

TEXTE

31/2025

Abschlussbericht

Vergleich vorhandener Verfahren zur Beurteilung von nächtlichem Fluglärm und für Entscheidungen über baulichen Schallschutz für Schlafräume

von:

M. Sc. Julia Kuhlmann, B.A. Jonas Bilik, Dipl.-Wirtschaftspsych. Christin Belke, Dr. Dirk Schreckenberger
ZEUS GmbH, Hagen

Dr. Bettina Brohmann, M.A. Christoph Brunn, Ass. Jur. Silvia Schütte
Öko-Institut, Darmstadt

B. Eng. Melissa Forstreuter, Dipl.-Ing. Manfred Liepert
Möhler + Partner Ingenieure GmbH, Augsburg

Prof. Dr. med. Mathias Basner (Beratung)
Basner Research Consulting LLC, Bala Cynwyd

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 31/2025

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3720 56 102 0
FB001415

Abschlussbericht

Vergleich vorhandener Verfahren zur Beurteilung von nächtlichem Fluglärm und für Entscheidungen über baulichen Schallschutz für Schlafräume

von

M. Sc. Julia Kuhlmann, B.A. Jonas Bilik, Dipl.-Wirtschaftspsych. Christin Belke, Dr. Dirk Schreckenberger
ZEUS GmbH, Hagen

Dr. Bettina Brohmann, M.A. Christoph Brunn, Ass. Jur. Silvia Schütte
Öko-Institut, Darmstadt

B. Eng. Melissa Forstreuter, Dipl.-Ing. Manfred Liepert
Möhler + Partner Ingenieure GmbH, Augsburg

Prof. Dr. med. Mathias Basner (Beratung)
Basner Research Consulting LLC, Bala Cynwyd

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Durchführung der Studie:

ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung
Sennbrink 46
58093 Hagen

Möhler + Partner Ingenieure GmbH
Prinzstraße 49
86153 Augsburg

Öko-Institut e.V.
Rheinstraße 95
64295 Darmstadt

Unter Beratung von:

Basner Research Consulting LLC
171 Springfield Ave
Bala Cynwyd, PA 19004, USA

Abschlussdatum:

März 2024

Redaktion:

Fachgebiet I 2.4 Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen
Jödis Wothge, Thomas Myck

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2025

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Vergleich vorhandener Verfahren zur Beurteilung von nächtlichem Fluglärm und für Entscheidungen über baulichen Schallschutz für Schlafräume

Im Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) sind Lärmschutzbereiche in zwei Tag-Schutzzonen und eine Nachtschutzzone untergliedert. Die Festsetzung dieser Zonen wird anhand berechneter Fluglärmbelastungen vorgenommen. Die Nachtschutzzone ergibt sich aus der Überlagerung eines Dauerschallpegelwertes für die Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr und eines Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums. Bauliche Beschränkungen und gegebenenfalls die Erstattungs-fähigkeit baulicher Schallschutzmaßnahmen sind Rechtsfolgen für die in den Schutzzonen gelegenen Immobilien. Alternative Abgrenzungskriterien zur Definition eines Nachtschutz- oder Betrachtungsgebiets stehen zur Verfügung und werden auch vereinzelt an deutschen Flughäfen angewandt. Vor diesem Hintergrund befasst sich das vorliegende Forschungsprojekt mit der Analyse vorhandener Verfahren zur Beurteilung des nächtlichen Fluglärms an Flughäfen und leitet Empfehlungen für ein geeignetes nachfluglärm-bezogenes Kriterium zur Abgrenzung eines Nachtschutzgebiets ab. Untersucht wird die Eignung von Dauerschallpegeln, ereignisbezogenen Maximalpegel-Schwellenwerten (Number above Threshold, NAT) und die Anzahl fluglärminduzierter Aufwachreaktionen als Funktion ereignisbezogener Maximalpegel. Die Arbeitsschritte hierzu umfassen Literaturanalysen mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten, eine Bevölkerungsbefragung an zwei von drei ausgewählten Flughafenstandorten (Köln/Bonn und Leipzig/Halle) und eine Re-Analyse vorhandener Daten (Re-Analyse von NORAH-Daten; Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) am dritten Flughafenstandort (Frankfurt/Main). Darüber hinaus wurde eine Befragung von verschiedenen Akteur*innen sowie eine Bewertung der Lärmwirkung, Verteilungsgerechtigkeit und Umsetzbarkeit der ereignisbezogenen nachfluglärm-bezogener Gebietsabgrenzungskriterien vorgenommen. Auf dieser Grundlage werden Handlungsempfehlungen für Abgrenzungskriterien zum Schutz vor Nachtfluglärm gegeben.

Abstract: Comparison of existing methods for the assessment of nocturnal aircraft noise and for decisions on structural sound proofing measures for bedrooms

The Aircraft Noise Protection Act (FluLärmG) defines noise protection zones divided into two zones for the daytime and one zone for the night-time protection zone. These zones are demarcated on the basis of calculated aircraft noise exposure. The night protection zone is determined by the overlay of a continuous sound level value for the night-time period from 10:00 p.m. to 6:00 a.m. and a frequency event-related maximum level criterion. Building restrictions and the eligibility for reimbursement of structural noise abatement measures are legal consequences for properties located in the protection zone. Alternative demarcation criteria for defining a night protection or a noise monitoring area are available and are also used at single German airports. The present research project analyses existing procedures for assessing nocturnal aircraft noise at airports and derives recommendations for a suitable aircraft noise-related criterion for defining a night protection zone. The suitability of continuous sound levels, event-related maximum sound level thresholds (Number above Threshold, NAT) and the number of aircraft noise-induced awakenings as a function of event-related maximum levels is analysed. This included literature analyses with different thematic focuses, a socio-acoustic survey at two of three selected airports (Cologne/Bonn and Leipzig/Halle), a re-analysis of existing data (re-analysis of NORAH data; Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) at the third airport (Frankfurt/Main), a survey of various stakeholders and an assessment of the noise impact, distributive fairness and feasibility of the event-related night-time aircraft noise-related area demarcation criteria. Based on this, recommendations for demarcation criteria to protect against aircraft noise during the night will be provided.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis.....	18
Zusammenfassung.....	21
Summary	31
1 Hintergrund und Zielstellung.....	39
2 Literaturrecherchen und -analysen.....	41
2.1 Rechtlicher Rahmen.....	41
2.2 Standortbezogene Recherche von nachtflyglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien in Deutschland.....	42
2.2.1 Freiwillige Schallschutzprogramme an deutschen Flughäfen.....	42
2.2.1.1 Kriterien des Block I: Werte entsprechend Fluglärmschutzgesetz	49
2.2.1.2 Kriterien des Block II: Modifizierte Werte, basierend auf denen des FluLärmG	50
2.2.1.3 Kriterien des Block III: Alternative Werte	51
2.2.2 Fazit zur Verwendung Einzelereignis bezogener Nachtschutzkriterien an den betrachteten deutschen Flughafenstandorten.....	51
2.3 Literaturanalyse zu Lärmwirkungsstudien zum nächtlichen Fluglärm in Bezug auf verschiedene akustische Kenngrößen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche.....	53
2.3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche	55
2.3.1.1 Relevante Reviews.....	56
2.3.1.2 Identifizierte Originalstudien.....	56
3 Standortauswahl und Ermittlung der Immissionssituation.....	60
3.1 Standortauswahl	60
3.1.1 Verkehrsentwicklung an verschiedenen deutschen Flughäfen	60
3.1.2 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets an den ausgewählten Flughafenstandorten.....	65
3.2 Methodik zur Ermittlung der Immissionssituation	66
3.2.1 Flughafen Köln/Bonn	67
3.2.2 Flughafen Leipzig/Halle.....	70
3.2.3 Flughafen Frankfurt/Main.....	73
3.3 Darstellung der Immissionssituationen der Befragten	75
3.3.1 Flughafen Köln/Bonn	75
3.3.2 Flughafen Leipzig/Halle.....	79
3.3.3 Flughafen Frankfurt/Main.....	82

