundestag erforderlich, der entsprechende Schritte bisher noch nicht eingeleitet hat.

5.1.4 Ökonomische Maßnahmen

Ein weiteres Instrument zur Fluglärmminderung sind ökonomische Maßnahmen. So lassen sich durch lärmabhängige Start- und Landeentgelte monetäre Differenzierungen zwischen lauten und lärmarmen Luftfahrzeugen vornehmen. Lärmarme Luftfahrzeuge zahlen an deutschen Flughäfen geringere Start- und Landeentgelte als laute. Umfangreiche Erfahrungen mit diesen Entgeltsystemen zeigen, dass diese nur geringe Anreize für Fluggesellschaften bieten, lärmarme Flugzeuge einzusetzen. Deshalb sollten lärmabhängige Entgeltsysteme weiterentwickelt werden. Die lärmabhängigen Entgeltsysteme an den Flughäfen Frankfurt/Main und Berlin können als Vorbild dienen (Fraport 2023; FBB 2023).

5.2 Eine gute Idee: Lärmkontingentierung

Die dargestellten Instrumente und Maßnahmen zur Fluglärmminderung reichen allein nicht aus, um die Fluglärmsituation deutlich zu verbessern. Hierfür ist ein übergeordnetes Instrument erforderlich, das den Fluglärm begrenzt und so einen Anreiz bietet, alle Minderungsmöglichkeiten auszuschöpfen. Dies kann mit einer Lärmkontingentierung erreicht werden. Dabei wird ein bestimmtes Lärmschutzziel festgelegt, das mit verschiedenen Instrumenten und Maßnahmen erreicht werden kann. Es gibt es verschiedene Möglichkeiten ein Lärmkontingent auszugestalten. Daher existieren in Europa unterschiedliche Kontingentierungsmodelle, die von einer Begrenzung der Flugbewegungszahlen über Lärmpunktesysteme bis zu einer maximal zulässigen Geräuschbelastung als „Lärmobergrenze“ reichen. Beispielsweise wird am Flughafen London-Heathrow ein Lärmpunktesystem (Quota-Count System) angewendet, während am Flughafen Frankfurt/Main eine Lärmobergrenze festgelegt wurde. Bei allen Kontingentierungsmodellen ist es wichtig, dass das angestrebte Ziel zwar ambitioniert, aber dennoch realistisch erreichbar ist. In der Praxis zeigt es sich jedoch häufig, dass das Lärmschutzziel nicht anspruchsvoll genug gewählt wurde und hierdurch die Anreizwirkung unzureichend ist. Deshalb ist die Wahl des Lärmschutzziels von entscheidender Bedeutung für die Ausschöpfung des verfügbaren Lärmminderungspotentials.

Als Ziel kann beispielsweise festgelegt werden, dass auch bei einer Zunahme des Luftverkehrs eine bestimmte Fluglärmbelastung nicht überschritten werden darf (s. u.). Dieses Lärmkontingent wird jährlich mit der tatsächlich aufgetretenen Fluglärmbelastung verglichen. Dabei sind grundsätzlich drei verschiedene Fälle möglich:

1. Ist ≤ Soll: Es sind keine Minderungsmaßnahmen erforderlich

2. Ist > Soll: Liegt nur eine geringfügige Überschreitung des Lärmschutzziels vor, so kann zum Beispiel festgesetzt werden, dass im darauffolgenden Jahr das Soll-Ziel erreicht werden muss.

3. Ist >> Soll: Ist das Lärmschutzziel kurzfristig nicht erreichbar, kann eine schrittweise Annäherung an das Ziel festgelegt werden.

Die Kontrolle des Lärmschutzziels kann durch die Luftfahrtbehörde oder die Flughafengesellschaft erfolgen. Wird das Lärmschutzziel nicht erreicht, hätten diese Institutionen folgende Handlungsmöglichkeiten:

- Verknappung des Kontingents an erlaubten Flügen
- Optimierung der Flugverfahren und des Bahnnutzungskonzeptes
- Betriebszeitenregelungen zur Verlagerung von Flügen in weniger lärmsensitive Tageszeiten
- Festlegung von Nachtflugverboten.

Die Fluggesellschaften hätten insbesondere die folgenden Handlungsmöglichkeiten:

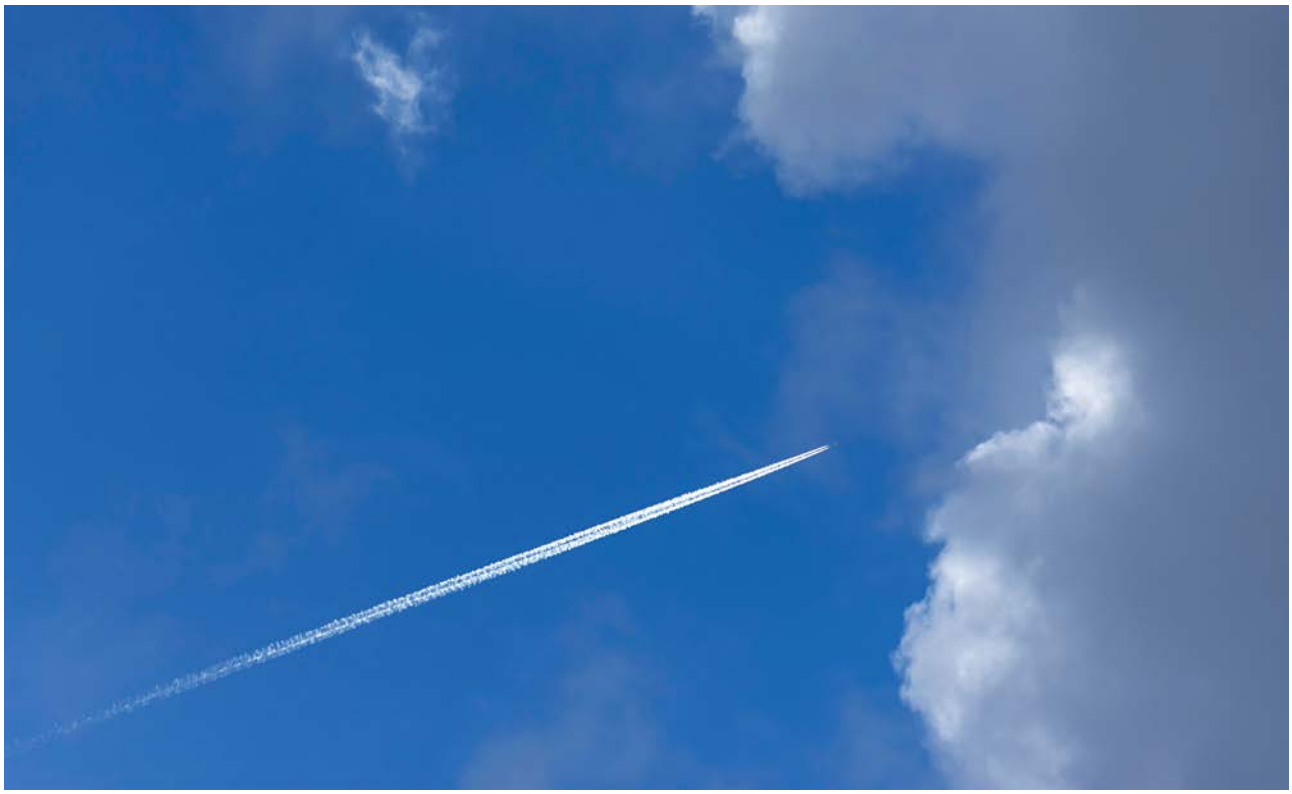
- Einsatz lärmarmer Luftfahrzeugtypen
- Nutzung lärmmindernder Flugverfahren
- Verlagerung von Flügen vor allem von der Nacht in weniger lärmsensitive Tageszeiten
- Streichung einzelner Flüge und Erhöhung der Auslastung der verbleibenden Flüge.

Um einen effektiven Schutz vor Fluglärm zu erreichen, sollte sich die Festlegung des Lärmschutzziels an den aktuellen Empfehlungen der WHO zum Schutz der Bevölkerung vor den gesundheitlichen Auswirkungen des Fluglärms orientieren. Die WHO empfiehlt, dass ein 24-Stunden-Dauerschallpegel L_{DEN} von 45 dB(A) und in der Nacht ein L_{night}-Wert von 40 dB(A) eingehalten werden sollen. Das UBA unterstützt diese Empfehlungen. Unsere Analysen zeigen jedoch, dass der Wert von 45 dB(A) an deutschen Flughäfen mit verhältnismäßigen Mitteln mittelfristig nicht erreichbar ist. Um sich der WHO-Empfehlung langfristig anzunähern, empfehlen wir zunächst, einen Wert von 63 dB(A) bis zum Jahr 2030 an den deutschen Flughäfen festzulegen. In einem zweiten Schritt sollte dann das Lärmschutzziel auf 58 dB(A) verschärft und dieses spätestens 2050 erreicht werden.

Während der Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr sollte aus Gründen des präventiven Gesundheitsschutzes kein regulärer Flugbetrieb auf stadtnahen Flughäfen erfolgen. Die Geräuschbelastung in diesem besonders sensiblen Zeitraum wird vor allem durch Frachtflüge verursacht. Nicht vermeidbarer Nachtflugbetrieb kann – unter Einhaltung des WHO-Zielwertes von 40 dB(A) nachts – an einem oder wenigen Flughäfen in Deutschland stattfinden, die in einem möglichst dünnbesiedelten Gebiet liegen. Dies könnten beispielsweise die Flughäfen Rostock-Laage in Mecklenburg-Vorpommern, Hahn in Rheinland-Pfalz und Lahr in Baden-Württemberg sein, um eine regionale Verteilung der Flughäfen mit Abfertigungsmöglichkeiten für Luftfracht zu erzielen. Die endgültige Auswahl der Flughafen-Standorte sollte anhand einer integrierten, ökologisch ausgerichteten Flughafenplanung des Bundes, gegebenenfalls unter Beteiligung der EU, entschieden werden. Der Ausbau von Alternativflugplätzen in dünnbesiedelten Gebieten und ein Nachtflugverbot an stadtnahen Flugplätzen ist nur langfristig möglich – bis 2050 sieht dies das UBA aber als realisierbar an.

Für die Flughafenanwohner*innen bietet eine Lärmkontingentierung auch kurzfristig eine klare Perspektive zum Schutz vor Fluglärm, weil die Zielerreichung gewährleistet ist. Für die Luftverkehrswirtschaft ist es vorteilhaft, weil sie die freie Wahl der Einzelmaßnahmen hat und zuerst die effektivsten und effizientesten anwenden kann. Die Lärmkontingentierung ist somit eine bedeutende Strategie für eine effektive Fluglärmminderung in Deutschland kurz- und mittelfristig.

5.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen

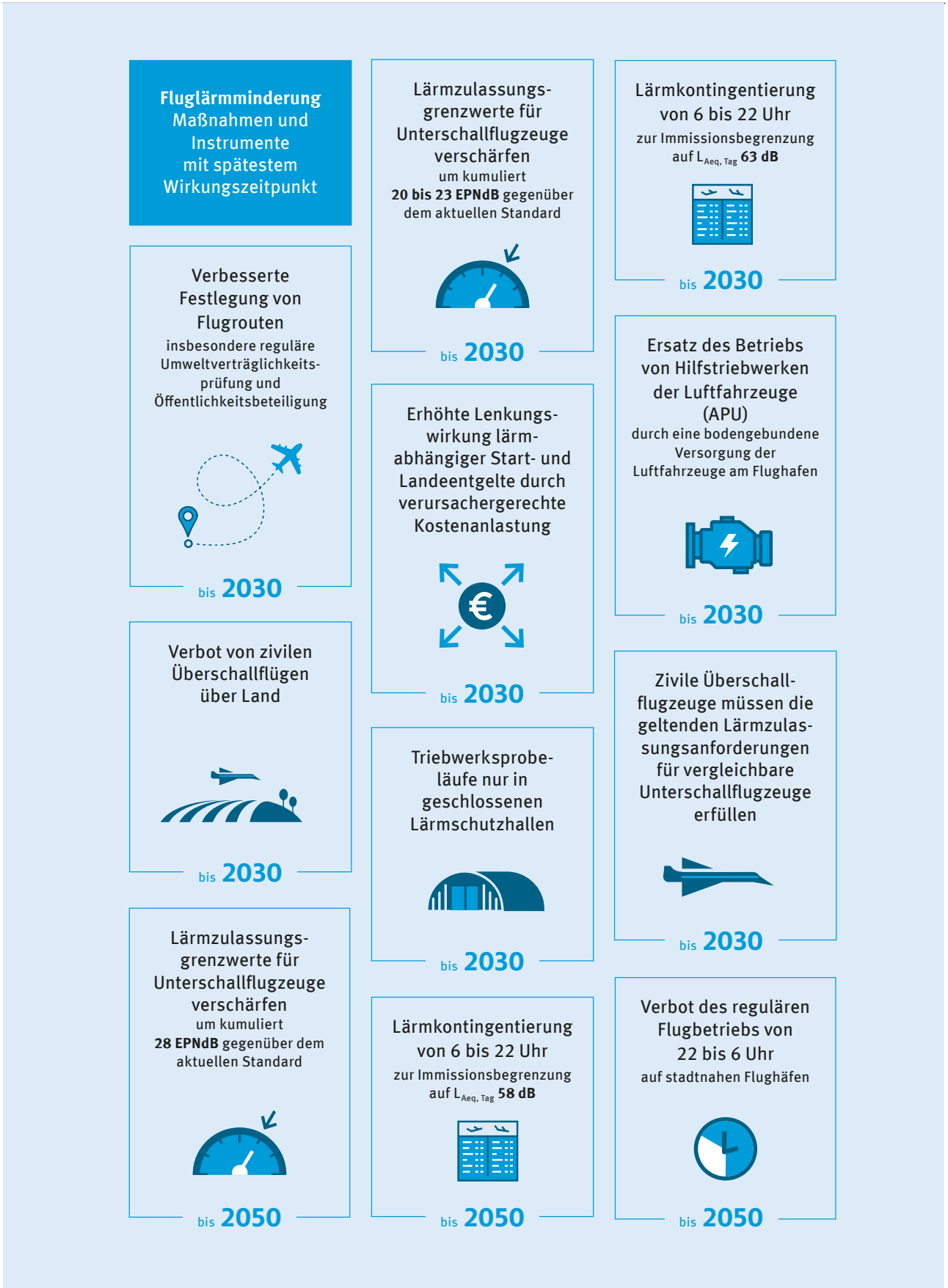


Die Fluglärmsituation in Deutschland wird von unterschiedlichen, teilweise gegenläufigen Trends geprägt. Einerseits weisen neu auf den Markt kommende Luftfahrzeugtypen geringere Geräuschemissionen als vergleichbare ältere Luftfahrzeuge auf, andererseits werden vermehrt größere Luftfahrzeugtypen eingesetzt, die in der Regel lauter als kleinere Typen sind. Die Geräuschbelastung an den deutschen Flughäfen ist daher weiterhin hoch. An dieser Situation wird auch der zukünftig geplante Einsatz von Mittelstreckenflugzeugen mit Hybridantrieben kaum etwas ändern. Zudem kommen neue Geräuschquellen im Luftverkehr hinzu, wie zum Beispiel Drohnen (siehe Kapitel 9.3). Eine Besonderheit sind Drohnen, die für den Personentransport vorgesehen sind. Diese so genannten Lufttaxis haben ähnliche Flugeigenschaften wie Hubschrauber und sollen auf relativ kurzen Flugstrecken eingesetzt werden. Aufgrund der Geräuschemissionen in niedrigen Flughöhen und der zukünftig möglicherweise zahlreichen Lufttaxis könnten hierdurch erhebliche Lärmbelästigungen verursacht werden. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass in Zukunft gewerbliche Flüge auch mit höheren Fluggeschwindigkeiten und damit kürzen Flugzeiten als bisher angeboten werden. Gegenwärtig wird der zivile Luftverkehr mit Flugzeugen durchgeführt, die im Unterschallbereich fliegen, d. h. mit einer Geschwindigkeit kleiner als Mach 1 (ca. 1.090 km/h). Zukünftig sollen wieder Business Jets und manche Verkehrsflugzeuge, wie einst die Concorde, mit Überschallgeschwindigkeit fliegen. So werden derzeit insbesondere in den USA und Japan zivile Überschallflugzeuge entwickelt, die etwa ab 2030 regelmäßig verkehren könnten (ICAO 2022).