4	Befragung von Akteur*innen	86
4.1	Stichprobe und Teilnehmendenakquise Befragung von Akteur*innen.....	86
4.2	Befragungsinhalte der Befragung von Akteur*innen	86
4.3	Durchführung der Befragung von Akteur*innen	86
4.4	Ergebnisse der Befragung von Akteur*innen	87
4.4.1	Ereignisbezogene Gebietsabgrenzungskriterien zum Schutz vor Nachtfluglärm	87
4.4.2	Erfahrung mit ereignisbezogenem Gebietsabgrenzungskriterium für die Nachtzeit.....	88
4.4.3	Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen.....	90
4.4.4	Verbesserungsbedarf.....	90
4.4.5	Fazit der Befragung von Akteur*innen	91
5	Bevölkerungsbefragung an zwei Flughafenstandorten.....	92
5.1	Auswahl der Untersuchungsgebiete.....	92
5.2	Vorgehen zu der Bevölkerungsbefragung.....	93
5.3	Pretest.....	93
5.4	Stichprobe und Teilnehmendenakquise für die Bevölkerungsbefragung	94
5.5	Befragungsinhalte der Bevölkerungsbefragung.....	94
5.6	Durchführung der Bevölkerungsbefragung	95
5.7	Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung.....	95
5.7.1	Soziodemographische Beschreibung der Stichprobe	95
5.7.2	Geräuschbelastung und Verteilung der Teilnehmenden hinsichtlich der verschiedenen nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien.....	96
5.7.3	Wohn- und Lebensbedingungen im Flughafenumfeld	97
5.7.4	Lärmwirkungen des nächtlichen Fluglärms und etwaige Einflussfaktoren	99
5.7.5	Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen.....	104
5.7.6	Korrelationen zwischen Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen.....	106
5.7.7	Multiple Regressionsanalyse zum Vergleich des Einflusses der vier akustischen Kenngrößen auf die Ausschlafstörungen.....	108
5.8	Fazit der Bevölkerungsbefragung	111
6	Re-Analyse der NORAH-Befragungsdaten für den Flughafen Frankfurt/Main 2011	112
6.1	Beschreibung der genutzten NORAH-Daten.....	112
6.2	Befragungsinhalte der NORAH-Daten.....	112
6.3	Stichprobenbeschreibung	112
6.4	Ergebnisse der Re-Analyse der NORAH-Daten	113
6.4.1	Wohn- und Lebensbedingungen im Flughafenumfeld sowie Lärmwirkungen des nächtlichen Fluglärms	113

6.4.2	Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen.....	119
6.4.3	Korrelationen zwischen Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen.....	120
6.4.4	Multiple Regressionsanalyse zum Vergleich des Einflusses der vier akustischen Kenngrößen auf die Ausschlafstörungen.....	121
6.5	Fazit der Re-Analyse der NORAH-Daten	124
7	Beurteilung der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien und Handlungsempfehlungen	125
7.1	Bewertungskriterien	125
7.1.1	Lärmwirkung	125
7.1.2	Verteilungsgerechtigkeit.....	129
7.1.3	Umsetzbarkeit.....	133
7.2	Bewertung der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien	133
7.2.1	Bewertung hinsichtlich der Lärmwirkung	133
7.2.2	Bewertung hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit.....	135
7.2.3	Bewertung der Umsetzbarkeit.....	137
7.3	Handlungsempfehlungen.....	139
7.3.1	Aufwachreaktionen als Abgrenzungskriterium zum Schutz vor Nachtfluglärm	139
7.3.2	Einheitliche Expositions-Wirkungsbeziehung für alle Flugplätze	140
7.3.3	Zusätzliches Dauerschallpegelkriterium auch für die Nacht.....	140
7.3.4	Eine Aufwachreaktion (AWR = 1) als Schwellenwert des AWR-Kriteriums	140
8	Quellenverzeichnis	142
A	Fragebögen.....	150
A.1	Fragebogen für die Befragung der Akteur*innen beispielhaft für Frankfurt/Main.....	150
A.2	Fragebogen für die Hauptbefragung.....	156
B	Ergebnisse der Befragung der Akteur*innen	166
B.1.1	Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen.....	166
B.1.2	Akzeptanz der Bevölkerung	167
B.1.3	Veränderungen im Flugverkehr	167
C	Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung.....	169
C.1	Sensitivitätsanalysen für Subgruppenunterschiede	169
C.1.1	Vergleich der deskriptiven Statistiken zwischen verschiedenen Subgruppen	169
C.1.2	Kovarianzanalysen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf Ausschlafstörungen	172
C.1.3	Korrelationen zwischen den Variablen in den verschiedenen Subgruppen	174
C.2	Korrelationstabellen.....	179
C.3	Signifikanzprüfung der Korrelationen	191

D	Ergebnisse der Re-Analyse der NORAH-Daten.....	193
D.1	Sensitivitätsanalysen für Subgruppenunterschiede	193
D.1.1	Vergleich der deskriptiven Statistiken zwischen verschiedenen Subgruppen	193
D.1.2	Kovarianzanalysen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf Ausschlafstörungen	195
D.1.3	Korrelationen zwischen den Variablen in den verschiedenen Subgruppen	196
D.2	Korrelationstabellen.....	200
D.3	Signifikanzprüfung der Korrelationen	204

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn und Lage der Befragten-Adressen26
Abbildung 2:	Übersicht der Arbeitsschritte zu den Handlungsempfehlungen40
Abbildung 3:	Flussdiagramm zum Vorgehen zur Literatursuche bei der Literaturrecherche nach der PRISMA-Methode (Moher et al. 2009).....54
Abbildung 4:	Übersicht über relevante Literaturquellen.....55
Abbildung 5:	Übersicht über Nachtflugbeschränkungen an verschiedenen Flughäfen in Deutschland61
Abbildung 6:	Anzahl der Flugbewegungen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)62
Abbildung 7:	Passagieraufkommen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)62
Abbildung 8:	Frachtaufkommen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)63
Abbildung 9:	Nachtflugbewegungen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)63
Abbildung 10:	Schematische und exemplarische Darstellung der räumlichen Abgrenzungen anhand unterschiedlicher Kriterien66
Abbildung 11:	Rasterkarte des nächtlichen Mittelungspegels in den verkehrsreichsten 6 Monaten in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten, Farbdarstellung nach DIN 4568269
Abbildung 12:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten70
Abbildung 13:	Rasterkarte des nächtlichen Mittelungspegels in den verkehrsreichsten 6 Monaten in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle im Jahr 2020 auf Basis der FANOMOS-Daten, Farbdarstellung nach DIN 4568272

Abbildung 14:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle im Jahr 2020 auf Basis der FANOMOS-Daten	73
Abbildung 15:	Rasterkarte des nächtlichen Mittelungspegels in den verkehrsreichsten 6 Monaten in der Umgebung des Flughafens Frankfurt/Main im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten, Farbdarstellung nach DIN 45682	74
Abbildung 16:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Frankfurt/Main im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten	75
Abbildung 17:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn und Lage der Befragten-Adressen	76
Abbildung 18:	Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn	77
Abbildung 19:	Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn	78
Abbildung 20:	Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15)$ dB = 68 dB; Teilkriterium AK2: NAT: $L_{Amax} = 1*80$ dB), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn nachts	79
Abbildung 21:	Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle und Lage der Befragten-Adressen	80
Abbildung 22:	Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle	80
Abbildung 23:	Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle	81
Abbildung 24:	Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15)$ dB = 68 dB; Teilkriterium AK2: NAT: $L_{Amax} = 1*80$ dB), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle nachts	82

Abbildung 25:	Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main	83
Abbildung 26:	Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main	84
Abbildung 27:	Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15)$ dB = 68 dB; Teilkriterium AK2: NAT: $L_{Amax} = 1*80$ dB), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main nachts	85
Abbildung 28:	Untersuchungsgebiete um den Flughafen Leipzig/Halle.....	92
Abbildung 29:	Untersuchungsgebiete um den Flughafen Köln/Bonn	93
Abbildung 30:	Durchschnittliche Zufriedenheit (inkl. Standardfehler) mit der Wohnumgebung und der Wohnung/dem Haus (n=431-442) ..	98
Abbildung 31:	Durchschnittliche Einschätzung der Bemühungen (inkl. Standardfehler) verschiedener Akteur*innen (n=420-424) ...	101
Abbildung 32:	Durchschnittliche Belästigung (inkl. Standardfehler) durch verschiedene nächtliche Geräuschquellen (n=436-445)	102
Abbildung 33:	Durchschnittliche Schlafstörungen (inkl. Standardfehler) durch Fluglärm (n=439-446)	103
Abbildung 34:	Durchschnittliche Zustimmung (inkl. Standardfehler) zu den Kriterien zugehörigen Aussagen (n=428-435)	106
Abbildung 35:	Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen	108
Abbildung 36:	Durchschnittliche Zufriedenheit (inkl. Standardfehler) mit der Wohnumgebung und der Wohnung/dem Haus (n= 3428- 3432)	114
Abbildung 37:	Durchschnittliche Einschätzung der Bemühungen (inkl. Standardfehler) verschiedener Akteur*innen (n=3425-3289)	116
Abbildung 38:	Durchschnittliche Belästigung (inkl. Standardfehler) durch verschiedene Geräuschquellen in den letzten 12 Monaten (n=436-3436)	117
Abbildung 39:	Durchschnittliche Schlafstörungen (inkl. Standardfehler) durch Fluglärm (n= 3423- 3430)	118
Abbildung 40:	Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen	121
Abbildung 41:	Aufwachwahrscheinlichkeit als Funktion des $L_{pAS,max,innen}$ eines Überflugs + Konfidenzintervall (gepoolte Daten der STRAIN und NORAH-Studien, optimales Modell)	138