Außerdem ist zu bedenken, dass der Luftverkehr nicht nur Fluglärm erzeugt, sondern auch große CO_2- und Schadstoffmengen emittiert. Planung, Organisation und Durchführung des Luftverkehrs müssen sich daher grundlegend ändern und gesamtheitlich betrachtet werden. Das UBA hat hierfür eine umfassende Strategie entwickelt, die konkrete umwelt- und verkehrspolitische Ziele enthält und notwendige Instrumente und Maßnahmen auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene beschreibt. Die Ziele und die zugehörigen Instrumente und Maßnahmen sollen in einem ersten Schritt bis 2030 und dann bis 2050 vollständig erreichen werden (UBA 2019a). Abbildung 4 gibt einen Überblick über die wichtigsten Maßnahmenvorschläge zum Schutz vor Fluglärm.

Abbildung 4

Maßnahmenvorschläge des Umweltbundesamtes zum Schutz vor Fluglärm



Quelle: UBA 2019b

6
Industrie- und Gewerbelärm

6.1 Beurteilung von Anlagengeräuschen

In Deutschland gibt es viele unterschiedliche Industrie- und Gewerbebetriebe, die vielfältige Geräusche erzeugen. Dabei tritt häufig eine Kombination von konstanten, impulshaltigen und tonhaltigen Geräuschen auf. Daher wurden bereits frühzeitig Regelungen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm getroffen. So enthielt schon die erste Fassung der „Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm, TA Lärm“ aus dem Jahr 1968 grundlegende Lärmschutzanforderungen, die mit der Novellierung der TA Lärm im Jahr 1998 deutlich weiterentwickelt wurden. Das UBA hat an der Vorbereitung dieser Vorschrift maßgeblich mitgewirkt und beispielsweise technische Anhänge zur Ermittlung und Beurteilung der Geräuschimmissionen erarbeitet (UBA 1998). Die TA Lärm ist heutzutage das wichtigste Instrument zur Erfassung und Beurteilung des Industrie- und Gewerbelärms. Sie gilt sowohl für genehmigungsbedürftige als auch für nicht genehmigungsbedürftige Anlagen. Ein Beispiel für die Anwendung der TA Lärm sind Anlagen zur Energieerzeugung. In der Vergangenheit traten bei Kraftwerken in Ballungsräumen häufig Lärmprobleme auf, die aufgrund der Vorgaben der TA Lärm gemindert werden konnten. Mit der Energiewende hat sich diese Situation insofern geändert, weil nunmehr nicht mehr der Kraftwerksbau im Fokus steht, sondern der verstärkte Ausbau von Windenergieanlagen.

6.2 Lärm von Windenergieanlagen

Die Windenergie ist für das Gelingen der Energiewende von zentraler Bedeutung. Windenergieanlagen sind ein Hauptelement einer nachhaltigen Energieversorgung und tragen zum Erreichen der Klimaschutzziele bei. Bei der Errichtung und dem Betrieb von Windenergieanlagen vor allem an Land – sogenannte Onshore-Windenergieanlagen – werden in der Öffentlichkeit häufig zwei verschiedene Lärmthemen diskutiert, und zwar einerseits amplitudenmodulierte Geräusche – das sogenannte Wuschen – und anderseits die Sorge vor den negativen gesundheitlichen Auswirkungen durch Infraschall von Windenergieanlagen. Auf diese Aspekte wird nachfolgend näher eingegangen.

6.2.1 Geräuschbeurteilung von Windenergieanlagen

Windenergieanlagen sind Anlagen im Sinne von § 3 Abs. 5 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Sind die Windenergieanlagen höher als 50 m, fallen diese unter die Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) und erfordern somit eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung. Hierzu ist es insbesondere erforderlich, dass durch die Errichtung oder den Betrieb der Windenergieanlage keine schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden. Die Beurteilung, ob schädliche Umweltauswirkungen in Form von erheblichen Belästigungen durch Geräuschimmissionen zu erwarten sind, erfolgt auf der Grundlage der TA Lärm. Das Beurteilungsverfahren der TA Lärm berücksichtigt Zeitpunkt, Dauer und Intensität der Geräusche, sowie besondere Geräuschmerkmale. Nach der TA Lärm ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung am maßgeblichen Immissionsort die in dieser Vorschrift enthaltenen Immissionsrichtwerte nicht überschreitet. Diese Werte sind als Beurteilungspegel für den Tag von 06:00 bis 22:00 Uhr und für die Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr ($L_{r,\,Tag}$ und $L_{r,\,Nacht}$) angegeben. Die Immissionsrichtwerte hängen von der jeweiligen Gebietsnutzung ab und sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tab.2

Immissionsrichtwerte der TA Lärm

Gebietskategorie	$L_{r, Tag}$	$L_{r, Nacht}$
Industriegebiete	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiete	65 dB(A)	50 dB(A)
Urbane Gebiete	63 dB(A)	45 dB(A)
Kern-, Dorf- und Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Allgemeine Wohngebiete, Kleinsiedlungsgebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten	45 dB(A)	35 dB(A)

Quelle: TA Lärm 1998

Die Immissionsrichtwerte der TA Lärm dürfen beim Betrieb der Windenergieanlage mit Nennleistung und unter Berücksichtigung der Vorbelastung durch andere relevante Anlagen nicht überschritten werden. In der Regel ist der Nachtwert für die Genehmigung der Anlage entscheidend, weil dieser deutlich geringer ist als der Immissionsrichtwert für den Tag. Diese Lärmschutzanforderung kann häufig durch einen ausreichenden Abstand der Windenergieanlage zur Wohnbebauung umgesetzt werden. Falls dies nicht möglich ist, müssen zusätzliche Lärmschutzmaßnahmen ergriffen werden Eine mögliche Minderungsmaßnahme ist eine Reduzierung der Drehzahl der Windenergieanlage während der Nachtzeit, wodurch sich jedoch die Anlagenleistung und damit der Energieertrag verringert.

Hinsichtlich der Beurteilung tieffrequenter Geräusche verweist die TA Lärm auf die DIN 45680 „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“ und das zugehörige Beiblatt 1 (DIN 1997a und 1997b). Die DIN 45680 beschreibt ein Messverfahren im Frequenzbereich von 8 bis 100 Hertz (Hz), das in Innenräumen durchgeführt wird. Das Verfahren umfasst auch Teile des Infraschallbereichs, und zwar von 8 bis 20 Hz (siehe Kapitel 6.2.3). Ob die Messergebnisse auf eine erhebliche Belästigung durch tieffrequente Geräusche hinweisen, wird nach dem Verfahren des zugehörigen Beiblatts 1 beurteilt. Dies ist der Fall, wenn die im Beiblatt angegebenen Anhaltswerte für den Tag oder die Nacht überschritten werden. Das Deutsche Institut für Normung (DIN) überarbeitet derzeit die DIN 45680. Dabei ist auch vorgesehen, den Infraschallbereich von bisher 8 Hz nach unten bis 1 Hz zu erweitern. Das UBA begrüßt diese Absicht, da hierdurch praktisch der gesamte Infraschallbereich erfasst wird.

6.2.2 Lärmwirkungen amplitudenmodulierter Geräusche

Amplitudenmodulierte Geräusche von Windenergieanlagen werden als „Wuschen“ wahrgenommen. Die meisten Studien befassen sich mit den Entstehungsmechanismen dieser Geräusche, während die Auswirkungen auf den Menschen bisher kaum erforscht wurden. Daher wurden in einem Forschungsprojekt im Auftrag des UBA die Lärmwirkungen amplitudenmodulierter Geräusche untersucht (Schmitter et al. 2022). Hierzu wurden ausführliche Geräuschmessungen und Lärmbelästigungsbefragungen an fünf deutschlandweit verteilten Windenergieanlagen-Standorten durchgeführt. Zusätzlich fanden an drei Standorten Hörversuche zur Beurteilung der Lästigkeit amplitudenmodulierter Geräusche statt. Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass das Ausmaß der Belästigung durch amplitudenmodulierte Geräusche von Windenergieanlagen von nicht-akustischen Faktoren, wie zum Beispiel der Einstellung zu Windenergieanlagen, deutlich beeinflusst wird. Es ist daher wichtig, die Anwohner*innen frühzeitig über den vorgesehenen Bau von Windenergieanlagen adäquat zu informieren und möglichst in die Planung einzubeziehen. Hierdurch kann die Akzeptanz in der Bevölkerung für den Ausbau der Windenergie deutlich erhöht und so die Energiewende in Deutschland unterstützt werden.

6.2.3 Lärmwirkungen von Infraschall

Als Infraschall werden Luftschallwellen im tieffrequenten Bereich von 1 bis 20 Hz bezeichnet, die sowohl von technischen als auch natürlichen Geräuschquellen erzeugt werden können (ISO 7196). Im natürlichen Umfeld können zum Beispiel der Wind oder die Meeresbrandung tieffrequente Geräusche – einschließlich Infraschall – verursachen. Auch Windenergieanlagen emittieren Infraschall, der durch einen periodischen Wechseldruck beim langsamen Drehen der Rotorblätter entsteht.

Im Infraschallbereich ist die menschliche Hörempfindung eingeschränkt, weil die Tonhöhenwahrnehmung fehlt (RKI 2007).

Infraschall mit hinreichendem Schalldruck kann jedoch als Pulsation oder Druckgefühl im gesamten Körper wahrgenommen werden. Wissenschaftliche Untersuchungen zu extra-auralen Wirkungen von Infraschallgeräuschen zeigen, dass Infraschall mit hinreichendem Schalldruck die Atemfrequenz verlangsamen, das Herz-Kreislauf-System beeinflussen und das Gleichgewichtsorgan stören kann (Krahé et al. 2014). Für den Immissionsschutz ist insbesondere die Infraschallbelastung um die Wahrnehmungsschwelle von hoher Relevanz. Auch die Auswirkungen von Infraschall um die Wahrnehmungsschwelle wurden bereits in verschiedenen Studien untersucht (Krahé et al. 2020; van Kamp & van den Berg F 2017; van Kamp & van den Berg GP 2020). Generell gilt: Je tiefer die Frequenz ist, umso höher muss der Schalldruckpegel sein, um von Menschen wahrgenommen zu werden. Messungen von Infraschallpegeln an Windenergieanlagen und Untersuchungen zur Wahrnehmungsschwelle von Infraschallgeräuschen zeigen, dass diese in der Regel deutlich unterhalb der menschlichen Wahrnehmungsschwelle liegen. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung gibt es keine Evidenz dafür, dass durch Infraschall von Windenergieanlagen negative gesundheitliche Beeinträchtigungen verursacht werden. Allerdings liegen bisher nur Ergebnisse von Querschnittsstudien und experimentellen Untersuchungen sowie wissenschaftliche Erkenntnisse aus Übersichtsarbeiten vor. Ergebnisse aus diesen Studien können aufgrund ihres Forschungsdesigns (Querschnittstudien) und ihrer geringen ökologischen Validität (Laborstudien) nicht dafür genutzt werden, eine Einschätzung möglicher langfristiger Auswirkungen durch anthropogenen Infraschall im Wohnumfeld abschließend zu beurteilen. Um den Zusammenhang zwischen möglichen langfristigen Auswirkungen von anthropogenem Infraschall, insbesondere mit niedrigen Geräuschpegeln, abschließend bewerten zu können, bedarf es daher einer umweltepidemiologischen Langzeitstudie im Kohorten-Design. Dies ist eine Studie, bei der über längere Zeit in regelmäßigen Abständen dieselbe Personengruppe untersucht wird. Es sollte daher zusätzlich eine solche Studie in der Umgebung von Windenergieanlagen durchgeführt werden (Myck & Wothge 2021). Das UBA hat im Jahr 2021 ein vorbereitendes Forschungsprojekt für eine umweltepidemiologische Langzeitstudie im Kohorten-Design vergeben. Dabei sollen die inhaltlichen, methodologischen und verfahrenstechnischen Grundlagen einer solchen Studie entwickelt, wissenschaftlich geprüft und evaluiert werden. Die Forschungsergebnisse werden voraussichtlich im Jahr 2025 vorliegen.

6.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen zur Minderung des Industrie- und Gewerbelärms

In Deutschland werden vielfältige Anlagentypen betrieben, die unterschiedlichste Geräusche erzeugen. Trotzdem fühlen sich durch Industrie- und Gewerbelärm deutlich weniger Personen belästigt als zum Beispiel durch Straßenverkehrslärm. Nach einer Untersuchung aus dem Jahr 2020 fühlen sich 76 % der Befragten in ihrem Wohnumfeld durch Straßenverkehr belästigt, während 50 % der Industrie- und Gewerbelärm stört (Rubik 2020; Belz et al. 2022). Dies ist durch das relativ hohe Schutzniveau der TA Lärm zu erklären. Um die immer noch zu hohe Betroffenenzahl weiter zu reduzieren, muss auch im Industrie- und Gewerbebereich das vorhandene Lärmminderungspotential ausgeschöpft werden. Das beginnt bereits bei der Standortwahl eines neuen Industrie- oder Gewerbebetriebs, um eine zu dichte Nachbarschaft zu Wohngebieten zu vermeiden. Auch bei der Anlagenplanung und der Betriebsweise der Anlagen sollten Lärmschutzaspekte von Anfang mitgedacht werden. Hierdurch können zukünftige Lärmkonflikte mit Anwohner*ìnnen geringgehalten werden. Zudem ist der nachträgliche Einbau von Minderungsmaßnahmen häufig aufwendiger und teuer.

Zur Hebung des Lärmminderungspotential ist es notwendig, dass das bestehende Schutzniveau der TA Lärm zumindest erhalten bleibt oder gegebenenfalls sogar noch erhöht wird. Nur so besteht ein Anreiz für die Anlagenbetreiber, leisere Anlagen einzusetzen. Aktuelle Diskussionen lassen jedoch vielmehr eine Verschlechterung des Schutzniveaus erwarten. So wird seit längerem über mögliche Lärmkonflikte bei Heranrücken der Wohnbebauung an Gewerbebetriebe und einer diesbezüglichen Anpassung der TA Lärm diskutiert. Hierzu hatten im Jahr 2019 die Bauministerkonferenz (BMK) und die Umweltministerkonferenz (UMK) eine gemeinsame Arbeitsgruppe eingerichtet, in der auch das UBA mitgewirkt hat. Die Arbeitsgruppe sollte Regelungsvorschläge zur Bewältigung von Gewerbelärmkonflikten bei heranrückender Wohnbebauung erarbeiten. Dabei wurden insgesamt 45 Beispielfälle aus 13 Bundesländern betrachtet, bei denen Gewerbelärmkonflikte bei heranrückender Wohnbebauung bestehen. Die Beispiele sind über das gesamte Bundesgebiet verteilt und decken ein breites Spektrum an praxisrelevanten Fällen ab. Von diesen Beispielfällen konnte in der Arbeitsgruppe nur in einem Fall keine TA Lärm-konformen Lösung bei heranrückender Wohnbebauung gefunden werden (BMK & UMK 2020).

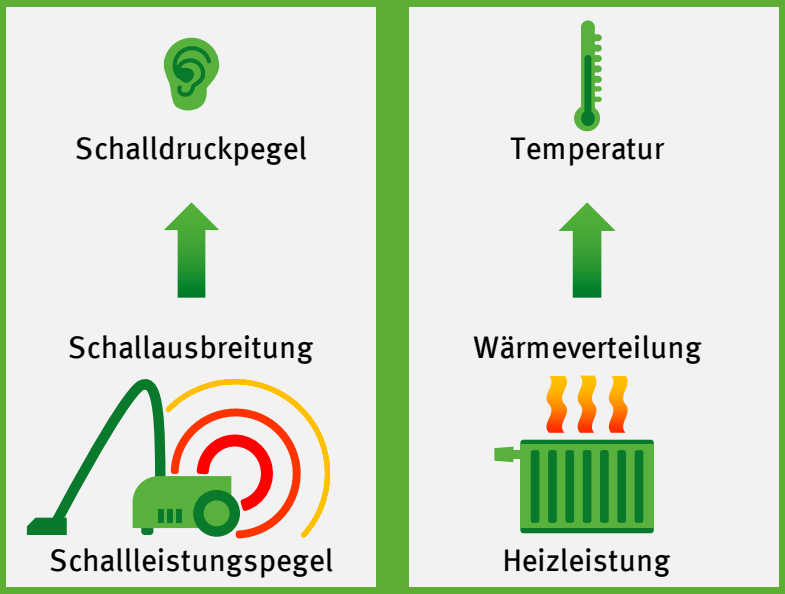
Aus den Beispielfällen ergibt sich also kein Handlungsbedarf. Dennoch wird von verschiedenen Akteur*innen gefordert, eine sogenannte Experimentierklausel in die TA Lärm aufzunehmen. Hierdurch soll eine zeitlich befristete Erprobung von Vorschlägen zur Bewältigung von Gewerbelärmkonflikten bei heranrückender Wohnbebauung in der Praxis ermöglicht werden. Dabei konzentriert sich die Diskussion auf den Nachtzeitraum, für den höhere Immissionsrichtwerte in der TA Lärm gefordert werden. So wird ein nächtlicher Immissionsrichtwert von 50 dB(A) für urbane Gebiete diskutiert. Der bisherige Wert würde also um 5 dB(A) erhöht werden. Das bedeutet, dass es dort so laut sein dürfte wie in Gewerbegebieten (vgl. Tabelle 2). Das ist aus Sicht des Lärm- und Gesundheitsschutzes sehr problematisch, weil ungestörter und ausreichend langer Schlaf für die geistige und körperliche Erholung des Menschen besonders wichtig ist. Durch die geforderte Erhöhung der nächtlichen Immissionsrichtwerte in der TA Lärm würde das Erkrankungsrisiko durch Lärm zunehmen, wie ein Forschungsprojekt über Gewerbelärm in Städten im Auftrag des UBA zeigt (Schütte et al. 2022).

7

Produktlärm

In den 1970er Jahren waren vor allem die Geräusche von Motorkettensägen und Rasenmähern Anlass für Lärmbeschwerden. Aus diesem Grund haben wir uns frühzeitig mit dem Thema Produktlärm befasst und schon damals verschiedene motorbetriebene Gartengeräte untersucht und Lärmminderungsmaßnahmen vorgeschlagen (UBA 1979). Auch heutzutage verursachen Gartengeräte wie zum Beispiel Freischneider und Rasentrimmer erhebliche Geräuschemissionen. Hinzu kommen neue Geräuschquellen wie Laubbläser und Wärmepumpen. Insgesamt gibt es eine breite Produktpalette, die zu Lärmbeschwerden führen kann. Produktlärm erzeugen Computer und deren Zubehör, Haushalts- und Küchengeräte, Geräte zur Körperpflege wie Haartrockner, motorisierte Garten-, Forst- und Landschaftspflegegeräte, stationäre Geräte wie Klimaanlagen und Ladesäulen, Kommunalfahrzeuge wie Abfallsammelfahrzeuge und schließlich Baumaschinen und Werkzeuge. Produktlärm unterscheidet sich in der Geräuschcharakteristik vom Verkehrslärm und wird primär emissionsseitig gemindert. Für die Angabe der Geräuschemissionen von Produkten wird der Schallleistungspegel verwendet. Dieser hat deutlich höhere Werte als der für Verkehrs- und Anlagengeräusche üblicherweise verwendete Schalldruckpegel.

Schallleistungspegel



Die Schallleistung ist eine physikalische Eigenschaft einer Geräuschquelle und wird durch einen Schallleistungspegel ausgedrückt. Der Schallleistungspegel gibt die Geräuschemission einer Geräuschquelle an und ermöglicht damit ähnliche Produkte miteinander zu vergleichen. Unsere Ohren können dagegen nur Schalldruckpegel wahrnehmen. Je weiter man sich von der Geräuschquelle entfernt, umso geringer wird der Schalldruckpegel. Der Schallleistungspegel der Quelle bleibt aber unverändert. Dies ist ähnlich einer Temperaturmessung. Auch mit einem Thermometer lässt sich nur ein kleiner Teil der Heizleistung einer Wärmequelle messen, je weiter man von der Wärmequelle entfernt misst.

7.1 Möglichkeiten der Lärmminderung bei Produkten

7.1.1 Lärmminderung am Produkt

Es ist immer am besten, wenn die Geräusche direkt an der Quelle gemindert werden. Wir beraten deshalb auf wissenschaftlicher Basis die Politik bei der Festlegung der Geräuschanforderungen für Produkte, und zwar auf nationaler und auch europäischer Ebene, denn die meisten Regelungen zu Produkten werden auf EU-Ebene getroffen. So gibt es verschiedene europäische Richtlinien und Verordnungen, in denen Anforderungen an die Produktgeräusche festgelegt sind: Die Outdoor Noise Richtlinie zur Lärmkennzeichnung und Lärmminderung bei im Freien betriebenen Geräten und Maschinen (2000/14/EG), die Ökodesign-Richtlinie für eine umweltgerechte Produktgestaltung (Verordnung 2009/125/EG 2009) und die Energielabelverordnung zur nutzerfreundlichen Kennzeichnung der Energieeffizienz und anderer Umwelteigenschaften von Produkten (Verordnung (EU) 2017/1369). An der Entwicklung und Fortschreibung der Geräuschanforderungen dieser Bestimmungen war beziehungsweise ist das UBA maßgeblich beteiligt.

7.1.2 Lärmminderung durch Information

Neben der Minderung der Geräuschquelle selbst ist auch die Förderung lärmarme Produkte wichtig. Hierfür ist eine gezielte Produktinformation notwendig, bei der die Konsumenten schnell erkennen, wie leise ein Produkt ist, und sie dies in ihre Kaufentscheidung einbeziehen können. Hierzu fördert das UBA durch das Umweltzeichen „Blauer Engel“ die Entwicklung und Kennzeichnung lärmarmer Produkte. Durch das Umweltzeichen soll ein Wettbewerb für die beste verfügbare Lärmminderungstechnik zwischen den Herstellern lärmrelevanter Produkte geschaffen werden. Besonders lärmarme Produkte, die ambitionierte Geräuschanforderungen erfüllen, können mit dem Umweltzeichen „Der Blaue Engel“ ausgezeichnet werden.

Blauer Engel

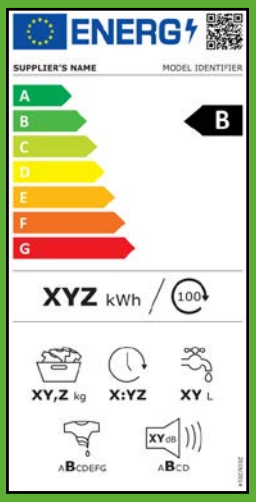
Der Blaue Engel ist das weltweit erste Umweltzeichen. Damit werden seit 1978 die umweltfreundlichsten Produkte ausgezeichnet. Die Qualitätsbeschreibung „weil lärmarm“ gibt es seitdem. Mittlerweile gibt es ambitionierte Geräuschanforderungen für mehr als 70 Produkttypen. Mehr als tausend verschiedene lärmarme Produkte mit dem Blauen Engel sind im Handel, darunter Altglasbehälter, Drucker und Straßenkehrmaschinen.

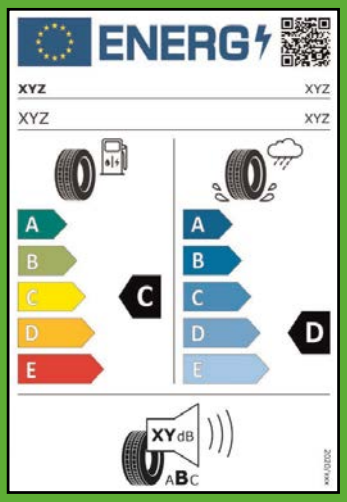
Der erste Präsident des Umweltbundesamtes, Dr. Heinrich Freiherr von Lersner (links), beklebt 1979 einen Altglasbehälter mit dem Blauen Engel.

Für eine effektive Minderung des Produktlärms bedarf es neben technischen Maßnahmen aber auch einer Förderung des lärmbewussten Verhaltens der Menschen. Diejenigen, die Produkte betreiben, tragen entscheidend dazu bei, ob sie mit dem Lärm andere belästigen oder stören. Aus diesem Grund ist es wichtig, Betreibende bereits beim Kauf auf den möglichen Lärm des Produkts aufmerksam zu machen. Das UBA entwickelt deshalb Konzepte zur Geräuschkennzeichnung und arbeitet hierzu mit Herstellern und Verbraucherverbänden beispielsweise in Normungsgremien zusammen.

Wenn Produkte eingesetzt werden, sollten diese grundsätzlich so lärmarm wie möglich betrieben werden. Zudem sollen die vom Lärm betroffenen Personen immer rechtzeitig vor dem Einsatz eines lärmenden Produkts informiert werden. Aber wie laut ist ein Produkt eigentlich? Hierzu hilft eine Pegelskala, die Lautstärke verschiedener Produkte einzuordnen.

Geräuschkennzeichnung





Vier europäische Regelwerke verpflichten die Hersteller verschiedener Produkte, eine Geräuschkennzeichnung vorzunehmen. Die sogenannte Outdoor Noise Richtlinie (2000/14/EG) verpflichtet die Hersteller von im Freien betriebenen Produkten, die Schallleistungspegel dieser Produkte nach dem Muster links zu kennzeichnen, ebenso verfährt die Drohnenverordnung (Verordnung (EU) 2019/945). Die Energielabelverordnung (Verordnung (EU) 2017/1369) verpflichtet Hersteller von einigen Haushaltsgeräten, deren Schallleistungspegel auf dem Energielabel anzugeben.

Im Beispiel in der Mitte ist der Schallleistungspegel einer Waschmaschine zudem in eine Klasse von A (leise) bis D (laut) einzuordnen. Die Reifenlabelverordnung (EU-Verordnung 2020/740) verpflichtet die Hersteller von Autoreifen, deren Geräuschpegel auf einem Label wie im Beispiel rechts anzugeben und in eine Geräuschklasse von A bis C einzuordnen. Dabei ist bemerkenswert, dass das Label eigentlich nur die zwei Geräuschklassen A („mehr als 3 dB unter dem Grenzwert“) und B („bis zu 3 dB unter dem Grenzwert“) ermöglicht. Die Voraussetzungen für Klasse C wäre „höher als der Grenzwert“. Damit wird die Geräuschklasse C bei Autoreifen nicht zu finden sein.

Pegelskala für Produkte

Zur Darstellung der Lautstärke unterschiedlicher Geräuschquellen sind in Publikationen verschiedene Skalen enthalten. Darin werden häufig das Blätterrauschen und ein startendes Flugzeug als jeweilige Endpunkte angegeben. Solche Skalen sind problematisch. Steht man direkt an der Startbahn oder befindet man sich in einer Wohnung in Flughafennähe oder sitzt man vielleicht sogar selbst im Flugzeug? Die wahrgenommene Lautstärke hängt also von vielen Faktoren ab. Um dennoch eine Vorstellung über der Höhe der Lautstärke – oder besser gesagt dem Geräuschpegel – zu ermöglichen, haben wir verschiedene Produktgeräusche in der nachfolgenden Skala nach deren Schallleistungspegel eingeordnet.

Schallleistungspegel in Dezibel	Produkt
130-140	Bodenramme
120-130	Hydraulikhammer
110-120	Kettensäge, Heckenschere (jeweils Benzin)
100-110	Benzin-Laubbläser, Kehrmaschine
90-100	Altglasbehälter, Akku-Laubbläser, Stromgenerator
80-90	Handtrockner, Akku-Gartengeräte, Wasserpumpen
70-80	Haartrockner, Waschmaschine (Schleudern)
60-70	Luftwärmepumpe, Rasenroboter, Staubsauger
50-60	Luftwärmepumpe (Nachtmodus), Dunstabzugshaube
40-50	Waschmaschine (Waschen), Bildprojektoren
30-40	Erdwärmepumpe, Spülmaschine, Kühlschrank
20-30	Laptop, tragbare Festplatte

7.1.3 Lärmminderung durch Regeln

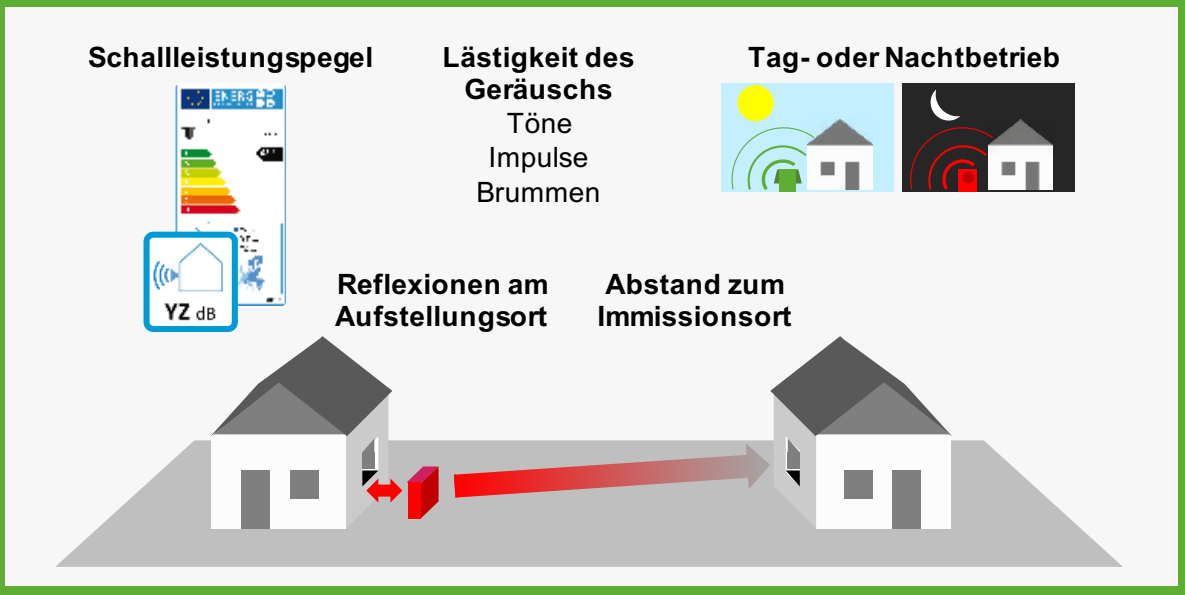
Schließlich gibt es Verhaltensregeln, wann und wie ein lärmendes Produkt im Freien betrieben werden darf. Lange war der Betrieb von Produkten im Freien uneinheitlich geregelt. 2002 wurde dann eine bundeseinheitliche Regelung eingeführt, an der das UBA maßgeblich mitgewirkt hat. Seitdem gilt die Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung (32. BImSchV). Nach dieser Verordnung dürfen zahlreiche für den Betrieb im Freien bestimmte Geräte und Maschinen in lärmsensiblen Gebieten nur zu bestimmten Zeiten eingesetzt werden. So dürfen lärmende Produkte in Wohngebieten nur an Wochentagen von 7:00 bis 20:00 Uhr betrieben werden. Durch diese Regelung wurde erreicht, dass Wohngebiete nachts sowie an Sonn- und Feiertagen bundesweit vor Produktlärm geschützt sind. Darüber hinaus regeln Landes- und Kommunalvorschriften, wann störender Lärm zu unterlassen ist. Zudem kann in Hausordnungen das Verhalten mit lärmenden Produkten festgelegt werden.

7.2 Schutz vor Produktlärm

Das UBA beurteilt die Lärmwirkungen von Produktgeräuschen auf der Basis wissenschaftlicher Studien und leitet daraus Empfehlungen für Geräuschgrenzwerte oder Betriebszeiten ab. Wir gehen Lärmbeschwerden nach und beraten die Betroffenen. Wer sich durch Produktlärm gestört fühlt, sollte sich immer zuerst an die Verursachenden wenden. Meist lassen sich damit bereits viele Lärmprobleme lösen. Sofern dies nicht erfolgreich ist, können die lokale Umweltbehörde oder die zuständige Ordnungsbehörde häufig helfen.