List of figures

Figure 1:	Boundary lines of the criteria AK1 to 3 in the area around Cologne/Bonn Airport and location of the respondent addresses	35
-----------	--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Deutsche Flughäfen mit mehr als zwanzigtausend Starts pro Jahr für 2022	43
Tabelle 2:	Übersicht – Nachtflug an größeren Flughafenstandorten	43
Tabelle 3:	Übersicht identifizierter Schallschutzkriterien nach Fluglärmschutzgesetz	45
Tabelle 4:	Übersicht identifizierter Nachtschutzkriterien an deutschen Flughäfen	46
Tabelle 5:	Übersicht – Auf nächtliche Einzelereignisse bezogene Kriterien an den betrachteten deutschen Flughafenstandorten	52
Tabelle 6:	Dokumentation der Literaturrecherche	55
Tabelle 7:	Verkehrszahlen verschiedener Flughäfen für die Jahre 2019 und 2020	64
Tabelle 8:	Anzahl der Flüge aus den FANOMOS-Daten und Fehlerrate für den Flughafen Köln/Bonn im Jahr 2019	68
Tabelle 9:	Anzahl der Flüge aus den FANOMOS-Daten und Fehlerrate für den Flughafen Leipzig/Halle im Jahr 2020	70
Tabelle 10:	Überblick über den Rücklauf der Befragung von Akteur*innen	87
Tabelle 11:	Gegenüberstellung der verschiedenen nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien	88
Tabelle 12:	Vor- und Nachteile der verschiedenen nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien	89
Tabelle 13:	Rücklauf der Bevölkerungsbefragung	95
Tabelle 14:	Soziodemographische Angaben der Stichprobe	96
Tabelle 15:	Mittelwerte und Standardabweichungen zu verschiedenen Variablen	96
Tabelle 16:	Berechnete Geräuschbelastung der Stichprobe (n=449)	97
Tabelle 17:	Kreuztabelle über die Anzahl an Teilnehmenden an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle und das Zutreffen der verschiedenen Kriterien	97
Tabelle 18:	Gebildete Faktoren zum Place Attachment	99
Tabelle 19:	Mittelwerte und Standardabweichungen der gebildeten Faktoren	99
Tabelle 20:	Überblick über deskriptive Statistiken zur Wahrnehmung von und Auswirkungen des Flughafenbetriebs	99

Tabelle 21:	Überblick der deskriptiven Statistiken zu den Variablen der Lärmbewältigung.....	103
Tabelle 22:	Überblick über Vorhandensein verschiedener baulicher Schallschutzmaßnahmen.....	104
Tabelle 23:	Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit mit Beantragungsprozess und den baulichen Schallschutzmaßnahmen.....	105
Tabelle 24:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen (n=439-449).....	107
Tabelle 25:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Aeq,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=425)	109
Tabelle 26:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax1,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=425)	110
Tabelle 27:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren AWR, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=425)	110
Tabelle 28:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax6,Nacht,innen}$, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=425)	110
Tabelle 29:	Varianzaufklärung der vier gerechneten Modelle.....	111
Tabelle 30:	Soziodemographische Angaben der Stichprobe	113
Tabelle 31:	Mittelwerte und Standardabweichungen zu verschiedenen Variablen.....	113
Tabelle 32:	Überblick über deskriptive Statistiken zur Wahrnehmung von und Auswirkungen des Flughafenbetriebs.....	115
Tabelle 33:	Überblick der deskriptiven Statistiken zu den Variablen der Lärmbewältigung.....	118
Tabelle 34:	Überblick über Vorhandensein verschiedener baulicher Schallschutzmaßnahmen.....	119
Tabelle 35:	Deskriptive Statistik zur Zufriedenheit mit dem Beantragungsprozess und den baulichen Schallschutzmaßnahmen.....	120
Tabelle 36:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen (n=3423-3436).....	120
Tabelle 37:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Aeq,Nacht}$, Lärmempfindlichkeit, Alter, Alter ² , SWI und Geschlecht (n=1344)	122
Tabelle 38:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax1,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=1344)	122

Tabelle 39:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren AWR, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=1344)	123
Tabelle 40:	Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax6,Nacht,innen}$, Geschlecht, Alter, Alter ² , Lärmempfindlichkeit (n=1344)	123
Tabelle 41:	Varianzaufklärung der vier gerechneten Modelle.....	123
Tabelle 42:	Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf die Lärmwirkung.....	135
Tabelle 43:	Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf Verteilungsgerechtigkeit	137
Tabelle 44:	Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf die Umsetzbarkeit	139
Tabelle 45:	Übersicht über gesetzliche und freiwillige bauliche Schallschutzmaßnahmen.....	166
Tabelle 46:	Rückmeldungen aus der Bevölkerung zum nachtflyglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterium	167
Tabelle 47:	Rückmeldungen aus der Bevölkerung zu den Schallschutzmaßnahmen*	167
Tabelle 48:	Deskriptive Statistiken separat für die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle (n=74-252)	169
Tabelle 49:	Deskriptive Statistiken separat für die Subgruppen mit und ohne Schallschutz (n=57-259)	170
Tabelle 50:	Deskriptive Statistiken separat für geöffnete und geschlossene Fensterstellung (n=88-295)	171
Tabelle 51:	Übersicht ANCOVAs.....	172
Tabelle 52:	Tests der Zwischensubjekteffekte	173
Tabelle 53:	Paarweise Vergleiche – ANCOVA 1.....	173
Tabelle 54:	Paarweise Vergleiche – ANCOVA 2.....	173
Tabelle 55:	Paarweise Vergleiche – ANCOVA 3.....	173
Tabelle 56:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe des Flughafens Köln/Bonn (n=192-196)	174
Tabelle 57:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe des Flughafens Leipzig/Halle (n=247-253)	175
Tabelle 58:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe mit Schallschutz (n=182-189)	176
Tabelle 59:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe ohne Schallschutz (n=256-260)	176

Tabelle 60:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geöffnet“ (n=291-297)	177
Tabelle 61:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geschlossen“ (n=141-145).....	177
Tabelle 62:	Korrelationen zwischen den relevanten Variablen	179
Tabelle 63:	Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)	183
Tabelle 64:	Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)	186
Tabelle 65:	Ergebnisse der Signifikanzprüfung für den Vergleich zwischen der Korrelation von Ausschlafstörungen und AWR mit den Korrelationen von Ausschlafstörungen und den anderen drei akustischen Kenngrößen	191
Tabelle 66:	Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen der Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle	191
Tabelle 67:	Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit und ohne Schallschutz	192
Tabelle 68:	Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit geöffnetem und geschlossenem Fenster	192
Tabelle 69:	Deskriptive Statistiken separat für die Subgruppen mit und ohne Schallschutz (n=662-1785)	193
Tabelle 70:	Deskriptive Statistiken separat für geöffnete und geschlossene Fensterstellung (n=345-2606)	194
Tabelle 71:	Übersicht ANCOVAs.....	195
Tabelle 72:	Tests der Zwischensubjekteffekte	196
Tabelle 73:	Paarweise Vergleiche – ANCOVA 1.....	196
Tabelle 74:	Paarweise Vergleiche – ANCOVA 2.....	196
Tabelle 75:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe mit Schallschutz (n=1524-1528)	197
Tabelle 76:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe ohne Schallschutz (n=1777-1785)	197
Tabelle 77:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geöffnet“ (n=2596-2606)	198

Tabelle 78:	Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geschlossen“ (n=811-816).....	198
Tabelle 79:	Korrelationen zwischen den relevanten Variablen	200
Tabelle 80:	Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)	202
Tabelle 81:	Ergebnisse der Signifikanzprüfung für den Vergleich zwischen den Korrelationen von Ausschlafstörungen und den akustischen Kenngrößen	204
Tabelle 82:	NORAH - Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit und ohne Schallschutz	204
Tabelle 83:	NORAH - Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit geöffnetem und geschlossenem Fenster	205