LAI-Leitfaden

Der Leitfaden der „Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz“ (LAI) für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm beim Betrieb von stationären Geräten in Gebieten, die dem Wohnen dienen, ist seit 2013 ein bedeutendes Planungsinstrument. Damit kann der Schutz vor Lärm bei Luftwärmepumpen berücksichtigt werden, bevor diese errichtet und in Betrieb genommen werden. Der Leitfaden bietet Berechnungshilfen für zwei zentrale Fragestellungen: Was ist ein geeigneter Aufstellungsort, und wie laut darf die Luftwärmepumpe sein? Der Leitfaden erklärt das Thema sachgerecht und hilft, diese Fragen individuell zu beantworten. (Bildquelle: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI))



7.2.1 Beispiel Laubbläser

Die 32. BImSchV schränkt den Betrieb geräuschintensiver Produkte wie Laubbläser, Freischneider und Grastrimmer aus Lärmschutzgründen stärker ein als den Betrieb anderer Gartengeräte. Diese dürfen in Wohngebieten werktags nur von 9:00 bis 13:00 Uhr sowie von 15:00 bis 17:00 Uhr betrieben werden. Wir plädieren darüber hinaus auf den Einsatz von Laubbläsern wegen ihrer ökologischen Schädlichkeit und Lärmbelästigung grundsätzlich zu verzichten. Meistens helfen ein Rechen oder Besen, um das Laub zu beseitigen. Auf Wiesen und in Gärten ist es sogar am besten, das Laub im Herbst liegen zu lassen. Das bietet Nahrung und Schutz für viele Insekten, Glieder- und Spinnentiere und gleichzeitig Dünger für alle Pflanzen. Im Frühjahr ist das meiste ohnehin verzehrt oder verrottet, so dass ein Laubbläser hier nicht erforderlich ist. Unsere Empfehlung lautet deshalb: Solche Geräte sollten nur bei der Reinigung sehr großer Flächen und Wege zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung und Sicherheit eingesetzt werden. Hierfür sollten vorzugsweise besonders lärmarme Geräte benutzt werden. Mittlerweile gibt es akkubetriebene Laubbläser, die im Betrieb keine Luftschadstoffe und viel weniger Lärm als Geräte mit Verbrennungsmotor erzeugen.

7.2.2 Beispiel Luftwärmepumpe

Neue Wohnungen werden heute meistens mit Luftwärmepumpen beheizt. Auch Öl- und Gasheizungen älterer Wohnungen werden zunehmend durch Luftwärmepumpen ersetzt. Diese Geräte stehen üblicherweise draußen. Die Errichtung und der Betrieb einer Luftwärmepumpe muss nicht behördlich genehmigt werden, aber über zu laute Geräte beschweren sich häufig die Nachbarn. Es ist deshalb wichtig, dass sich Handwerksbetriebe und Betreiber von Luftwärmepumpen bereits vor der Installation der Anlage bewusst sind, dass diese Geräte störende Geräusche verursachen können und der Aufstellungsort von großer Bedeutung ist. Zur Unterstützung des Handwerks und der Betreiber hat UBA bereits 2013 gemeinsam mit den Bundesländern einen Leitfaden zur Aufstellung von Luftwärmepumpen entwickelt. Nach einer ersten Anpassung 2020 liegt seit Herbst 2023 ein vollständig überarbeiteter, praxisgerechter Leitfaden speziell für Luftwärmepumpen vor (LAI 2023).

7.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen

Jährlich kommen viele neue Produkte auf den Markt und werden verschiedene neue Technologien entwickelt. Dabei ist anfangs häufig unklar, in welchem Umfang diese Produkte genutzt werden, und ob diese Lärmbeschwerden auslösen können. So wird beispielsweise in Zusammenhang mit Wärmepumpen häufig das Thema Lärm genannt. Ebenso wird öffentlich diskutiert, dass die Geräusche von Ladesäulen in einigen Fällen belästigend sein können. Der Lärm wird somit in beiden Fällen als Hemmnis dieser ansonsten umweltfreundlichen und relevanten Technologien erachtet. Für die Akzeptanz neuer Produkte und Technologien in der Öffentlichkeit ist es deshalb wichtig, dass der Lärmschutz integraler Bestandteil der Produktentwicklung wird. Das UBA wirkt deshalb in entsprechenden Normungsgremien mit und vergibt zudem Forschungsarbeiten zur Beurteilung und Minderung des Lärms neuer Produkte.

Moderne Produkte sind meist leiser als ihre Vorgänger. Das zeigt sich vor allem bei motorisierten Geräten. Dort, wo früher der Verbrennungsmotor als alternativlos galt, hat sich heute meist eine Lösung mit Elektromotor durchgesetzt. Das bedeutet jedoch nicht, dass nunmehr keine Lärmprobleme mehr bestehen. Auch wenn das Produkt leiser geworden ist, ist weiterhin seine Geräuschcharakteristik für die Beurteilung der Wirkung auf die Menschen wichtig. Deshalb werden zukünftig psychoakustische Kenngrößen, wie Lautheit oder Rauigkeit des Geräusches, bei der Lärmbeurteilung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Damit wird die Psychoakustik im Immissionsschutz stärker zum Tragen kommen, während diese bislang wegen der fehlenden Prognostizierbarkeit der Geräusche in diesem Bereich nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die Psychoakustik bildet somit ein neues Forschungsfeld für den Schutz der Ruhe und des Wohlbefindens der Menschen. Darüber hinaus wird auch zukünftig die Politikberatung eine Schwerpunktaufgabe des UBA sein, und zwar auch auf dem Gebiet des Schutzes vor Produktlärm. Wir werden weiterhin auf wissenschaftlicher Basis die Politik auf nationaler und europäischer Ebene zur Minderung des Produktlärms beraten.

Lärmminderungsplanung

Bereits in den 1970er Jahren wurde deutlich, dass die alleinige Lärmminderung an der Geräuschquelle nicht ausreicht, um die anhaltenden Geräuschbelastungen der Bevölkerung nachhaltig zu verringern. Als Reaktion darauf wurde das Thema „Lärmschutzpläne“ von den Anfangstagen an in die Arbeit und Aufgabenstruktur des UBA integriert. Lärmsanierungs- und Lärmvorsorgepläne sollten den Planer*innen Unterstützung bieten, um Umweltschutzaspekte in die Flächennutzungs- und Bebauungsplanung zu integrieren. Bereits im Jahr 1977 erörterte der Unterausschuss „Lärm/Erschütterungen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI) ein entsprechendes Grundsatzpapier und richtete im Jahr 1978 einen Arbeitskreis zu diesem Thema ein. Das UBA leistete einen maßgeblichen Beitrag durch eigene Untersuchungen, Fallstudien und Forschungsprojekte (UBA 1979).

Da der Bund zunächst von seiner Gesetzgebungskompetenz keinen Gebrauch machte, ergriffen einige Bundesländer die Initiative, eigene Vorschriften zu erlassen. Zum Beispiel erweiterte das Land Nordrhein-Westfalen 1985 sein Landesimmissionsschutzgesetz um einen § 12a zu Lärmminderungsplänen. Von Anfang an waren die Gemeinden für die Erstellung dieser Pläne zuständig und trugen die damit verbundenen Kosten. Eine Pflicht zur Aufstellung gab es jedoch nicht (UBA 1989).

Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) setzte die Zusammenarbeit von Bund und Ländern auf diesem Gebiet fort und veröffentlichte im Jahr 1986 den Bericht „Lärmminderungspläne: Ziele und Maßnahmen“ (LAI 1986). In diesem werden das methodische Vorgehen und Arbeitshilfen beschrieben sowie Zielvorstellungen von Lärmminderungsplänen genannt. So sollten beispielsweise Lärmminderungspläne aufgestellt werden, wenn durch den Straßenverkehr die Sanierungspegel von tags 70 dB(A) und nachts 60 dB(A) überschritten werden (UBA 1989).

1990 wurde dann auch auf Bundesebene das Bundes-Immissionsschutzgesetz um den § 47 a „Lärmminderungspläne“ ergänzt. Damit bestand für die Gemeinden die Pflicht zur Aufstellung von Lärmminderungsplänen, wenn in Wohngebieten oder anderen schutzwürdigen Gebieten nicht nur vorübergehend schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche hervorgerufen oder zu erwarten sind und ein abgestimmtes Vorgehen gegen verschiedenartige Geräuschquellen erforderlich ist. Das UBA maß der Erstellung von Lärmminderungsplänen von Anfang an große Bedeutung bei, um die Geräuschbelastung der Bevölkerung umfassend zu erheben, zu bewerten und zu reduzieren. Im Auftrag des UBA wurden in verschiedenen Modellkommunen, wie zum Beispiel in Lingen, Nienburg und Celle, Erfahrungen bei der Umsetzung gesammelt und wissenschaftlich ausgewertet. (Hildebrandt & Wolfgang 1992, Holland et al. 1994, Sülflohn et al. 1992).

Im Jahr 1992 verabschiedete der Länderausschuss für Immissionsschutz die „Muster-Verwaltungsvorschrift zur Durchführung des § 47a BImSchG – Aufstellung von Lärmminderungsplänen“, die mit Unterstützung des UBA erarbeitet wurde. Basierend auf dieser Vorlage entwickelten einige Bundesländer eigene Verwaltungsvorschriften, in denen unter anderem landesspezifische Zuständigkeiten festgelegt wurden. Um den Kommunen praktische Unterstützung bei der Erstellung und Umsetzung von Lärmminderungsplänen zu bieten, veröffentlichte das UBA 1994 das „Handbuch Lärmminderungspläne“. Dieses basiert auf den Erfahrungen aus den Modellkommunen und bietet detaillierte praxisorientierte Anleitungen sowie zahlreiche Beispiele erfolgreicher Lärmminderungsmaßnahmen (UBA 1994).

8.1 Die Europäische Umgebungslärmrichtlinie

Auch auf europäischer Ebene wurde erkannt, dass neben quellenbezogenen Richtlinien auch gebietsbezogene Ansätze zur wirksamen Lärmminderung erforderlich sind. Die Europäische Kommission gab im Jahr 1996 mit ihrem Grünbuch „Künftige Lärmschutzpolitik“ (Europäische Kommission 1996) einen wichtigen Impuls für eine neue, kohärente Lärmschutzpolitik und die Entwicklung der Umgebungslärmrichtlinie. In dem Grünbuch äußerte die Europäische Kommission die Meinung, dass wegen des lokalen Auftretens von Lärmbelastungen vor allem im Einklang mit dem Subsidiaritätsprinzip Lösungen auf lokaler Ebene gefunden werden sollten. Jedoch sind die Ursachen für Lärmbelästigungen oft nicht auf lokale Gegebenheiten begrenzt. Daher sei es erforderlich, Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen besser abzustimmen, um eine umfassende Wirksamkeit zu erzielen. Dies bedeute, dass neben der herkömmlichen Politik der Festlegung von geräuschemissionsbezogenen Grenzwerten für Produkte auch harmonisierte Regelungen für die Geräuschimmission angestrebt werden müssten. Aus diesem Grund präsentierte die Europäische Kommission im Jahr 2000 einen Richtlinienentwurf, der auf diesem Prozess basierte. Nach intensiven Diskussionen zwischen dem Europäischen Parlament, dem Rat und der Kommission wurde 2002 die „Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ (2002/49/EG) verabschiedet. Die sogenannte EU-Umgebungslärmrichtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten zur Ermittlung und Darstellung der Geräuschbelastung in der Umgebung von großen Verkehrsinfrastruktureinrichtungen (Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen) sowie in Ballungsräumen. Hierzu werden europaweit einheitliche Indikatoren und Berechnungsverfahren verwendet. Außerdem soll die Öffentlichkeit über die Geräuschbelastung und deren Folgen informiert werden. Die Mitgliedstaaten müssen Aktionspläne erstellen, um die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Umgebungslärm zu verhindern oder zu mindern. Diese Pläne sollen auch dazu dienen, ruhige Gebiete vor zunehmendem Lärm zu schützen.

Bis zum 30. Juni 2007 und danach alle fünf Jahre sind strategische Lärmkarten zu erstellen beziehungsweise zu überprüfen und erforderlichenfalls zu überarbeiten. Auf der Grundlage der Lärmkarten sind Lärmaktionspläne zu erstellen und diese bei für die Lärmsituation bedeutsamen Entwicklungen, ansonsten alle fünf Jahre, zu überprüfen und erforderlichenfalls zu überarbeiten. Abbildung 5 zeigt beispielhaft eine solche Lärmkarte.

Im Gegensatz zur bisherigen deutschen Gesetzgebung liegt der Fokus bei der EU-Umgebungslärmrichtlinie nicht ausschließlich auf der Reduzierung hoher Geräuschbelastungen. Die Erhaltung von ruhigen Gebieten wird bereits als ein Ziel in der Richtlinie betont, was einen bedeutenden Fortschritt darstellt. Die EU-Umgebungslärmrichtlinie ist somit ein wichtiger Schritt in Richtung europaweiter Maßnahmen zur Bekämpfung von Umgebungslärm. Dies wird auch dadurch unterstrichen, dass die Richtlinie als Grundlage für die Einführung europäischer Maßnahmen zur Minderung der Emissionen der wichtigsten Geräuschquellen dienen soll.

Abbildung 5

Beispiel einer Lärmkarte nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie für den Straßenverkehr in Dessau-Roßlau

Quelle: UBA 2023b

8.2 Anwendung der EU-Umgebungslärmrichtlinie in Deutschland

8.2.1 Rechtliche Grundlagen

Die EU-Umgebungslärmrichtlinie wurde in Deutschland durch den sechsten Teil des Bundes-Immissionsschutzgesetzes „Lärmminderungsplanung“ umgesetzt. Der bisherige Paragraf 47 a wurde durch die Paragrafen 47 a bis 47 f ersetzt. Diese setzen die Richtlinie gemäß den nationalen Anforderungen um und ermächtigen die Bundesregierung, weitere Vorschriften durch Verordnungen zu erlassen. Basierend auf dieser Ermächtigung wurde im Jahr 2006 die Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV) veröffentlicht. Diese konkretisiert die Anforderungen an die Lärmkarten nach § 47c BImSchG. Zuständig für die Erstellung der Lärmkarten und Lärmaktionspläne sind die Gemeinden oder die nach Landesrecht zuständigen Behörden. Im Regelfall wurde dies in den Ländern so umgesetzt, dass Landesbehörden für die Erstellung der Lärmkarten zuständig sind, die Gemeinden für die Lärmaktionspläne. Bei der Lärmaktionsplanung sind davon abweichend beispielsweise beim Straßenverkehr in Hessen die Regierungspräsidien, in Rheinland-Pfalz das Landesamt für Umwelt und in Bayern die Regierung von Oberfranken zuständig. Das EBA ist zuständig für die Ausarbeitung der Lärmkarten für Schienenwege von Eisenbahnen des Bundes sowie für die Aufstellung eines bundesweiten Lärmaktionsplanes für die Haupteisenbahnstrecken des Bundes mit Maßnahmen in Bundeshoheit (siehe auch Kapitel 4). Das UBA fungiert in diesem Prozess als benannte Stelle nach § 47 c Absatz 6 und § 47 d Absatz 7 BImSchG und ist verantwortlich für die Sammlung, Aufbereitung und Berichterstattung der Informationen aus den Lärmkarten und Lärmaktionsplänen gegenüber der Europäischen Umweltagentur und der Europäischen Kommission.

8.2.2 Lärmkartierung

Ein bedeutendes Ziel der EU-Umgebungslärmrichtlinie ist es, die Geräuschbelastung der Bevölkerung in Europa mit einheitlichen Indikatoren und nach einheitlichen Verfahren zu ermitteln. Als Indikatoren

werden der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex (L_{DEN}) und der Nachtlärmindex (L_{night}) verwendet. Da zum Zeitpunkt der Verabschiedung der Richtlinie noch keine einheitlichen Berechnungsverfahren vorlagen, konnten die Mitgliedstaaten zunächst so genannte Interimsverfahren oder bereits bestehende nationale Berechnungsverfahren anwenden, die an die Vorgaben der Richtlinie angepasst waren. In Deutschland wurden die etablierten Verfahren an die Erfordernisse der Lärmkartierung angepasst und als vorläufige Berechnungsverfahren weiterverwendet. In der Zwischenzeit entwickelte die Europäische Kommission gemeinsam mit den Mitgliedstaaten in einem mehrstufigen Prozess EU-weit harmonisierte Berechnungsverfahren. Daran hat sich Deutschland, koordiniert vom UBA, intensiv beteiligt. Die gemeinsamen Lärmbewertungsmethoden (CNOSSOS) wurden 2015 veröffentlicht (Europäische Kommission 2015) und im Jahr 2020 nochmals an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt angepasst (Europäische Kommission 2020).

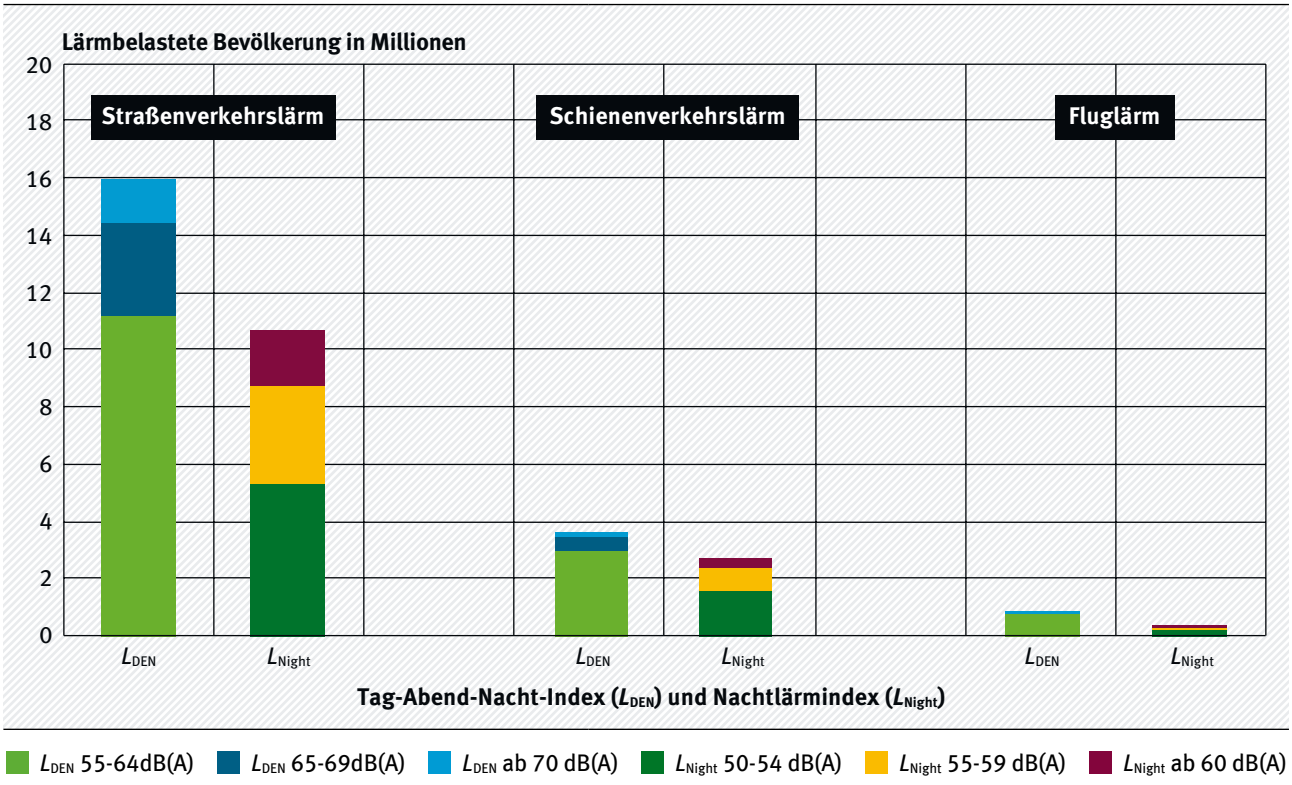
Die aktuellen Lärmkarten der vierten Runde, die erstmals nach den harmonisierten Verfahren erstellt wurden, waren bis zum 30. Juni 2022 zu erstellen und zu veröffentlichen. Sie umfassen Lärmkarten für

- Ballungsräume mit mehr als 100.000 Einwohner*innen,
- Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 3 Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr,
- Haupteisenbahnstrecken mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 30.000 Zügen pro Jahr und
- Großflughäfen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 50.000 Bewegungen pro Jahr.

In Deutschland sind dies 72 Ballungsräume mit rund 25,5 Millionen Menschen, 46.000 km Hauptverkehrsstraßen, 16.000 km Haupteisenbahnstrecken und alle neun Großflughäfen. Die Ergebnisse zeigen, dass große Teile der Bevölkerung von Lärm betroffen sind (siehe Abbildung 6). Allein an den betrachteten Straßen sind rund 16 Millionen Menschen von L_{DEN}-Pegeln über 55 dB(A) betroffen. Bei diesen Pegeln können erhebliche Belästigungen und Störungen der Kommunikation auftreten.

Abbildung 6

Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Verkehrslärm im Jahr 2022 nach EU-Umgebungslärmrichtlinie



Quelle:UBA 2023a, Daten der Lärmkartierung 2022, Zusammenstellung der Mitteilungen der Bundesländer und des Eisenbahn-Bundesamtes entsprechend §470BlmSchG (Stand 15.09.2023)

8.2.3 Lärmaktionsplanung

Auf der Grundlage von Lärmkarten werden Lärmaktionspläne aufgestellt, mit denen Lärmprobleme und Lärmauswirkungen geregelt werden. Die Lärmaktionspläne enthalten konkrete Maßnahmen zur Lärmminderung. Ziel dieser Pläne soll es auch sein, ruhige Gebiete vor einer Zunahme des Lärms zu schützen.

Basierend auf den bis zum 30. Juni 2022 veröffentlichten Lärmkarten, sind aktuell Lärmaktionspläne bis zum 18. Juli 2024 zu erstellen beziehungsweise zu überprüfen und zu überarbeiten. Dabei ist die Öffentlichkeit rechtzeitig und effektiv zu beteiligen sowie über die getroffenen Entscheidungen zu unterrichten. Die Festlegung von Maßnahmen in den Lärmaktionsplänen ist in das Ermessen der zuständigen Behörden gestellt. Hierbei sind Belastungen durch mehrere Geräuschquellen zu berücksichtigen. Dabei ist auf Prioritäten einzugehen, die sich aus der Überschreitung von Grenzwerten oder anderen Kriterien ergeben.

Umwelthandlungsziele zur Vermeidung negativer Auswirkungen auf die Gesundheit sind beispielsweise in den Leitlinien der WHO genannt (WHO 2018). Für die Lärmaktionsplanung empfiehlt das UBA daher die in Tabelle 3 angegebenen Umwelthandlungsziele.

Zur Unterstützung der Kommunen bei der Lärmaktionsplanung hat das UBA zahlreiche Publikationen herausgegeben. So wurde beispielsweise das „Handbuch Lärmaktionspläne“ (Richard et al. 2015) vollständig überarbeitet. Hinweise zur Öffentlichkeitsbeteiligung finden sich im „Leitfaden: Information und Mitwirkung der Öffentlichkeit bei der Lärmaktionsplanung“ (Bonacker & Bachmeier 2018). Der Schutz ruhiger Gebiete ist ein wesentlicher Bestandteil der Lärmaktionsplanung. Bei der Ermittlung und Festlegung haben die zuständigen Behörden einen weiten planerischen Gestaltungsspielraum. Die Fachbroschüre „Ruhige Gebiete“ (Heinrichs et al. 2018) zeigt Auswahlkriterien auf und fasst gängige Kategorien ruhiger Gebiete zusammen.

Die Analyse der bisherigen Lärmaktionspläne zeigt, dass sich die Lärmaktionsplanung in vielen Kommunen verstetigt hat und Erfolge sichtbar werden (Heinrichs et al. 2021). In anderen Kommunen bestehen aber noch deutliche Entwicklungspotenziale. Insbesondere der Schutz ruhiger Gebiete als Vorsorgeprinzip der EU-Umgebungslärmrichtlinie wird in den Lärmaktionsplänen noch zu selten berücksichtigt.

Die Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie hat dazu geführt, dass die Lärmminderungsplanung in Deutschland nachhaltig gestärkt und sowohl in qualitativer als auch quantitativer Hinsicht verbessert wurde. Ein Vergleich der Situation vor und nach Inkrafttreten der Richtlinie zeigt, dass in deutlich mehr Gemeinden Lärmkarten vorliegen und Lärmaktionspläne erarbeitet werden (Heinrichs 2002; Heinrichs et al. 2021). Allerdings wurde das wesentliche Ziel der EU-Umgebungslärmrichtlinie, die Geräuschbelastung nachhaltig und deutlich zu senken, bisher nicht erreicht. Analysen der Europäischen Umweltagentur zeigen, dass das Ziel der Europäischen Kommission, den Anteil der durch Verkehrslärm belästigte Menschen bis zum Jahr 2030 um 30 % zu reduzieren, wahrscheinlich nicht erreicht werden kann (ETC HE 2022). Um dem Ziel näher zu kommen, sind gemäß der Europäischen Kommission nicht nur Maßnahmen für Gebiete mit hoher Geräuschbelastung erforderlich, sondern auch für Gebiete mit moderater Belastung. „Hierfür ist eine Kombination von Maßnahmen notwendig, darunter strengere Lärmvorschriften für den Straßenverkehr, eine bessere Stadt- und Verkehrsplanung und eine deutliche Verringerung des Straßenverkehrs sowie weitere Geschwindigkeitsbeschränkungen in Städten. Die Verringerung der Anzahl der von Verkehrslärm chronisch gestörten Menschen in der EU erfordert Maßnahmen auf allen Ebenen (EU, national, regional und lokal).“ (Europäische Kommission 2023b)

Tab.3

Empfehlungen zu Umwelthandlungszielen für die Lärmaktionsplanung

Umwelthandlungsziel	Zeitraum	L_{DEN}		L_{night}	
		Straße/Schiene	Luftverkehr	Straße/Schiene	Luftverkehr
Vermeidung gesundheitlicher Auswirkungen	kurzfristig	60 dB(A)		50 dB(A)	
Vermeidung erheblicher Belästigungen	mittelfristig	55 dB(A)	45 dB(A)	45 dB(A)	40 dB(A)

Quelle: UBA 2022a

8.3 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen

Die Europäische Kommission hat in ihrem Bericht zur Überprüfung der EU-Umgebungslärmrichtlinie bereits frühzeitig aufgezeigt, welche weiteren Möglichkeiten zur Verbesserung der Lärmminderungsplanung bestehen. Auf europäischer Ebene sind dies insbesondere die konsequentere Umsetzung der Lärmminderung an der Geräuschquelle durch Verschärfung der Geräuschgrenzwerte für Fahrzeuge und Produkte. Aber auch in der EU-Umgebungslärmrichtlinie selbst werden noch deutliche Potenziale gesehen. Dies betrifft beispielsweise die Ausweitung des Geltungsbereichs auf weitere Geräuschquellen, die Absenkung der Kartierungsschwellen sowie die Stärkung des Vorsorgeprinzips durch den Schutz ruhiger Gebiete. Auch die Einführung verbindlicher Minderungsziele für die Lärmaktionsplanung in den Mitgliedstaaten wird diskutiert. Dies würde den Druck auf eine effektive Umsetzung in den Mitgliedstaaten deutlich erhöhen und zum Beispiel die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen in den Ländern und Kommunen für die Lärmminderungsplanung forcieren. Die laufenden Vertragsverletzungsverfahren zur Lärmaktionsplanung gegen einige Mitgliedstaaten wegen unzureichender Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie zeigen, dass die Europäische Kommission dem Thema große Bedeutung beimisst.

Auf nationaler Ebene wird es zukünftig darauf ankommen, integrierte Planungsprozesse zu stärken. Nur wenn zum Beispiel Verkehrsplanung, Bauleitplanung und Lärmaktionsplanung zusammen gedacht werden, kann eine effektive Lärmminderung erreicht und können mögliche Zielkonflikte frühzeitig erkannt und vermieden werden. Das UBA hat zur Unterstützung integrierter Planungsprozesse ein Forschungsprojekt durchführen lassen, in dem konkrete Handlungsempfehlungen für die Bundesebene und die Ebene der Kommunen gegeben werden (Heinrichs et al. 2019). Auch in der UBA-Broschüre „Die Stadt für Morgen: Umweltschonend mobil – lärmarm – grün – kompakt – durchmischt“ werden Wege aufgezeigt, wie nachhaltige Mobilität einen wesentlichen Beitrag zur Lärmminderung leisten kann (UBA 2017).

Das Geräuschmesslabor des Umweltbundesamtes

Die akustische Messtechnik spielt eine zentrale Rolle bei der Erforschung der Geräuschentstehung und -minderung. Diese ermöglicht insbesondere die Untersuchung diverser Geräuschquellen, die Weiterentwicklung von Schallausbreitungsmodellen und die Ermittlung der Geräuschemissionen von Fahrzeugen und Anlagen als Eingangsgrößen für die Berechnung der Geräuschbelastung. Mit der Digitalisierung seit Ende der 1980er Jahre wurden zunächst digitale Schallpegelmesser und Software entwickelt, die eine Aufzeichnung und Echtzeit-Analyse von Schallsignalen ermöglichten (Brüel & Kjaer 2023). Dies führte zu einer verbesserten Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen. Einen entscheidenden Schub erlebte die akustische Messtechnik mit Beginn des 21. Jahrhunderts. Durch den Einsatz elektronischer Technologien wurden Mikrofone immer empfindlicher und genauer und ermöglichen die Messung von Schalldruckpegeln in verschiedenen Umgebungen (mikrofon.org 2023). Elektronische Schallanalysatoh ren und Oszilloskope wurden entwickelt, um komplexe Schallsignale zu analysieren. In der heutigen Zeit spielen akustische Messungen eine maßgebliche Rolle im Bereich des Lärmschutzes. Sie sind von entscheidender Bedeutung für verschiedene Anwendungen, angefangen von der Erfassung von Geräuschquellen bis hin zur Entwicklung und Beurteilung von Maßnahmen zur Minderung des Lärms in urbanen Gebieten und an Verkehrswegen.

Das UBA führt bereits seit mehr als vier Jahrzehnten Geräuschmessungen durch, die eine wichtige Grundlage für die Entwicklung und Fortschreibung von Rechtsvorschriften und Regelwerken zum Schutz vor Lärm sind. So wurden in den 1990er Jahren umfangreiche Geräuschmessungen an Schienenwegen des Fernverkehrs und öffentlichen Personennahverkehrs vorgenommen, um das Lärmminderungspotential im Schienenverkehr zu ermitteln (siehe Kapitel 4). Darüber hinaus wurden beispielsweise die Lärmwirkungen des damals geplanten Transrapid-Betriebs analysiert. Dabei wurde untersucht, ob die Geräusche des Transrapids und des konventionellen Schienenverkehrs in ihren Wirkungen vergleichbar sind und damit das gleiche Beurteilungsverfahren anwendbar ist. Während bei Geschwindigkeiten unter 300 km/h eine Gleichbehandlung von Transrapid und konventionellen Schienenverkehr gerechtfertigt war, wurden dagegen bei höheren Transrapid-Geschwindigkeiten die Geräusche negativ bewertet. Die Forschungsarbeiten zeigten somit, dass die Belästigungswirkung des Transrapids bei hohen Geschwindigkeiten nicht mit den damals eingesetzten konventionellen Schienenfahrzeugen vergleichbar war (UBA 1998). Diese Ergebnisse waren ein wichtiger Beitrag des UBA für die Entwicklung der Magnetschwebebahn-Bau- und Betriebsordnung (MbBO). Diese Verordnung ist auch heute noch von Bedeutung, da beispielsweise aktuell in Berlin eine Magnetschwebebahn geplant ist.

Für die Durchführung und Auswertung der Geräuschmessungen verfügt das UBA seit langem über ein Geräuschmesslabor. Das nachstehende Bild zeigt das Labor im Jahr 1997 im damaligen Dienstgebäude am Bismarckplatz in Berlin. Heutzutage befindet sich das Geräuschmesslabor im UBA-Dienstgebäude in Dessau-Roßlau und ist mit hochmodernen Mess- und Analysesystemen ausgestattet.