Abkürzungsverzeichnis

%HSD	Percentage highly sleep disturbed (Anteil hoch schlafgestörter Personen)
§	Paragraf
η^2	Eta-Quadrat
a.m.	ante meridiem (vormittags)
Abs.	Absatz
AIC	Akaikes Informationskriterium
AK	Abgrenzungskriterien
ANCOVA	Analysis of covariance (Kovarianzanalyse)
ANIMA	Aviation Noise Impact Management through novel Approaches
AWR	Aufwachreaktionen
AzB	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
B	Regressionskoeffizient
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BVerwG	Bundesverwaltungsgericht
bzw.	beziehungsweise
CI	Confidence interval (Konfidenzintervall)
d. h.	Das heißt
dB	Dezibel
DEBATS	Discussion sur les Effets du Bruit des Aéronefs Touchant la Santé (französische Fluglärmwirkungsstudie)
DES	Datenerfassungssystem
df	Freiheitsgrade
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DGM	Digitales Geländemodell
DGM50	Digitales Geländemodell mit einer Gitterweite von 50 m
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
EDDF	ICAO-Flugplatzcode des Flughafens Frankfurt/Main
EDDK	ICAO-Flugplatzcode des Flughafens Köln/Bonn
EDDP	ICAO-Flugplatzcode des Flughafens Leipzig/Halle
et al.	et alia (und andere)
F	F-Statistik
FANOMOS	Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System
FFI	Frankfurter Fluglärmindex
FluLärmG	Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
FNI	Frankfurter Nachtindex
gem.	gemäß

ggf.	gegebenenfalls
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization)
ICBEN	International Commission on Biological Effects of Noise
ID	Identifikationsnummer
IR	Intermittency Ratio
KI	Konfidenzintervall
$L_{Aeq,1h}$	Dauerschallpegel für den Zeitraum von einer Stunde
$L_{Aeq,Nacht}$	Dauerschallpegel für den Zeitraum Nacht (22:00 bis 06:00 Uhr)
L_{Amax}	A-bewerteter Maximalpegel
$L_{Amax1,Nacht}$	A-bewerteter Maximalpegel der von der Flugbewegung in der Nacht mit dem höchsten Maximalpegel überschritten wird
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	A-bewerteter Maximalpegel der von den 6 Flugbewegungen in der Nacht mit den höchsten Maximalpegeln innerhalb des Hauses überschritten wird
L_{Night}	Night level (Nachtpegel); Dauerschallpegel für den Nachtzeitraum (in Deutschland: 22:00 bis 06:00 Uhr)
L_{pAE}	A-bewerteter Schallexpositionspegel
LSB	Lärmschutzbereich
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
M	Mittelwert
MDPI	Molecular Diversity Preservation International
N	Anzahl Teilnehmende
NAT	Number above Threshold; Anzahl von Ereignissen (hier: Flugbewegungen) oberhalb eines definierten Maximalpegel-Schwellenwerts
NORAH	Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health
NSZ	Nachtschutzzone
o. g.	Oben genannten
o. J.	ohne Jahr
OR	Odds Ratio
p	Signifikanzniveau
p.m.	post meridiem (nachmittags)
para.	paragraph
PfB	Planfeststellungsbeschluss
r	Korrelationskoeffizient
R^2	Determinationskoeffizient (Varianzaufklärung)
Rn.	Randnummer
RR	Risk Ratio
S.	Seite
s. o.	Siehe oben
SD	Standard deviation (Standardabweichung)

SE	Standard error (Standardfehler)
sent.	sentence
sog.	sogenannt
SPL	Sound pressure level (Schalldruckpegel)
STRAIN	Work-related Stress Among Health Professionals in Switzerland
SWI	Scheuch-Winkler-Index
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm
TSZ	Tagesschutzzone
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
U.S.	Vereinigte Staaten (United States)
vgl.	vergleiche
vs.	versus
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
z. B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Fluglärm stellt in Flughafenregionen eine zum Teil deutliche Belastung für die betroffene Bevölkerung dar. Deutschlandweit fühlen sich 43 % der Bevölkerung durch Fluglärm belästigt und damit ist Fluglärm nach dem Straßenverkehrslärm die am zweitstärksten belästigende Verkehrslärmquellenart (UBA 2022).

Insbesondere der nächtliche Fluglärm ist mit stressbedingter Gesundheitsbeeinträchtigung assoziiert (Guski et al. 2012). Die negativen Wirkungen des nächtlichen Fluglärms sowie die zentrale Funktion des Schlafs für regenerative und Leistungsfähigkeitserhaltende Prozesse (Banks & Dinges 2007), lassen dem Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsbeeinträchtigendem nächtlichen Fluglärm besondere Bedeutung zukommen. Dies erkennt auch der Bundesgesetzgeber an, indem er in § 29 b Abs. 1 S. 1 des Luftverkehrsgesetzes (LuftVG) ganz grundsätzlich ausführt, dass beim Betrieb von Luftfahrzeugen vermeidbare Geräusche zu verhindern und die Ausbreitung unvermeidbarer Geräusche auf ein Mindestmaß zu beschränken sind, *„wenn dies erforderlich ist, um die Bevölkerung vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Lärm zu schützen“*. S. 2 bezieht diese Pflicht auf die Nacht und ergänzt entsprechend, dass auf die Nachtruhe der Bevölkerung in besonderem Maße Rücksicht zu nehmen ist. Adressaten dieser Pflicht sind die Flugplatzunternehmer, die Luftfahrzeughalter und die Luftfahrzeugführer. Diese Verpflichtung resultiert nicht unmittelbar in ein Verbot nächtlicher Flugbewegungen, vielmehr ist dem Belang des Schutzes der Nachtruhe in der planerischen Abwägung ein besonderes Gewicht einzuräumen.

Eine weitere Ausgestaltung des Schutzgedankens findet sich im Fluglärmschutzgesetz (FluLärmG). Geregelt ist dort, dass in der Umgebung von Flugplätzen die sogenannten Lärmschutzbereiche (LSB) festzusetzen sind. LSB untergliedern sich in zwei Schutzzonen für den Tag-Zeitraum und eine Schutzzone für die Nacht. Die Einteilung in die Schutzzonen erfolgt anhand einer Fluglärmbelastung, die für ein bestimmtes Prognosejahr berechnet wird. Für die Einteilung sind die Werte des § 2 Abs. 2 FluLärmG relevant. Die Werte für die Nacht sind – als Beispiel für zivile Neu- und wesentliche Ausbauflugplätze (ab dem 01.01.2011) – $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und $6 * L_{Amax,innen} = 53$ dB. Die Umhüllende beider Konturen ist die Nachtschutzzone des Lärmschutzbereichs in einer Flughafenregion. Rechtsfolgen dieser Einteilung sind zum einen bauliche Beschränkungen aber auch ggf. die Erstattungsfähigkeit baulicher Schallschutzmaßnahmen für die dort gelegenen Immobilien (den Wohneinheiten). Anspruchsberechtigt sind die Eigentümer*innen dieser Wohneinheiten. Sie können baulichen Schallschutz für die Schlafräume als Schutzmaßnahme gegen nächtlichen Fluglärm erstattet bekommen. Rechtsfolge ist auch hier nicht ein Verbot nächtlicher Flugbewegungen.

Vor diesem Hintergrund hat das Umweltbundesamt (UBA) das Forschungsvorhaben „Vergleich vorhandener Verfahren zur Beurteilung von nächtlichem Fluglärm und für Entscheidungen über baulichen Schallschutz für Schlafräume“ vergeben. Ziel dieses Vorhabens war es, vorhandene Verfahren zur Beurteilung des nächtlichen Fluglärms an Flughäfen zu analysieren und abschließend Empfehlungen für ein geeignetes nachfluglärm-bezogenes Kriterium zur Abgrenzung eines Nachtschutzgebiets abzuleiten. Dabei sollten insbesondere ereignisbezogene Kenngrößen, wie der Frankfurter Nachtindex (FNI) oder die Anzahl von Flugbewegungen oberhalb eines bestimmten Maximalpegel-Schwellenwertes (*Number above Threshold, NAT*) betrachtet werden.

In diesem Forschungsprojekt wurden drei Flughafenstandorte mit verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Kriterien zur Abgrenzung von Nachtschutzgebieten ausgewählt. Die verschiedenen Arbeitsschritte, aus denen im Gesamten die Empfehlungen abgeleitet wurden, beinhalteten Literaturanalysen mit unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten, eine Bevölkerungsbefragung an zwei der drei ausgewählten Flughafenstandorte, eine Re-Analyse vorhandener Daten (Re-

Analyse von NORAH-Daten; Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health), eine Befragung von verschiedenen Akteur*innen sowie eine Bewertung der Lärmwirkung, Verteilungsgerechtigkeit und Umsetzbarkeit der ereignisbezogenen nachfluglärm-bezogener Gebietsabgrenzungskriterien.