Das Geräuschmesslabor des Umweltbundesamtes im Jahr 1997

9.1 Aufgaben des Geräuschmesslabors im UBA

Im UBA-Geräuschmesslabor werden verschiedene wissenschaftliche Fragestellungen erforscht: Eine zentrale Frage ist, wie Haushalts- und Gartengeräte gemessen werden sollten, um vergleichbare und aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen (siehe Kapitel 7). Ebenso wird untersucht, ob die gegenwärtigen akustischen Kenngrößen und Messverfahren ausreichend sind, um die Bandbreite der bestehenden Lärmsituationen angemessen zu erfassen und sachgerecht zu beurteilen. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt betrifft den Stand der Lärmminderungstechnik bei Produkten. Hierbei wird beispielsweise untersucht, ob ein stichprobenartig ausgewähltes Produkt den geltenden Lärmschutzanforderungen entspricht und welche Minderungsmöglichkeiten bestehen. Auch vorgesehene Änderungen in Regelwerken zum Schutz vor Lärm werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen im Geräuschmesslabor beziehungsweise durch Messungen im Freien analysiert. Darüber hinaus wird erforscht, wie unterschiedliche Geräusche von Menschen wahrgenommen werden und welcher Lärm als besonders störend empfunden wird. Dies ist von großer Bedeutung für die Gestaltung effektiver Lärmschutzmaßnahmen.

9.2 Akustische Mess- und Auswertetechnik

Ein essenzieller Bestandteil des Geräuschmesslabors ist ein Freifeld-Schallmessraum, in dem Geräusche mit Präzisionsmikrofonen ohne Störungen und Reflexionen gemessen und bewertet werden können (siehe Bild).

Schallmessraum des UBA-Geräuschmesslabors

Für Messungen im Schallmessraum und bei Außenmessungen verfügt das UBA über ein 12-kanaliges Messsystem, das gleichzeitig Schalldruckpegel mit bis zu 12 Präzisionsmikrofonen erfasst. Dieses System wird beispielsweise für die Ermittlung der Schallleistung von Produkten, wie Haushalts- und Gartengeräte oder Drohnen eingesetzt. Zusätzlich wird häufig eine akustische Kamera zur Analyse von Geräuschquellen benutzt. Hiermit können Geräuschquellen optisch lokalisiert und Rückschlüsse auf die spektrale Zusammensetzung des Geräusches abgeleitet werden. Auf dieser Grundlage können Geräuschquellen zielgerichtet lärmgemindert werden.

Für die Analyse mancher Geräuschquellen sind Langzeitmessungen notwendig, um die zeitlichen Veränderungen der Geräusche zu erfassen. Dies kann zum Beispiel bei der Untersuchung der Geräuschbelastung durch Straßen- oder Schienenverkehr erforderlich sein, weil sich die Verkehrsmengen im Tagesverlauf verändern. Da eine dauerhafte Betreuung solch einer Messung durch Fachpersonal zu aufwendig wäre, besitzt das UBA eine mobile Dauermessstelle. Hiermit können autonom kontinuierliche Langzeitmessungen (Monitoring) durchgeführt und die Messergebnisse mit Wetter- und Radardaten verschnitten werden. Somit können unterschiedlichste Geräuschquellen erfasst und akustische Kennwerte automatisch übermittelt und analysiert werden.

9.3 Aktuelle Projekte

Das UBA führt Geräuschmessungen nicht nur im Schallmessraum, sondern auch im Freien durch, zum Beispiel an Straßen und Schienenwegen. Die Messergebnisse werden beispielsweise verwendet, um nationale und internationale Normungsverfahren wissenschaftlich zu begleiten und nationale Vorschläge für normative Änderungen auf internationaler Ebene einzubringen. Zudem kooperiert das UBA mit Universitäten und wissenschaftlichen Instituten und begleitet wissenschaftliche Abschlussarbeiten, wie zum Beispiel über die Effektivität und Nutzen von Klangkorrektur-Werkzeugen für Lautsprecher (Vogel 2020).

Ein aktueller Forschungsschwerpunkt ist die Messung und Bewertung der Geräusche von Unmanned aircraft systems (UAS), umgangssprachlich Drohnen genannt. Die Nutzung von Drohnen ist vielfältig und hat ein großes Wachstumspotenzial, da immer längere Flugzeiten und größere Traglasten realisiert werden. Die Anwendungsbereiche mit den größten Zuwächsen sind Einsätze im Polizei- und Rettungswesen, im Bauwesen und Inspektion von Energie- und Wasserwirtschaft sowie der Land-/Forstwirtschaft und Vermessung. Ein breites Anwendungsfeld ist zudem die Logistikbranche. Mit der Einführung der so genannten U-spaces im urbanen Raum (BMDV 2022a), also von Lufträumen speziell für die Nutzung von Drohnen, werden weitere Anwendungsfelder erschlossen.

Die stetig wachsende Zahl von Drohnen wirft die Frage nach der Geräuschbelastung und der Lärmbelästigung durch diese unbemannten Fluggeräte (UAS) auf. Drohnen werden vorwiegend im urbanen Raum eingesetzt und unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Geräuschcharakteristik deutlich von Verkehrsgeräuschen. Es ist daher absehbar, dass sich in Zukunft immer mehr Menschen durch den Lärm von UAS-Flügen gestört fühlen werden oder zumindest über die zu erwartende Lärmbelästigung besorgt sind (EASA 2021). Deshalb hat das UBA gemeinsam mit der Technischen Universität Berlin und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig mit akustischen Untersuchungen von Drohnen begonnen. In mehreren Messkampagnen wurden verschiedene UAS-Modelle, hauptsächlich Multikopter von 500 g bis 10 kg, untersucht, um die neuartige Geräuschquelle und ihre Charakteristik zu analysieren.

Hierfür wurden die Geräuschemissionen verschiedenster Drohnenmodelle im Überflug, im Schwebflug und im Manöverflug gemessen. Als Ergebnis lässt sich zusammenfassen: der Schwebflug ist die leiseste Betriebsart, Manöverflüge erzeugen kurzeitige Geräuschspitzen. Drohnen weisen in ihrer Frequenzzusammensetzung deutliche tonale Komponenten der Elektromotoren auf. Ebenso haben Modelle mit einer Startmasse über 4 kg einen starken Anteil an hohen Frequenzen. Zusätzlich wurde auch die horizontale und vertikale Richtcharakteristik bestimmt (siehe Bild).

Messtechnische Ermittlung der Richtwirkung von Drohnen

Aus der Literatur ist bekannt, dass Drohnen aufgrund ihrer Geräuschcharakteristik ein erhöhtes Störpotential aufweisen (Becker et. al 2022). Daher wurde im Rahmen der Messkampagnen auch ein System zur Erfassung von psychoakustischen Größen eingesetzt. Hiermit konnten Erkenntnisse über den Störfaktor von Drohnen gewonnen werden, die in noch zu entwickelnden Rechtsvorschriften zur Bewertung von Drohnengeräuschen integriert werden können. Die Forschungsergebnisse gehen darüber hinaus in die nationale Normung zur Entwicklung eines Mess- und Berechnungsverfahrens für Drohnen ein, das für eine sachgerechte Lärmbewertung benötigt wird.

In einem weiteren Projekt wurden Geräuschmessungen nach der internationalen Norm ISO 3744 durchgeführt. Diese Norm beschreibt ein Verfahren für die Bestimmung des Schalleistungspegels von Produkten. Das Messverfahren wurde in einer EU-Verordnung (Europäische Kommission 2019) für bestimmte Drohnen mit entsprechenden Geräuschgrenzwerten festgeschrieben. Das UBA hat das Verfahren im Geräuschmesslabor und im Freien hinsichtlich seiner Praktikabilität und der Qualität zur Bestimmung des Geräuschpegels analysiert. Dabei wurden verschiedene Defizite festgestellt und diese auf europäischer Ebene eingebracht. Parallel dazu wird nunmehr eine weitere ISO-Norm (ISO/FDIS 5305) zur Messung von Drohnengeräuschen entwickelt. Auch die Erarbeitung dieser Norm wird durch Untersuchungen im UBA-Geräuschmesslabor kritisch begleitet.

Die dargestellten Geräuschmessungen wurden in Fachzeitschriften (Treichel & Körper 2019; Treichel et al. 2023a) publiziert. Darüber hinaus wurden die Untersuchungen auf verschiedenen wissenschaftlichen Fachkonferenzen vorgestellt und als Paper (Treichel et al. 2022; Lieb et al. 2022; Lieb et al.2023; Treichel et al. 2023b) bzw. wissenschaftliche Abschlussarbeit (Foerster 2022) veröffentlicht.

9.4 Zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen

Das Geräuschmesslabor des UBA wird auch zukünftig mit modernster Messtechnik für die Untersuchung aktueller Problemstellungen im Bereich des Lärmschutzes eingesetzt werden. Neben den bereits begonnenen Untersuchungen neuer Geräuschquellen, wie Drohnen, werden weitere folgen. So ist eine Kampagne gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) zur psychoakustischen Analyse der Schallausbreitung von Drohnen geplant (Goecke et al. 2023). Die Geräusche moderner Windenergieanlagen und Geräuschquellen im Rahmen der Elektromobilität, wie zum Beispiel Ladesäulen, werden in Zukunft eine größere Rolle spielen. Ebenso wird die Untersuchung und Bewertung von natürlichen und technischen Infraschallquellen eine Forschungsaufgabe sein. Für eine adressatengerechte Kommunikation mit der Öffentlichkeit sollen verschiedenste natürliche Geräusche (Meeresrauschen, Gewitter) und technische Geräusche aus dem täglichen Umfeld (Bahnfahrten, Haushaltsgeräte), die auch Infraschall enthalten, gemessen und deren Pegelhöhe in einer Skala veranschaulicht werden.

Darüber hinaus ist geplant, sich verstärkt dem Bereich der Lärmwirkungen zu widmen und Hörversuche mit Proband*innen im UBA durchzuführen um der Belästigungswirkung von Geräuschquellen zu untersuchen. Die Erkenntnisse sollen auch zukünftig in die Normungsarbeit einfließen und diese voranbringen. Nicht zuletzt sind die Ergebnisse ein wichtiger Bestandteil der Politikberatung. Nur wenn die Geräuschquelle und deren Charakteristik bekannt sind, ist es möglich, sachgerechte Vorschläge zur Geräuschminderung zu erarbeiten und die Bevölkerung nachhaltig vor Lärm zu schützen.

Durch gemeinsame Messungen und Projekte mit anderen Behörden und Instituten wird unseren Ergebnissen und Argumenten, besonders im internationalen Bereich, mehr Gewicht verliehen. Die moderne Ausstattung des UBA-Geräuschmesslabors ermöglicht es, eine Messaufgabe facettenreich zu untersuchen. So können neben Schalldruckpegeln und Spektren auch Teilquellen lokalisiert und visualisiert werden, aber auch psychoakustische Parameter von Geräuschquellen analysiert werden. Die vielfältigen Möglichkeiten der messtechnischen Untersuchung von Geräuschquellen ermöglichen es dem UBA auch in Zukunft, nachhaltigen Lärmschutz im Rahmen der Eigenforschung zu erarbeiten und für die Fortschreibung von Regelwerken zum Schutz vor Lärm zu nutzen.

10 Ausblick

Viele Menschen sind hohen Geräuschbelastungen ausgesetzt, die ihre Gesundheit beeinträchtigen und die Lebensqualität mindert. Die vielfältigen Aktivitäten zur Erfassung, Bewertung und Minderung des Lärms verfolgen daher das Ziel, die Beeinträchtigungen durch Lärm wesentlich zu verringern. Aktuelle Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation zeigen jedoch, dass zum Schutz der menschlichen Gesundheit die Geräuschbelastungen deutlich weiter reduziert werden müssen. Lärm ist somit auch 50 Jahre nach Gründung des UBA weiterhin ein ernstes Umwelt- und Gesundheitsproblem. Das deutliche Verkehrswachstum und die noch dichter gewordene Besiedlung erfordern große Anstrengungen, um die Lärmsituation wesentlich zu verbessern. Zudem wird Lärmschutz im Verkehrs- und Anlagenbereich dadurch geschwächt, dass Lärmschutz insgesamt nicht nur im Regelwerk, sondern auch auf Seiten der Betroffenen zersplittert ist. So wird Lärmschutz als kleinteilig und wenig relevant wahrgenommen. In Konkurrenz zu anderen Belangen – vom Klimaschutz bis zur baulichen Stadtentwicklung – werden vom Lärmschutz zunehmend Zugeständnisse gefordert, die den Schutz der Bevölkerung vor Lärm verschlechtern. In Ermangelung eines strategischen Gesamtkonzeptes verliert sich der Lärmschutz in verschiedenen Details und damit weiter an Einfluss. Auf der Strecke bleiben die vielen Lärmgeplagten in unserem dicht besiedelten Land.

Das UBA beabsichtigt daher, ein strategisches Gesamtkonzept zu entwickeln. Im Rahmen des Konzeptes ist darauf hinzuwirken, dass die etablierten Instrumente und Maßnahmen noch effizienter und zielgerichteter eingesetzt werden. Eine deutliche Minderung der Beeinträchtigungen durch Verkehrs- und Anlagenlärm lässt sich nur durch die abgestimmte Anwendung einer Vielzahl von Einzelinstrumenten erreichen – von der Fahrzeug- und Anlagentechnik über das Steuerrecht bis zur Verkehrs- und Stadtplanung.

In einem umfassenden Konzept zur Lärmminderung sind neben der Verkehrsvermeidung und der Verlagerung von Verkehr auf umweltschonendere Verkehrsmittel Maßnahmen zur Begrenzung der Geräuschemissionen wichtig. Diese Maßnahmen an der Geräuschquelle wirken flächendeckend und haben insofern Vorrang vor nur lokal wirksamen Lärmschutzwänden oder -fenstern. Instrumente zur Minderung der Geräuschemissionen zielen auf leisere Fahrzeuge und Anlagen, Betriebsweisen und Fahrwege. Im Hinblick darauf müssen vor allem die Emissionsgrenzwerte konsequent an den fortschreitenden Stand der Technik angepasst werden. Die technische Entwicklung muss wiederum durch Förderung und steuerliche Anreize vorangebracht werden, um zukünftige technische Minderungspotenziale zu erschließen und umzusetzen.

Ein wesentliches Element einer modernen transparenten Lärmbekämpfungsstrategie ist zudem die möglichst breite Beteiligung der Öffentlichkeit, wie diese beispielsweise bei der Umsetzung der EU-Umgebungslärmrichtlinie praktiziert wird. Die Menschen kennen ihre Lärmprobleme vor Ort genau und haben häufig auch schon probate Lösungsvorschläge parat. Dieses Wissen muss noch stärker genutzt werden. Aus der Lärmwirkungsforschung ist zudem bekannt, dass das gegenseitige Vertrauen der am Prozess Beteiligten von großer Bedeutung ist. Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Vertrauen auf den guten Willen der Verantwortlichen beziehungsweise dem Misstrauen gegenüber diesen und der Belästigungsreaktion. Vertrauen ist daher bedeutsam für die Akzeptanz und erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen zur Lärmminderung. Kann bei den Betroffenen Vertrauen hergestellt werden, erhöht sich mit großer Wahrscheinlichkeit die Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahme.

Wichtige zukünftige Maßnahmen zur effektiven Minderung des Lärms sind die Lärmsanierung bestehender Straßen und Schienenwege. Darüber hinaus ist eine wirkungsgerechte Gesamtlärmbewertung notwendig, denn etwa 60 Millionen Menschen in Deutschland sind zwei oder mehr dauerhaften Geräuschquellen, zum Beispiel Straßen- und Schienenverkehr, ausgesetzt (siehe Abbildung 7). Es sollte daher eine rechtliche Regelung für eine quellenübergreifende Gesamtärmbewertung geschaffen werden. Angesichts der schwierigen finanziellen Lage der öffentlichen Haushalte erscheint eine Realisierung dieser bedeutenden Maßnahmen aber nur mittel- bis langfristig möglich. Die Lärmschutzmaßnahmen sind aber notwendig, um das Erkrankungsrisiko der Bevölkerung deutlich zu senken. Darüber hinaus ist es wichtig, noch ruhige Gebiete vor einer Lärmzunahme zu schützen, weil diese ein wichtiges Qualitätsmerkmal unserer Städte sind und deren Attraktivität erhöhen.

Gesamtlärmbewertung

Die Bevölkerung ist einer Vielzahl von Geräuschquellen ausgesetzt, wobei die Bürger*innen häufig von mehreren Quellen gleichzeitig belastet werden. Bisher werden Geräuschquellen jedoch getrennt betrachtet. Seit Jahren wird daher eine Gesamtlärmbetrachtung gefordert. Die Einführung einer Gesamtlärmbetrachtung ist zudem seit drei Legislaturperioden im Koalitionsvertrag der jeweiligen Bundesregierung verankert und damit eine wichtige Maßnahme zum Lärmschutz. Bisher fehlt es jedoch an einem praktikablen Konzept. Das UBA hat deshalb das Forschungsprojekt „Modell zur Gesamtlärmbewertung“ (Liepert et al. 2019) durchführen lassen.