Literaturanalysen

Es wurden insgesamt drei Literaturrecherchen und -analysen zu den folgenden Themenbereichen vorgenommen:

- ▶ Rechtlicher Rahmen
- ▶ Flughafenstandorts-bezogene Recherche nach Gebietsabgrenzungskriterien in Deutschland
- ▶ Studien zur Wirkung des nächtlichen Fluglärms in Bezug auf verschiedene akustische Kenngrößen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche

Studien zur Wirkung des nächtlichen Fluglärms in Bezug auf verschiedene akustische Kenngrößen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche

Eine Literaturanalyse sollte untersuchen, ob ggf. Lärmwirkungsstudien bereits Verknüpfungen zu nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriterien für Nachtschutzgebiete herstellen oder zumindest verschiedene akustische Kenngrößen neben dem nächtlichen Dauerschallpegel behandeln. Hierfür wurden englische und deutsche Artikel, die ab 2015 veröffentlicht wurden, berücksichtigt.

Basner und McGuire (2018) führten in einem systematischen Review für die WHO Meta-Analysen zu lärmbedingten Schlafstörungen durch, unter anderem auch für Fluglärm. Sie behandelten in ihrem Review Wirkungsstudien sowohl bezogen auf ereignisbezogene Maximalpegel – die Aufwachwahrscheinlichkeit je Maximalpegel (L_{ASmax}) eines Ereignisses (bei Fluglärm: eines Überflugs) – als auch bezogen auf die Geräuschbelastung während einer ganzen Nacht (L_{night}).

Ein systematisches Review fand eine erhöhte Aufwachwahrscheinlichkeit von $OR = 1,35$ ($KI=1,22-1,50$) pro 10-dB-Anstieg des ereignisbezogenen Kriteriums L_{ASmax} für Fluglärm. Eine zweite Expositions-Wirkungsfunktion bzgl. selbstberichteter Schlafstörungen und L_{night} ergab ebenfalls eine erhöhte Aufwachwahrscheinlichkeit pro 10 dB Anstieg in L_{night} ($OR=1,94$; $KI=1,64-2,33$), allerdings nur, wenn die Frage nach selbstberichteten Schlafstörungen eine Referenz zum Fluglärm enthielt. Zwei weitere Reviews, die neuer Studien einschlossen (Kranjec et al. 2019; Benz et al. 2021), fanden ähnliche Ergebnisse.

Des Weiteren wurden einige Originalstudien identifiziert, die sich jedoch im Hinblick auf den gewählten nächtlichen Zeitraum und das genutzte Kriterium voneinander unterscheiden. Die Kriterien umfassen hierbei insbesondere L_{night} und L_{Amax} sowie Aufwachreaktionen.

Mehrere Studien fanden einen Zusammenhang zwischen L_{night} und verschiedenen Lärmwirkungsvariablen. Beispielsweise war L_{night} assoziiert mit selbstberichteten Schlafstörungen, schlechterer Schlafqualität und Einschlafschwierigkeiten (Rocha et al. 2019), einer kurzen Schlafdauer (Nassur et al. 2017) und einem erhöhten Risiko für Bluthochdruck (Evrard et al. 2017).

L_{Amax} steht in Zusammenhang mit selbstberichteten Aufwachreaktionen (Smith et al. 2020). Allerdings konnte in derselben Studie kein Zusammenhang zwischen physiologisch-gemessenen Aufwachreaktionen und L_{Amax} gefunden werden, was möglicherweise auch mit der geringen

Stichprobe zusammenhängt (Smith et al. 2020). Eine andere Studie fand ein erhöhtes Schlaganfallrisiko bei mehr als sechs Flugereignissen in der Nacht von über 50 dB L_{Amax} (Seidler et al. 2018).

Standortauswahl

Die Standortauswahl hatte zum Ziel, einzelereignisbezogene Abgrenzungskriterien für ein Nachtschutzgebiet anzuwenden und zu vergleichen. Hierbei wurden Untersuchungsgebiete für eine Stichprobe an drei Verkehrsflughäfen in Deutschland ermittelt.

Aus den 16 internationalen Flughäfen und ca. 20 Regionalflughäfen in Deutschland sollten drei Flughäfen ausgewählt werden. Kriterien für die Auswahl waren hierbei:

1. Vorhandensein einer relevanten Fluglärmbelastung innerhalb des Nachtzeitraums (Zeitraum nach FluLärmG: 22:00-06:00 Uhr)
2. Vorhandensein von einzelereignisbezogenen Kenngrößen für Nachtschutzgebiete
3. Deutlich unterschiedliche nächtliche Geräuschbelastung (sowohl hinsichtlich zeitlicher Verteilung als auch Intensität) in den betrachteten Gebieten bei vergleichbarem Mittelungsspiegel.

Für die Auswahl wurden die Nachflugbeschränkungen an den internationalen Flughäfen in Deutschland recherchiert. Aus der Auswahl an Flughäfen mit Nachtflugverkehr innerhalb der gesetzlich geregelten Nachtzeit (22:00 bis 06:00 Uhr) wurden zwei Flughäfen mit einzelereignisbezogenen Kriterien zur Abgrenzung von Nachtschutz- bzw. auf die Nacht bezogenen Betrachtungsgebieten ausgewählt, um diese vergleichen zu können. Diese sind der Flughafen Leipzig/Halle mit Frachtflug nachts und Frankfurt/Main mit Flugverkehr in den Nachtrandstunden. Als dritter Flughafen wurde Köln/Bonn ausgewählt, da hier zur Abgrenzung des Nachtschutzgebiets die Methode des FluLärmG angewendet wird und dort eine relevante Belastung durch Nachtflug vorhanden ist. Die folgenden Auflistungen fassen die gewählten Standorte sowie die verwendeten Kriterien zusammen:

Frankfurt/Main:

- ▶ Zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium (FNI) für die Definition eines Betrachtungsgebiets für ein Monitoring des nächtlichen Fluglärms und zur Maßnahmenbewertung
- ▶ Nachtflugverkehr in den Randstunden sonst Nachtflugverbot → Zahl der Nachtflugbewegungen vergleichbar mit Zahl der Nachtflugbewegungen der anderen betrachteten Flughäfen
- ▶ Hauptsächlich Passagierverkehr in den Nachtrandstunden
- ▶ Deutliche Unterscheidbarkeit hinsichtlich der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien durch Priorisierung des FNI

Leipzig/Halle:

- ▶ Zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium (AWR) und ein NAT-Kriterium
- ▶ Ausschließlich Frachtflugverkehr in den Nachtstunden mit 50 %-Anteil an den gesamten Flugbewegungen
- ▶ Anzahl der Nachtflugbewegungen vergleichbar mit denen an den anderen Untersuchungsstandorten

Köln/Bonn:

- ▶ Kein zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium
- ▶ Kein Nachtflugverbot
- ▶ Frachtflugverkehr in den Nachtstunden
- ▶ Anzahl der Nachtflugbewegungen vergleichbar mit denen an den anderen Untersuchungsstandorten

Im nächsten Schritt wurden an den drei ausgewählten Flughäfen Untersuchungsgebiete umgrenzt. Für die Selektion der Gebiete wurden Umgrenzungslinien für alle Abgrenzungskriterien für Nachtschutzgebiete, die an den Flughäfen angewendet werden, berechnet. In Bezug auf die im Weiteren zu vergleichenden Abgrenzungskriterien (AK) sollten die Untersuchungsgebiete teils innerhalb bzw. außerhalb der Umgrenzungslinien für die verschiedenen Kriterien liegen.

Folgende Kriterien wurden berechnet:

- ▶ AK1: Nachtschutzgebiet nach FluLärmG durch die Umhüllende der Konturen 50 dB $L_{Aeq,Nacht}$ und NAT: $L_{A_{Max,innen}} \geq 6*53$ dB („FluLärmG-Kriterium“)
- ▶ AK2: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch die Umhüllende der Konturen $AWR \geq 1$ und NAT: $L_{A_{Max,außen}} \geq 1*80$ dB („Leipzig/Halle-Kriterium“)
- ▶ AK3: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch das Gebiet, in dem im Mittel mehr als 0,75 zusätzlich durch Fluglärm induzierte Aufwachreaktionen ($AWR \geq 0,75$) zu erwarten sind („FNI-Kriterium“).