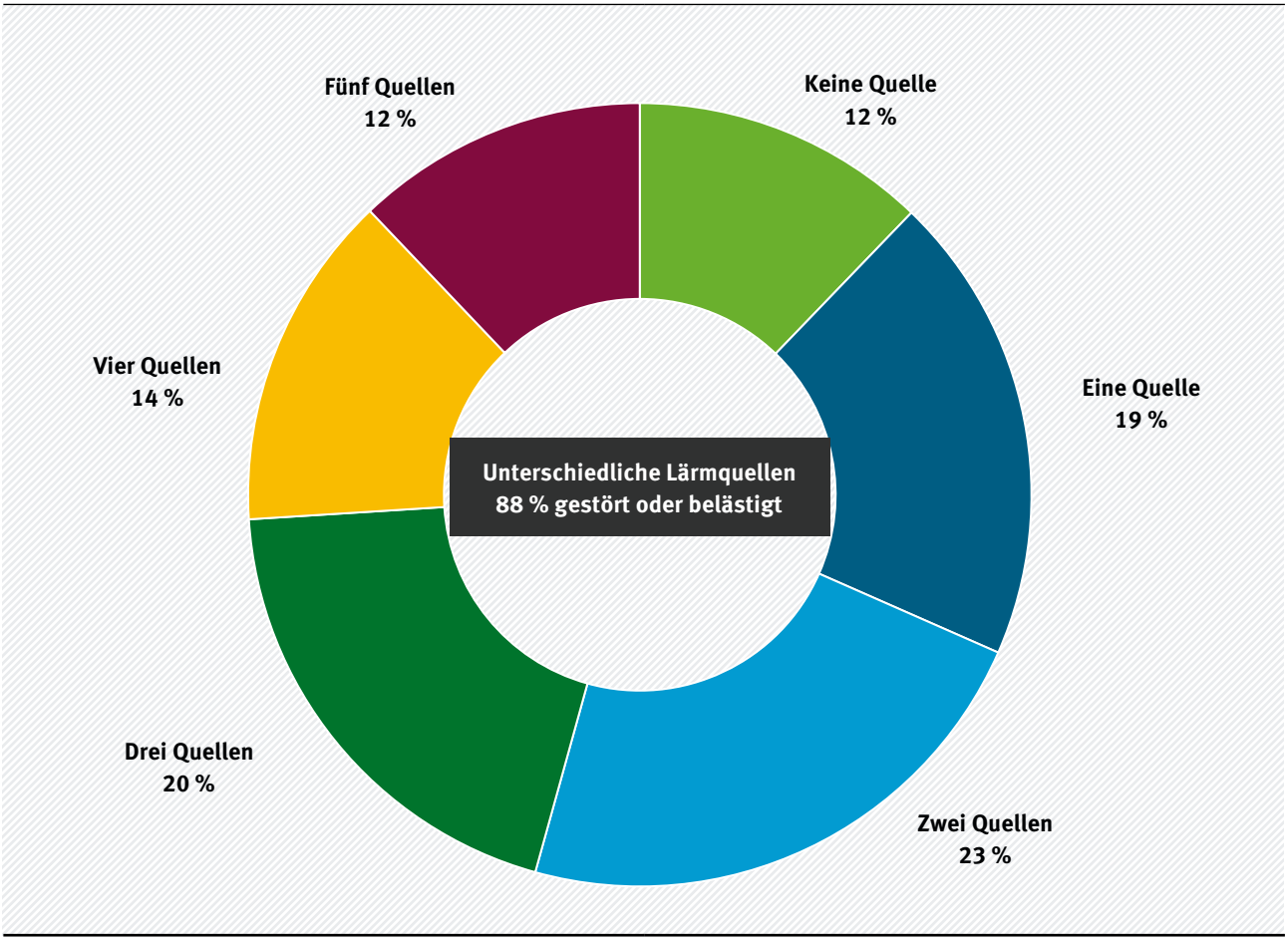
In dem Projekt wurden die Grundlagen für eine Gesamtlärmbewertung entwickelt. Hierzu wurde ein erweitertes Berechnungsmodell entwickelt sowie ein Finanzierungsmodell für Schallschutzmaßnahmen bei einer Gesamtlärmbetrachtung ausgearbeitet. Ebenso wurde eine erste Einschätzung der rechtlichen Umsetzung in die nationale Gesetzgebung abgegeben. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen befasst sich - das ebenfalls im Auftrag des UBA - durchgeführte Forschungsprojekt „Gesamtlärmbewertung Umsetzungskonzept und Planspiel“ (Liepert et al. 2023) zentral mit der Umsetzung der Forschungsergebnisse in einen Regelungsentwurf. Des Weiteren wurden die Folgen einer möglichen Einführung des Regelungsentwurfes anhand eines Planspiels für die betroffenen Akteur*innen untersucht. Ziel des Planspieles war es, im Vorfeld einer möglichen Einführung einer Gesamtlärmbewertung einen konstruktiven Dialog zwischen den betroffenen Akteur*innen, insbesondere aus Wirtschaft und Verwaltung, zu führen. Dabei standen Fragen wie Wirksamkeit, Praktikabilität und Rechtssicherheit im Fokus. Zudem werden Handlungsempfehlungen gegeben, die eine Einführung einer Gesamtlärmbewertung vorantreiben.

Diese beiden Forschungsprojekte stellen ein Konzept zum Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsschädlichen Lärmexpositionen vor, welches erstmals auch eine verbindliche quellenübergreifende und wirkungsgerechte Lärmbewertung beinhaltet. Somit kann mit der Umsetzung des Auftrags aus den Koalitionsverträgen zur Einführung einer Gesamtlärmbewertung begonnen werden. Der Regelungsentwurf bietet die Möglichkeit, die Forschungsergebnisse direkt für einen Referentenentwurf zu verwenden und erleichtert durch die vorangegangene Erprobung die Abstimmung mit den beteiligten Kreisen.

Zur deutlichen Verbesserung der Lärmsituation sind also zukünftig noch erhebliche Anstrengungen aller Beteiligten erforderlich. Das allein reicht jedoch nicht aus, denn Lärm ist nur eines von vielen Umweltproblemen. Sowohl der Verkehr als auch der Anlagenbetrieb der Zukunft müssen nicht nur leise, sondern auch schadstofffrei und treibhausgasneutral sein. Deshalb ist zukünftig eine gesamthafte Betrachtung notwendig. Hierfür ist die Mitwirkung aller Akteur*innen erforderlich, denn nur gemeinsam wird es uns gelingen, die Lärmsituation der Bevölkerung wesentlich zu verbessern und damit das Erkrankungsrisiko durch Lärm deutlich zu senken. Das UBA trägt hierzu mit adressatengerechten Informationen, wissenschaftlichen Analysen und fundierten Bewertungen bei.

Abbildung 7

Lärmbelästigung durch mehrere Lärmquellen (in %)



Daten: Umweltbewusstsein in Deutschland 2020

Quelle: Umweltbundesamt 2022

Literaturverzeichnis

Basner M. und McGuire S. (2018): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018; 15(3):519, https://doi.org/10.3390/ijerph15030519 [Zugriff am 13.12.2023]

BauNVO - Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 21.11.2017 (BGBl. I S. 3786), die zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 03.07.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 176) geändert worden ist

BImSchG - Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17.05.2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26.07.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist

4. BImSchV - Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen in der Fassung der Bekanntmachung vom 31.05.2017 (BGBl. I S. 1440), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12.10.2022 (BGBl. I S. 1799) geändert worden ist

16. BImSchV - Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verkehrslärmschutzverordnung vom 12.06.1990 (BGBl. I S. 1036), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 04.11.2020 (BGBl. I S. 2334) geändert worden ist

32. BImSchV - Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Geräte- und Maschinenlärmschutzverordnung) vom 29.08.2002 (BGBl. I S. 3478), die zuletzt durch Artikel 14 des Gesetzes vom 27.07.2021 (BGBl. I S. 3146) geändert worden ist

34. BImSchV - Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verordnung über die Lärmkartierung vom 06.03.2006 (BGBl. I S. 516), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 28.05.2021 (BGBl. I S. 1251) geändert worden ist.

Becker S. et al. (2022): Lärmauswirkungen des Einsatzes von Drohnen auf die Umwelt. Reihe Texte 06/2022, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermauswirkungen-des-einsatzes-von-drohnen-auf-die-0 [Zugriff am 13.12.2023]

Belz J., Follmer R., Hölscher J. et al. (2022): Umweltbewusstsein in Deutschland 2020 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz und Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2022, Umweltbewusstseinsstudie 2020 (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

BMK und UMK 2020: Gemeinsame AG BMK/UMK zu Zielkonflikten zwischen Innenentwicklung und Immissionsschutz (Lärm und Gerüche), Abschlussbericht der gemeinsamen Arbeitsgruppe der Bauministerkonferenz (BMK) und der Umweltministerkonferenz (UMK) vom 24.09.2020, bericht-zu-top-26_1607084603.pdf (umweltministerkonferenz.de) [Zugriff am 13.12.2023]

BMDV 2022: Lärmvorsorge und Lärmsanierung an Schienenwegen, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/schiene-laerm-umwelt-klimaschutz/laermvorsorge-und-laermsanierung.html [Zugriff am 13.12.2023]

BMDV 2022a: Konzept Einrichtung von U-Spaces in Deutschland, Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), https://www.dipul.de/homepage/de/aktuelle-meldungen/u-spacekonzept-deutschland/ [Zugriff am 13.12.2023]

BMVBS 2007: Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm (Lärmschutz-Richtlinien-StV) vom 23.11.2007, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS), FGSV Verlag GmbH, Köln 2008

Bonacker M. und Bachmeier B. (2018): Information und Mitwirkung der Öffentlichkeit bei der Lärmaktionsplanung. Reihe Leitfäden und Handbücher, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2018, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-mitwirkung-laermaktionsplanung [Zugriff am 13.12.2023]

Brüel & Kjaer (2023): Historische Meilensteine auf dem Weg zum modernen Schallpegelmesser. https://www.bksv.com/de/knowledge/blog/sound/sound-level-meter-history [Zugriff am 13.12.2023]

Bundesregierung (2019): Erster Bericht der Bundesregierung zur Evaluierung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärmgesetz), Fluglärmschutz verbessern - Evaluierung nach § 2 Absatz 3 des im Jahr 2007 novellierten Fluglärmgesetzes. Bundestags-Drucksache 19/7220, Drucksache 19/7220 (bundestag.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Clark C., Head J. A., Stansfeld, S. A. (2013). Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: a six-year follow-up of the UK RANCH cohort. Journal of Environmental Psychology, 35, 1-9.

Clark C. und Paunovic K. (2018): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2018,15(2):285, doi: 10.3390/ijerph15020285 [Zugriff am 13.12.2023]

DIN (1997a): DIN 45680:1997 – Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft. Beuth Verlag. Berlin.

DIN (1997b): DIN 45680 Beiblatt 1:1997 – Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft – Hinweise zur Beurteilung bei gewerblichen Anlagen. Beuth Verlag. Berlin.

EASA (2021): Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe, European Aviation Safety Agency (EASA), Köln 2021, https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf [Zugriff am 13.12.2023]

EASA (2022): European Aviation Environmental Report 2022: Sustainability crucial for long-term viability of the sector. European Aviation Safety Agency (EASA), Cologne, 2022, EAER | EASA Eco (europa.eu) [Zugriff am 13.12.2023]

EASA (2023): Certification Noise Levels - Jet aeroplanes noise database, European Union Aviation Safety Agency, Cologne, 2023, EASA Certification Noise Levels | EASA (europa.eu) [Zugriff am 13.12.2023]

EBA (2023a): Lärmaktionsplanung, Eisenbahn-Bundesamt (EBA), https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_an_Schienenwegen/Laermaktionsplanung/laermaktionsplanung_node.html [Zugriff am 13.12.2023]

EBA (2023b): Lärm-Monitoring Jahresbericht 2022 - Schallmessung im Schienenverkehr Eisenbahn-Bundesamt, Bonn 2023, Lärm-Monitoring Jahresbericht 2022.pdf (laerm-monitoring.de) [Zugriff am 13.12.2023]

ETC HE 2022 - European Topic Centre on Human health and the environment (2022): Projected health impacts from transportation noise - Exploring two scenarios for 2030. Copenhagen, https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2022-5-projected-health-impacts-from-transportation-noise-2013-exploring-two-scenarios-for-2030 [Zugriff am 13.12.2023]

Europäische Kommission (1996): Künftige Lärmschutzpolitik - Grünbuch der Europäischen Kommission 04.11.1996, Brüssel 1996, KOM (96) 540 endg.

Europäische Kommission (2014): Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 der Kommission vom 26.11.2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“ sowie zur Änderung der Entscheidung 2008/232/EG und Aufhebung des Beschlusses 2011/229/EU, ABl. L 356 vom 12.12.2014, S. 421

Europäische Kommission (2015): Richtlinie (EU) 2015/996 der Kommission vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, ABl. L 168/1 vom 01.07.2015

Europäische Kommission (2019): Delegierte Verordnung (EU) 2019/945 der Kommission vom 12.03.2019 über unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Drittlandbetreiber unbemannter Luftfahrzeugsysteme. OJ L 152, 11.6.2019, p. 1–40.

Europäische Kommission (2020): Delegierte Richtlinie (EU) 2021/1226 der Kommission vom 21. Dezember 2020 zur Änderung des Anhangs II der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich gemeinsamer Methoden zur Lärmbewertung zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt, ABl. L 269/65 vom 28.07.2021

Europäische Kommission (2023a): Durchführungsverordnung (EU) 2023/1694 der Kommission vom 10.08.2023 zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 321/2013, (EU) Nr. 1299/2014, (EU) Nr. 1300/2014, (EU) Nr. 1301/2014, (EU) Nr. 1302/2014, (EU) Nr. 1304/2014 und der Durchführungsverordnung (EU) 2019/777, ABl. L 222 vom 08.09.2023, S. 88

Europäische Kommission (2023b): Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG. Brüssel, 2023 COM (2023) 139 final

FBB (2023): Entgeltordnung Flughafen Berlin Brandenburg, Flughafen Berlin Brandenburg (FBB), Berlin, 2023, Entgeltordnung BER (DE/EN) (berlin-airport.de) [Zugriff am 13.12.2023]

FluLärmG: Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31.10.2007 (BGBl. I S. 2550)

1. FlugLSV: Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen vom 27. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2980), die zuletzt durch Artikel 101 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist

2. FlugLSV: Zweite Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Flugplatz-Schallschutzmaßnahmenverordnung - 2. FlugLSV) vom 8. September 2009 (BGBl. I S. 2992)

3. FlugLSV: Dritte Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Fluglärm-Außenwohnbereichsentschädigungs-Verordnung vom 20. August 2013 (BGBl. I S. 3292)

Foerster, J. (2022): UAS Sound Measurement and Psychoacoustic Analysis of Noise Effects as a Function of Different Modes of Operation, Masterarbeit, Fakultät V - Verkehrs- und Maschinensysteme, TU Berlin, 2022

Fraport (2023): Flughafenentgelte nach § 19b LuftVG, Entgelte für Zentrale Bodenverkehrsdienste, Infrastruktureinrichtungen, Fraport, Frankfurt/Main, 2023

Goecke D., Öhler S., Schaal J. (2023): Psychoakustische Analyse der Schallausbreitung für die Lärmkartierung, Lärmbekämpfung 18.3 (2023)

Guski R., Schreckenberg D., Schuemer R. (2017): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and annoyance. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2017,14(12):1539. https://doi.org/10.3390/ijerph14121539 [Zugriff am 13.12.2023]

Hamöller G., Jäcker-Cüppers M., Kuppe A.-K. et al. (2021): Minderung des Lärms von Straßenbahnen im urbanen Raum, Reihe Texte 115/2021, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/minderung-des-laerms-von-strassenbahnen-im-urbanen [Zugriff am 13.12.2023]

Heinrichs. E (2002): Lärmminderungsplanung in Deutschland, Evaluation eines kommunalen Planungsverfahrens. Institut für Raumplanung, Universität Dortmund. Dortmund