Ermittlung der Immissionssituation

Zur Ermittlung der Immissionssituationen wurden Berechnungen nach dem Verfahren der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB 2008“ durchgeführt. Zudem erfolgte die Ermittlung von Aufwachreaktionen innerhalb des Gebietes entsprechend der im FNI genutzten Expositions-Wirkungs-Beziehungen auf Basis der Maximalschallpegelverteilung sowie nach dem AWR-Kriterium des Flughafens Leipzig/Halle (Basner et al. 2005).

Als Datengrundlage für die Berechnungen wurden für die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle FANOMOS-Daten (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) über die Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS; 2021) beschafft und verwendet. FANOMOS-Daten sind aufbereitete Radardaten, die den Flugverlauf eines Luftfahrzeugs beschreiben. Für den Flughafen Frankfurt/Main erfolgte keine Fluglärmrechnung, weil hierfür eine Re-Analyse der umfangreichen Daten der NORAH-Studie vorgesehen war. Bereits in der NORAH-Studie auf der Grundlage von FANOMOS-Daten berechnete Maximalpegelstatistiken und Mittelungspegel standen für die vorliegende Studie zur Verfügung.

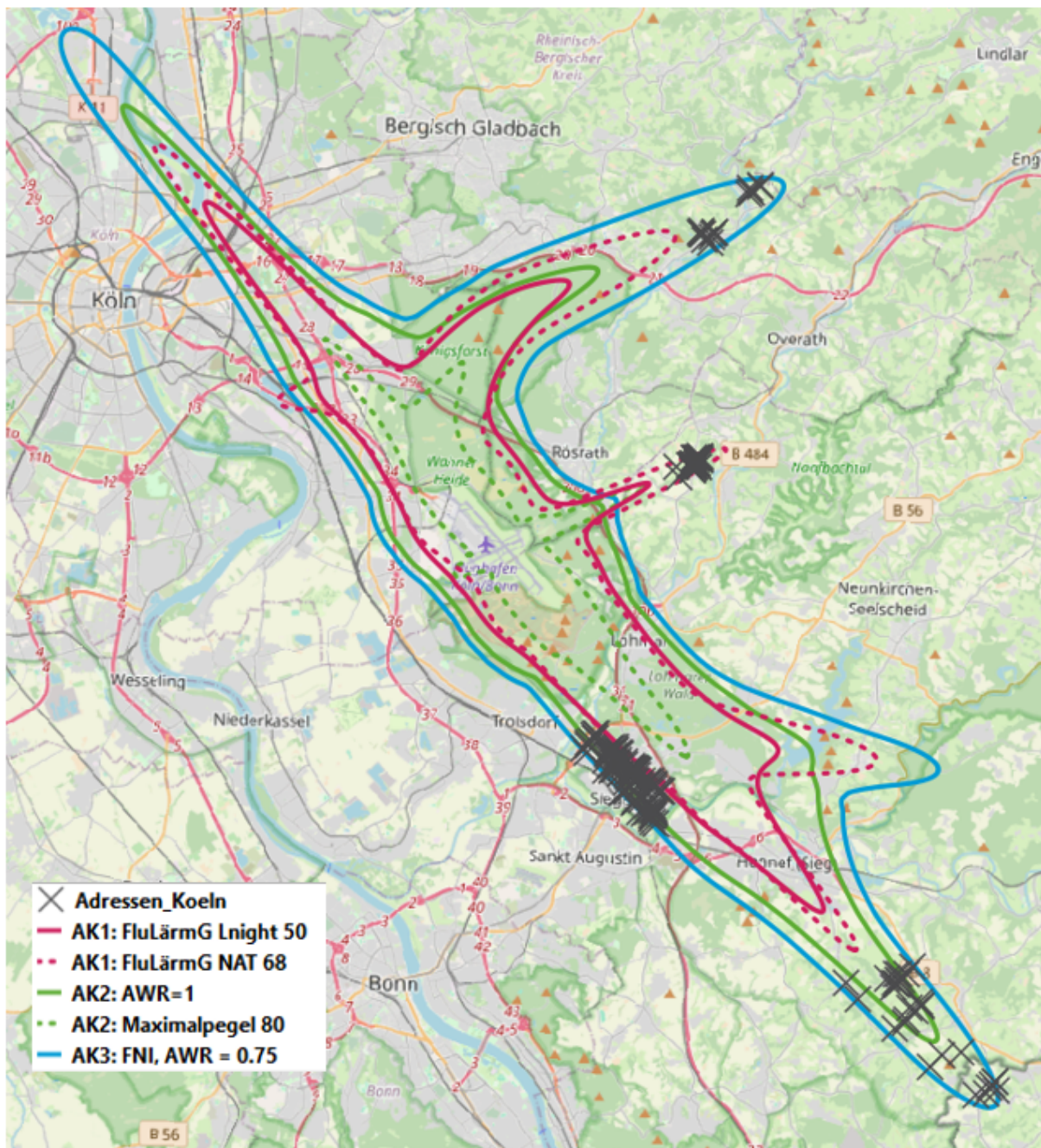
Bei den Berechnungen wurden folgende Bewertungskriterien (Beurteilungsverfahren) zur Umgrenzung unterschiedlicher Nachtschutzgebiete angewendet:

- ▶ Mittelungspegel L_{Aeq} für den Zeitraum Nacht (22:00-06:00 Uhr) entsprechend FluLärmG für eine Abgrenzung nach AK1;
- ▶ Anzahl ereignisbezogener Aufwachreaktionen (AWR) für eine Abgrenzung nach AK2 und AK3;
- ▶ Inverses NAT-Kriterium (Maximalpegel $L_{A_{max}}$, der von einem Ereignis je Nacht überschritten wird) für eine Abgrenzung nach AK2;

- Inverses NAT-Kriterium (Maximalpegel L_{Amax} , der von sechs Ereignissen je Nacht überschritten wird) für eine Abgrenzung nach AK1.

Mit diesen Bewertungsverfahren können die Konturen der drei bereits angesprochenen Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 gebildet werden. Die räumlichen Umgrenzungslinien für die Abgrenzungskriterien wurden im Shape-Format zur Auswahl der Untersuchungsgebiete und im Weiteren auch zur Identifizierung der innerhalb eines Untersuchungsgebiets verfügbaren Adressen verwendet. Beispielhaft sind die Umgrenzungslinien und die Lage der Adressen von Teilnehmenden exemplarisch für den Flughafen Köln/Bonn in Abbildung 1 dargestellt. Da die Abgrenzungskriterien AK1 und AK2 aus der Überlagerung von zwei einzelnen Perimetern gebildet werden, sind jeweils beide Kriterien einzeln (als durchgezogene und gestrichelte Linie derselben Farbe) dargestellt. Das Abgrenzungskriterium selbst wird dann aus der Umhüllenden der durchgezogenen und gestrichelten Linie derselben Farbe gebildet.

Abbildung 1: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn und Lage der Befragten-Adressen



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Mit Hilfe der anonymisierten Adressdaten der Teilnehmenden wurden individuelle Pegelraten (Mittelungspegel, NAT-Kriterium, Aufwachreaktionen etc.) entsprechend obiger Auflistung berechnet. Die resultierenden Verteilungen der berechneten Werte je Flughafen sind dem Untersuchungsbericht zu entnehmen.

Befragung von Akteur*innen

Um einen Einblick in die Erfahrungen und Einschätzungen von Personen zu erhalten, die in ihrem beruflichen Umfeld bzw. in der Praxis mit nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien befasst sind, wurde eine Befragung von relevanten Akteur*innen durchgeführt. Dabei

kamen Vertreter*innen der Flughafengesellschaften, Luftverkehrsgesellschaften, Immissions-schutzbehörden, Ministerien, Städte und Kommunen, sowie Fluglärmkommissionen oder Initia-tiven zum Schutz vor Fluglärm infrage. Für jeden der drei ausgewählten Flughäfen (Köln/Bonn, Leipzig/Halle, Frankfurt/Main) sollten 10 Akteur*innen befragt werden. Darüber hinaus wurden auch Akteur*innen auf bundesweiter Ebene in die Befragung einbezogen.

Für die Befragung wurde ein Fragebogen entwickelt und für die drei Flughäfen sowie für die bundesweiten Akteur*innen angepasst. Dazu gehörte unter anderem die Berücksichtigung des jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriteriums für Nachtschutz- bzw. Betrachtungsgebiete: Flughafen Köln/Bonn und das FluLärmG-Kriterium für Bestandsflughäfen ($L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57$ dB), Flughafen Leipzig/Halle und das Leipzig/Halle-Kriterium ($AWR \geq 1$ und NAT: $L_{Amax,außen} = 1*80$ dB), sowie Flughafen Frankfurt/Main und der FNI ($AWR \geq 0,75$). Der Fragebogen befasste sich unter anderem mit folgenden Themen: Erfah-rungen mit ereignisbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien, vorhandene bauliche Schallschutz-maßnahmen und Verbesserungsbedarfen. Die Befragung lief von Juni 2022 bis April 2023. Bei den kontaktierten Akteur*innen bestand teilweise Unklarheit über die Zuständigkeiten, was teil-weise zu einer Ablehnung der Teilnahme führte. Insgesamt liegen 10 ausgefüllte Fragebögen vor.

Teilnehmende wurden u. a. gebeten sich bei Paarvergleichen, bei denen jeweils zwei verschie-dene nachfluglärm-bezogene Gebietsabgrenzungskriterien gegenübergestellt wurden, sich für eins zu entscheiden. Am häufigsten entschieden sich die Teilnehmenden für das Kriterium nach dem FluLärmG für neu bzw. wesentlich geänderte Flughäfen. Gerechtigkeit und ein angemesse-ner Schutz vor nächtlichem Fluglärm wurden als Vorteile allen nachfluglärm-bezogenen Ge-bietsabgrenzungskriterien zugeschrieben. Die Kosten wurden beispielsweise beim FNI und dem Leipzig/Halle-Kriterium als nachteilig genannt. Insgesamt sind die Antworten recht heterogen und es lässt sich auch aufgrund der geringen Stichprobe keine verallgemeinerbaren Aussagen treffen. Die Ergebnisse können jedoch erste Hinweise darauf geben, wie verschiedene Akteur*in-nen die untersuchten nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien in der Praxis ein-schätzen.

Bevölkerungsbefragung und Re-Analyse von NORAH-Daten

Die Bevölkerungsbefragung um die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle hatte das Ziel, die Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms sowie die Zufriedenheit mit vorhandenen baulichen Schallschutzmaßnahmen zu erfassen. Weiterhin sollten die Ergebnisse in die Bewertung der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien einfließen.

Anhand von Meldeamtsdaten wurde eine Zufallsstichprobe der in den ausgewählten Untersu-chungsgebieten lebenden erwachsenen Bevölkerung gezogen und postalisch um Teilnahme ge-beten. Es sollten 100 Personen je Flughafenstandort befragt werden ($n=200$). Der Fragebogen für die Bevölkerungsbefragung umfasste unter anderem Themen wie die Wohnumgebung und Wohnbedingungen, fluglärmbedingte Belästigung und Schlafstörungen, nicht-akustische Fakto-ren wie Einstellung zur Geräuschquelle und Lärmempfindlichkeit, Vorhandensein und Zufrie-denheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen, sowie soziodemographische Angaben (z. B. Al-ter und Geschlecht).

Die Bevölkerungsbefragung fand im Januar und Februar 2023 statt und es nahmen insgesamt 449 Personen teil, wovon 253 im Umkreis des Flughafens Leipzig/Halle und 196 im Umkreis des Flughafens Köln/Bonn leben. Die Response-Rate liegt bei 22,9 % und damit im Bereich von Response-Raten aus anderen Studien (z. B. Saß et al. 2017). Im Durchschnitt waren die Teilneh-menden 57,5 Jahre ($SD = 15,74$) alt und der Anteil an Teilnehmerinnen und Teilnehmern war in etwa gleich hoch (50,1 % männlich, 49,9 % weiblich, 0 % divers).

Neben deskriptiven Statistiken wurden Korrelationsanalysen gerechnet, um insbesondere die Zusammenhänge zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen zu untersuchen. Die akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR, $L_{Amax6,Nacht,innen}$) korrelieren alle sehr hoch miteinander. Insgesamt zeigen die AWR im Vergleich zu den anderen drei akustischen Kenngrößen die stärksten Zusammenhänge mit den Schlafstörungsvariablen (Ein-, Durch- und Ausschlafen). Die Unterschiede in der Korrelation sind jedoch nicht statistisch signifikant.

Zur Kontrolle möglicher Einflussfaktoren auf Ausschlafstörungen wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Es wurden vier multiple Regressionsanalysen (Modelle) gerechnet. Jedes Modell enthielt eine der vier akustischen Kenngrößen sowie zusätzliche Prädiktoren und die beurteilten Ausschlafstörungen als vorherzusagende Kriteriumsvariable. Durch diese Regressionsanalysen sollte herausgefunden werden, welche akustische Kenngröße oder welches Modell, unter Kontrolle weiterer Faktoren, die höchste Gesamtvarianz in Bezug auf die selbst-berichteten Ausschlafstörungen aufklärt.

Neben den vier akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR, $L_{Amax6,Nacht,innen}$) wurden Geschlecht, Alter und Lärmempfindlichkeit als Prädiktoren in die multiple Regressionsanalysen aufgenommen. Die Korrelationen und multiplen Regressionen zeigen, dass die AWR einen stärkeren Zusammenhang mit Schlafstörungen, insbesondere den Ausschlafstörungen, im Vergleich zu den übrigen drei akustischen Kenngrößen aufweisen. Die multiplen Regressionsanalysen zeigen jedoch auch, dass die vier Modelle, jeweils basierend auf einer akustischen Kenngröße, etwa die gleiche Varianz aufklären.

Zusätzlich zu den Bevölkerungsbefragungen an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle wurden Re-Analysen mit vorhandenen Daten aus der NORAH-Studie, insbesondere dem Studienteil zur Lärmbelästigung und Lebensqualität (Modul 1), durchgeführt. Die NORAH-Studie wurde hauptsächlich im Umkreis des Flughafens Frankfurt/Main durchgeführt und es wurden Daten in den Jahren 2011, 2012 und 2013 erhoben. Die Re-Analyse erfolgte mit Daten der 1. Panelwelle des Moduls 1, die vor Einführung eines partiellen Nachtflugverbots von 23:00 bis 05:00 Uhr. Es wurden nur jene Personen in die Analyse aufgenommen, bei denen mindestens eines der ausgewählten nachfluglärmbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien zutraf ($n=3.436$).

Für die Re-Analysen wurden die folgenden Variablen aus dem Datensatz verwendet: Wohnumgebung und Wohnbedingungen, Belästigung und Schlafstörungen durch Fluglärm, nicht-akustische Faktoren wie Einstellungen zum Luftverkehr, Vertrauen in Verantwortliche sowie Lärmempfindlichkeit, das Vorhandensein und die Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen und schließlich soziodemographische Angaben.

Im Durchschnitt waren die Teilnehmenden 50,9 Jahre alt ($SD = 15,9$) und das Verhältnis von männlichen und weiblichen Teilnehmenden war nahezu ausgeglichen (50,9 % männlich, 49,1 % weiblich, 0 % divers).

Auch bei den NORAH-Daten wurden neben den deskriptiven Statistiken Korrelationsanalysen gerechnet. Die Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR, $L_{Amax6,Nacht,innen}$) fallen alle sehr hoch aus. Deutlich geringer sind hingegen die Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungen, auch wenn die Zusammenhänge statistisch signifikant sind. Es wurden ebenfalls multiple Regressionsanalysen gerechnet, um für mögliche weitere Einflussfaktoren zu kontrollieren. Dazu wurden die gleichen Prädiktoren in die Analysen aufgenommen wie für die Bevölkerungsbefragung an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle. Es zeigt sich, dass die vier Modelle mit den jeweiligen akustischen Kenngrößen im Vergleich eine ähnliche Varianzaufklärung vorweisen; wobei diese Varianzaufklärung in der NORAH-Studie am Flughafen Frankfurt/Main geringer ausfällt als bei den Daten der Bevölkerungsbefragung an den anderen beiden Flughäfen.

Beurteilung der drei untersuchten nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien und Handlungsempfehlungen

Die drei maximalpegelbezogenen Abgrenzungskriterien (FluLärmG-, FNI-, Leipzig/Halle-Kriterien) stehen stellvertretend für drei unterschiedliche Arten von Kriterien: Das neben dem nächtlichen Dauerschallpegel im FluLärmG eingeführte ereignisbezogene Abgrenzungskriterium steht für NAT-Kriterien, die eine bestimmte Anzahl an hinzunehmenden Maximalpegelereignissen festlegen; das Abgrenzungskriterium des Frankfurter Fluglärmindex (FNI) steht für Kriterien, die sich an Aufwachreaktionen bzw. Aufwachwahrscheinlichkeiten orientieren und das Abgrenzungskriterium des Flughafens Leipzig/Halle stellt eine Kombination aus beidem dar (Aufwachreaktionen und NAT-Kriterium). Für die Bewertung dieser drei Ansätze zur Beurteilung nächtlichen Fluglärms sind zunächst Kriterien festgelegt worden, um einen objektiven Vergleich zu ermöglichen. Dieser Vergleich ist wirkungsbasiert und berücksichtigt die Auswahlgerechtigkeit. So sind Lärmwirkung und Verteilungsgerechtigkeit die zwei grundlegenden Vergleichskategorien. Zusätzlich wird die Umsetzbarkeit als Bewertungskriterium genutzt, um auch die praktische Dimension der Anwendbarkeit einzubeziehen.