Heinrichs E., Scherbarth F., Sommer K. (2017): Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen. Reihe Broschüren, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2017, umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/wirkungen_von_tempo_30_an_hauptstrassen.pdf [Zugriff am 13.12.2023]

Heinrichs E., Leben J., Cancik P. (2018): Information und Mitwirkung der Öffentlichkeit bei der Lärmaktionsplanung. Reihe Broschüren, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2018, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/leitfaden-mitwirkung-laermaktionsplanung [Zugriff am 13.12.2023]

Heinrichs E., Janßen A., Leben J. et al. (2019): Umgebungslärmrichtlinie: Vernetzung von Planungsebenen bei der Lärmaktionsplanung. Reihe Texte 112/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2019 Umgebungslärmrichtlinie: Vernetzung von Planungsebenen bei der Lärmaktionsplanung | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Heinrichs E., Kumsteller F., Gurok S. et al. (2021): Lärmbilanz 2020 - Analyse der Lärmminderungsplanung in Deutschland. Reihe Texte 135/2021, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2021 https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/laermbilanz-2020 [Zugriff am 13.12.2023]

Heinrichs E., Klein T., Blohm J., Eggers, S. (2023): Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h. Reihe Texte 50/2023, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2023, Umweltwirkungen einer innerörtlichen Regelgeschwindigkeit von 30 km/h | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Hildebrandt E. und Wolfgang, B. (1992): Modellvorhaben Lärmminderungspläne Niedersachsen, Lärmminderungsplan Stadt Nienburg, Hannover

Holland K., Janssen D., Maire W. (1994): Modellvorhaben Lärmminderungspläne Niedersachsen - am Beispiel der Stadt Lingen, Oldenburg

Huth C., Forstreuter M., Liepert M. et al. (2022): Messung von Flachstellen und Ermittlung eines akustischen Instandhaltungskriteriums, Reihe Texte 59/2022, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_59-2022_messung_von_flachstellen_und_ermittlung_eines_akustischen_instandhaltungskriteriums_abschlussbericht.pdf [Zugriff am 13.12.2023]

ICAO (2017a): Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume I - Aircraft Noise, 8th edition, International Civil Aviation Organisation, Montreal, 2017

ICAO (2017b): Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume II - Aircraft Engine Emissions, 4th edition, International Civil Aviation Organisation, Montreal, 2017

ICAO (2017c): Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume III – Aeroplane CO2 Emissions, 1st edition, International Civil Aviation Organisation, Montreal, 2017

ICAO (2018): Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation, Environmental Protection, Volume IIII – Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), 1st edition, International Civil Aviation Organisation, Montreal, 2018

ICAO (2022): ICAO Environmental Report 2022 – Innovation for a green transition. International Civil Aviation Organization, Montreal 2022, ICAO ENV Report 2022 F4.pdf [Zugriff am 13.12.2023]

ISO (7196): ISO 7196:1995-03 – Acoustics – Frequency-weighting characteristic for infrasound measurements. Beuth Verlag. Berlin.

ISO 3744:2010:2010-10: Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane

ISO 11819-1:2023. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise - Part 1: Statistical pass-by method

ISO/FDIS 5305:2023-09: Draft: Noise measurements for UAS (Unmanned aircraft systems)

Keating D. (2012): Porsche proposals fuel noisy traffic debate. POLITICO, https://www.politico.eu/article/porsche-proposals-fuel-noisy-traffic-debate [Zugriff am 13.12.2023]

Klatte M., Bergström K., Spilski J. et al. (2014): Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern. Endbericht, In: Gemeinnützige Umwelthaus GmbH (ed.) NORAH: Noise-related annoyance, cognition, and health. Kelsterbach 2014

Krahé D., Schreckenberg D., Möhler U. et al. (2014): Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall: Entwicklung von Untersuchungsdesigns für die Ermittlung der Auswirkungen von Infraschall auf den Menschen durch unterschiedliche Quellen. Reihe Texte 40/2014, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Krahé D., Alaimo Di Loro A., Müller U. et al. (2020): Lärmwirkungen von Infraschallimmissionen. Forschungskennzahl 3714 51 100 0. Reihe Texte 163/2020, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/publikatio-nen/laermwirkungen-von-infraschallimmissionen [Zugriff am 13.12.2023]

LAI (1986): Lärmminderungspläne: Ziele und Maßnahmen. Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI), Düsseldorf 1986

LAI (2023): LAI-Leitfaden für die Verbesserung des Schutzes gegen Lärm beim Betrieb von stationären Geräten in Gebieten, die dem Wohnen dienen, Kurzfassung für Luftwärmepumpen, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), ein Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz der Bundesrepublik Deutschland, UMK-Umlaufbeschluss 47/2023

Lieb J., Volkert A., Treichel J. (2022): Assessing Noise Emissions of Different Drones in Representative Flight Maneuvers, UAV Flight Testing Convention, 2022

Lieb J., Treichel J., Volkert A. (2023): Noise measurements of unmanned aircraft vehicles: experiences, challenges and recommendations for standards taken from flight trials." 2023 Integrated Communication, Navigation and Surveillance Conference (ICNS). IEEE, 2023.

Liepert M., Johannes Lang J., Ulrich Möhler U. et al. (2019): Modell zur Gesamtlärmbewertung. Reihe Texte 60/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Modell zur Gesamtlärmbewertung | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Liepert M., Forstreuter M., Schreckenberg D. et al. (2023): Gesamtlärmbewertung Umsetzungskonzept und Planspiel. Reihe Texte 28/2023, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Gesamtlärmbewertung Umsetzungskonzept und Planspiel | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Lohse R., Schmaus M., Haberl M. et al. (2023): Klimaschutz- und Luftreinhalteeffekte durch Tempo 30 innerorts in den Stadtregionen Dresden, Magdeburg und Stuttgart - Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung", Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2023, Flüssiger Verkehr für Klimaschutz und Luftreinhaltung (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Lutzenberger S. und Gutmann C. (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärmminderungspotenzial mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen, Reihe Texte 12/2013, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/ermittlung-des-standes-technik-geraeuschemissionen [Zugriff am 13.12.2023]

Maijala P., Turunen A., Kurki I. et al. (2020): Infrasound Does Not Explain Symptoms related to Wind Turbines, Publications of the Government's analysis, assessment and research activities 2020:34. Prime Minister's Office. Helsinki. Infrasound Does Not Explain Symptoms Related to Wind Turbines - Valto (valtioneuvosto.fi) [Zugriff am 13.12.2023]

MbBO: Verordnung über den Bau und Betrieb der Magnetschwebebahnen (Magnetschwebebahn-Bau- und Betriebsordnung - MbBO) vom 23.09.1997 (BGBl. I S. 2329)

mikrofon.org (2023): Geschichte des Mikrofons, https://mikrofon.org/das-mikrofon/geschichte-des-mikrofons [Zugriff am 13.12.2023]

Mitusch K., Gipp C., Brenck A. et al. (2017): Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. Reihe Texte 19/2017, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/strategien-zur-effektiven-minderung-des [Zugriff am 13.12.2023]

Möhler U. , Schreckenberg D., Müller U. et al. (2017): Gutachten zur Berücksichtigung eines Maximalpegelkriteriums bei der Beurteilung von Schienenverkehrslärm in der Nacht, Hessisches Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Auftraggeber), Wiesbaden 2017, https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-06/gutachten_zur_beruecksichtigung_eines_maximalpegelkriteriums_bei_der_beurteilung_von_schienenverkehrslaerm_in_der_nacht.pdf [Zugriff am 13.12.2023]

Myck T. und Vogelsang B. (2007): Die Ermittlung des Lärmschutzbereichs nach dem novellierten Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm, Lärmbekämpfung, Band 2 (2007), Nr. 4

Myck T. und Wothge J. (2021). Infraschall von Windenergieanlagen. Umwelt und Mensch Informationsdienst, UMID Nr. 01/2021. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert-Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA) UMID – UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST 01/2021 (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Öko-Institut (2005): Kostenfolgen der Novelle des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm - Dokumentation der Ergebnisse, Darmstadt, Berlin, 2005

Richard J., Mazur H., Lauenstein D. (2015): Handbuch Lärmaktionspläne Handlungsempfehlungen für eine lärmmindernde Verkehrsplanung. Reihe Texte 81/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/handbuch-laermaktionsplaene-handlungsempfehlungen [Zugriff am 13.12.2023]

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, Amtsblatt Nr. L 162 vom 03/07/2000 S. 0001 – 0078

Richtlinie 2001/43/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Juni 2001 zur Änderung der Richtlinie 92/23/EWG des Rates über Reifen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern und über ihre Montage, L 211/25, 04.08.2001, p. 25–46

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm - Erklärung der Kommission im Vermittlungsausschuss zur Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, OJ L 189, 18.07.2002, p. 12–25

Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung) (Text von Bedeutung für den EWR), OJ L 285, 31.10.2009, p. 10–35

Rubik F. (2020): Gesundheitliche Belastungen durch Umweltverschmutzung und Lärm – Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2020, Gesundheitliche Belastungen durch Umweltverschmutzung und Lärm – Ergebnisse der Umweltbewusstseinsstudien (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

RKI 2007: Infraschall und tieffrequenter Schall – ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz In: Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 50:

1582–1589. DOI: 10.1007/s00103-007-0407-3. [Zugriff am 13.12.2023]

Schade L. und Gebhardt J. (2022): Noise as a Business Model. Noise News International 2022, 30(1), 15-17

SchlärmschG - Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen (Schienenlärmschutzgesetz - SchlärmschG) vom 20.07.2017 (BGBl. I S. 2804), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 09.06.2021 (BGBl. I S. 1730) geändert worden ist

Schlattjan J.H., Eberwein G., Nehring R. et al. (2014): Gesundheitliche Auswirkungen von Bahnlärm - Aktueller Stand in der wissenschaftlichen Literatur, Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Hessisches Ministerium für Soziales und Integration, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen [Hrsg.], 2014

Schmitter S., Alaimo Di Loro A., Hemmer D. et al. (2022): Geräuschwirkungen bei der Nutzung von Windenergie an Land. Forschungskennzahl 3717 43 110 0. Reihe Texte 69/2022, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Geräuschwirkungen bei der Nutzung von Windenergie an Land (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Schütte S., Benz S., Schreckenberg D. et al. (2022): Minderung des Gewerbelärms in Städten, Reihe Texte 154/2022, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Minderung des Gewerbelärms in Städten | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Seidler A., Schubert M., Romero K. et al. (2023): Einfluss des Lärms auf psychische Erkrankungen des Menschen. Reihe Texte 4/2023, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau, Einfluss des Lärms auf psychische Erkrankungen des Menschen (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

Śliwińska-Kowalska M. und Zaborowski K. (2017): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and permanent hearing loss and tinnitus. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2017, 14(10): 1139, https://doi.org/10.3390/ijerph1410113 [Zugriff am 13.12.2023]

Stansfeld S. A., Berglund B., Clark C. et al. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. Lancet, 365(9475), 1942–1949. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66660-3 [Zugriff am 13.12.2023]

Statista (2023): https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12131/umfrage/pkw-bestand-in-deutschland [Zugriff am 05.12.2023]

StVO: Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) vom 06.03.2013 (BGBl. I S. 367), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 28.08. 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 236) geändert worden ist

StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) vom 26.04.2012 (BGBl. I S. 679), die zuletzt durch Artikel 8 der Verordnung vom 20.07.2023 (BGBl. 2023 I Nr. 199) geändert worden ist

Sülflohn R., Goerke S., Gorzel J. (1992): Modellvorhaben Lärmminderungspläne Niedersachsen - Stadt Celle, Berlin

TA Lärm (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm, vom 26. August 1998 (GMBl Nr. 26/1998 S. 503), zuletzt geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5).

Treichel J. und Körper S. (2019): Untersuchung der Geräuschemission von Drohnen, Lärmbekämpfung 14.4, 2019

Treichel J. et al. (2022): Applicability of ISO standard 3744 to UA. EUROREGIO BNAM Joint Acoustics Conference, 2022

Treichel J. et al. (2023a): Anwendbarkeit der ISO 3744 zur Ermittlung von Drohnengeräuschen. Lärmbekämpfung 18.2, 2023

Treichel J. et al. (2023b): Noise measurements from drones to estimate future noise exposures, 29th International Congress on Sound and Vibration (ICSV). IIAV, 2023

van Kamp I. und van den Berg F. (2017): Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. Acoustics Australia 46: 31–57. Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound | SpringerLink [Zugriff am 13.12.2023]

van Kamp I. und van den Berg G.P. (2020): Health effects related to wind turbine sound: an update. National Institute for Public Health and the Environment, RIVM. Health effects related to wind turbine sound: an update (rivm.nl).

van Kempen E., Casas M., Pershagen G., Foraster M. (2018): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and cardiovascular and metabolic effects: A summary. International Journal of Environmental Research and Health 2018, 15(2), 379, https://doi.org/10.3390/ijerph15020379 [Zugriff am 13.12.2023]

Vogel T. (2020): Effektivität und Nutzen von Klangkorrektur-Werkzeugen für Lautsprecher am Beispiel von „Reference 4“ der Firma Sonarworks, Bachelorarbeit, Hochschule Anhalt, 2020

UBA (1979): Jahresbericht 1978 des Umweltbundesamtes, Berlin 1979

UBA (1989): Lärmbekämpfung ‘88: Tendenzen – Probleme – Lösungen; Materialen zum 4. Immissionsschutzbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag nach § 61 BImSchG, Umweltbundesamt (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin 1989

UBA (1994): Handbuch Lärmminderungspläne, Modellhafte Lärmvorsorge und -sanierung in ausgewählten Städten und Gemeinden, Umweltbundesamt (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin 1994

UBA (1997): Jahresbericht 1996 des Umweltbundesamtes, Berlin 1997

UBA (1998): Jahresbericht 1997 des Umweltbundesamtes, Berlin 1998

UBA (2004): Jahresbericht 2003 des Umweltbundesamtes, Berlin 2004

UBA (2017a): Fluglärmbericht 2017 des Umweltbundesamtes; Reihe Texte 56/2017, Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau Fluglärmbericht 2017 des Umweltbundesamtes | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2017b): Die Stadt für Morgen: Umweltschonend mobil – lärmarm – grün – kompakt – durchmischt; https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-stadt-fuer-morgen-umweltschonend-mobil-laermarm [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2019a): Umweltschonender Luftverkehr lokal - national - international, Texte 130/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2019, https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltschonender-luftverkehr [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2019b): Schwerpunkt Fliegen, Das Magazin des Umweltbundesamtes 1/2019, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2019, uba_schwerpunkt_magazin_fliegen_.pdf (umweltbundesamt.de) [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2021): Lärmwirkungen - Gehörschäden und Stressreaktionen, Lärmwirkungen | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2022a): Umwelthandlungsziel zur Vermeidung gesundheitsschädlicher Auswirkungen; https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/umgebungslaermrichtlinie/laermaktionsplanung#lapziele [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2022b): Lärmbelästigung, https://www.umweltbundesamt.de/themen/laerm/laermwirkungen/laermbelaestigung [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2023a): Indikator: Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm nach Umgebungslärmrichtlinie, https://www.umweltbundesamt.de/bild/belastung-der-bevoelkerung-durch-verkehrslaerm-nach

[Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2023b): Lärmkartierung nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie, Lärmkartierung nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie (uba.de) [Zugriff am 13.12.2023]

UBA (2023c): Gesundheitsrisiken durch Umgebungslärm; Gesundheitsrisiken durch Umgebungslärm | Umweltbundesamt [Zugriff am 13.12.2023]

Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU (Text von Bedeutung für den EWR.), ABl. L 198 vom 28.07.2017, S. 1-23

Weinandy R. und Peeters B. (2023): Recent activities and policy recommendations from the EPA Network Interest Group on Noise Abatement, 10th Convention of the European Acoustics Association, Turin, Italy, 11th – 15th September 2023, Politecnico di Torino

Wothge J. und Niemann H. (2020): Gesundheitliche Auswirkungen von Umgebungslärm im urbanen Raum. Bundesgesundheitsblatt 63, 987-996 (2020). https://doi.org/10.1007/s00103-020-03178-9 [Zugriff am 13.12.2023]

WHO 2018: Environmental noise guidelines for the European Region, World Health Organisation (WHO) Regional Office for Europe, Copenhagen 2018, 9789289053563-eng.pdf (who.int) [Zugriff am 13.12.2023]

▸ **Unsere Broschüren als Download**
Kurzlink: bit.ly/2dowYYI