13 Kriterien umfasst der Vergleich. Diese sind:

In der Kategorie Lärmwirkung:

1. *Berücksichtigung der bereits in niedrigen Maximalpegelbereichen ausgelösten physiologischen Reaktionen,*
2. *Berücksichtigung der Anzahl der Ereignisse,*
3. *Berücksichtigung der Uhrzeit, zu der ein Lärmereignis stattfindet,*
4. *Berücksichtigung langfristiger Gesundheitswirkungen.*

In der Kategorie Verteilungsgerechtigkeit:

5. *Zeitliche Verteilung,*
6. *Räumliche Verteilung,*
7. *Sozio-strukturelle Verteilung,*
8. *Grundbedarf,*
9. *Gleichheit im Sinne des „equal outcome“,*
10. *Proportionalität im Sinne der Kompensation erlittener Beeinträchtigungen/ Belastungen.*

In der Kategorie Umsetzbarkeit:

11. *der mit der Anwendung eines Kriteriums einhergehende Aufwand,*
12. *die Übertragbarkeit auf alle Flugplätze in Deutschland,*
13. *die Auswirkungen auf zur Verfügung stehende finanzielle Ressourcen.*

Als Ergebnis dieser Bewertung schneiden Aufwachreaktionen als ereignisbezogenes Gebietsabgrenzungskriterium insgesamt deutlich besser ab als NAT-Kriterien, um die Bevölkerung vor den negativen Auswirkungen durch Nachtfluglärm zu schützen.

Daher ist zu empfehlen, Aufwachreaktionen bzw. Aufwachwahrscheinlichkeiten als ereignisbezogenes Abgrenzungskriterium für den Schutz vor nächtlichem Fluglärm zu etablieren. Zudem wird empfohlen, für alle deutschen Flugplätze eine einheitliche Expositions-Wirkungs-Kurve festzulegen. Eine verwendbare standortübergreifende Expositions-Wirkungsbeziehung aus Daten, die an den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt/Main gewonnen wurden, wurde im Rahmen des EU-Projekts ANIMA (Aviation Noise Impact Management through novel Approaches; <https://anima-project.eu>) vorgelegt (DLR 2021; Hauptvogel et al. 2021a).

In Ergänzung dazu wird darauf hingewiesen, dass ein Verzicht auf (zusätzliche) Dauerschallpegelkriterien nicht angezeigt ist. Diese haben auch weiterhin ihre Berechtigung und sollten zum Schutz vor weiteren langfristigen Gesundheitsfolgen nächtlichen Fluglärms zusätzlich zu AWR-Kriterien zur Anwendung kommen.

In Erkenntnis dessen, dass die Abwägung des durch nächtlichen Fluglärm verursachten Gesundheitsrisikos einem gesellschaftlichen und letztendlichen gesetzgeberischen Prozess unterliegt, wird zudem vorgeschlagen, eine Aufwachreaktion (AWR = 1) als Schwellenwert des AWR-Kriteriums festzulegen. Dies bedeutet, dass Gebiete, in denen im Durchschnitt pro Nacht eine oder mehr AWR durch Fluglärm hervorgerufen werden, in der Nachtschutzzone liegen.

Summary

Aircraft noise represents a significant burden for the affected population in airport regions. Nationwide, 43% of the population feels annoyed by aircraft noise, making it the second most annoying traffic noise source after road traffic noise (UBA 2022).

Night-time aircraft noise is associated with stress-related health impairments (Guski et al. 2012). The negative effects of night-time aircraft noise, as well as the central function of sleep for regenerative and performance-sustaining processes (Banks & Dinges 2007), give special importance to the protection of the population from health impairing night-time aircraft noise. The federal legislator also recognizes this by stating in § 29 b para. 1 sent. 1 of the Aviation Act (LuftVG) that avoidable noise must be prevented during aircraft operations and the spread of unavoidable noise must be kept to a minimum "*if necessary to protect the population from dangers, significant disadvantages, and significant annoyances caused by noise*". Sent. 2 applies this obligation to the night and adds accordingly that consideration must be given to the population's night-time rest. The addressees of this obligation are the airport operators, airlines, and aircraft pilots. This obligation does not immediately result in a ban of night-time flight operations; rather, the importance of protecting night-time rest is to be given special weight in the planning assessment.

Another formulation of the protection concept can be found in the Aircraft Noise Protection Act (FluLärmG). It stipulates that so-called noise protection areas (LSB) must be established near airports. LSBs are divided into two protection zones for the daytime period and one protection zone for the night. The classification into the protection areas is based on a (predicted) calculated aircraft noise exposure, which is calculated for a specific forecast year. The values of § 2 para. 2 FluLärmG are relevant for the classification. The values for the night are - as an example for new civil airports and airports undergoing major expansion (from January 1, 2011) - $L_{Aeq,night} = 50$ dB and $6 * L_{Amax,indoor} = 53$ dB. The envelope of both contours, which has a night-time noise exposure above these values, is the respective night protection zone of the noise protection area of an airport region. The legal consequences of this classification are, on the one hand, building restrictions, but also potentially the reimbursement of structural sound insulation measures for the properties located within the area (the residential units). The owners of these residential units are entitled to a claim. They can be reimbursed for structural sound insulation of the bedrooms as a protective measure against night-time aircraft noise. Here, too, the legal consequence is not a ban on night-time flight movements.

For this reason, the German Environment Agency (UBA) commissioned the research project "Comparison of existing methods for the assessment of night-time aircraft noise and for decisions on structural sound insulation for bedrooms." The aim of this project was to analyse existing methods for the assessment of night-time aircraft noise at airports and to derive recommendations for a suitable night-time aircraft noise-related criterion for demarcating a night-time protection area. In particular, criteria based on individual events such as the Frankfurt Night Index (FNI) or the number of aircraft movements above a certain maximum sound level threshold (*Number above Threshold, NAT*) were to be considered.

In this research project, three airport locations with different night-time noise criteria for demarcating night protection areas were selected. The various steps, from which the overall recommendations were derived, included literature analyses with different thematic focuses, a population survey at two of the three selected airport locations, a re-analysis of existing data (re-analysis of NORA data; Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health), a survey of various stakeholders, and an assessment of the noise impact, distributional fairness, and feasibility of the event-related night-time noise criteria.

Literature analyses

A total of three literature searches and analyses were conducted on the following topics:

- ▶ Legal framework
- ▶ Airport location-specific research on area demarcation criteria in Germany
- ▶ Studies on the effects of night-time aircraft noise in relation to various acoustic parameters of night-time air traffic noise

Studies on the effects of night-time aircraft noise in relation to various acoustic parameters of night-time air traffic noise

A literature analysis was conducted to examine whether noise impact studies have already established connections to night-time aircraft noise-related demarcation criteria for night protection areas, or at least address various acoustic parameters in addition to the night-time equivalent continuous sound level. English and German articles published from 2015 onwards were considered for this purpose.

In a systematic review for the WHO, Basner and McGuire (2018) carried out meta-analyses of noise-induced sleep disturbances, including those related to aircraft noise. In their review, they analysed impact studies related to event-related maximum levels – the probability of awakening per maximum level (L_{ASmax}) of an event (in the case of aircraft noise: a flyover) – as well as the noise exposure during an entire night (L_{night}).

A systematic review found an increased probability of awakening of $OR = 1.35$ ($CI=1.22-1.50$) per 10 dB increase in the event-related criterion L_{ASmax} for aircraft noise. A second exposure-response function regarding self-reported sleep disturbance and L_{night} also showed an increased probability of awakening per 10 dB increase in L_{night} ($OR=1.94$; $CI=1.64-2.33$), but only when the question about self-reported sleep disturbance referred to aircraft noise. Two additional reviews that included more recent studies (Kranjec et al. 2019; Benz et al. 2021) found similar results.

Furthermore, several original studies were identified, which, however, differ from each other in terms of the chosen night-time period and the criterion used. The criteria include in particular L_{night} and L_{Amax} as well as awakening reactions.

Several studies found a relationship between L_{night} and various noise effect variables. For example, L_{night} was associated with self-reported sleep disturbances, poorer sleep quality, and difficulties falling asleep (Rocha et al. 2019), a shorter sleep duration (Nassur et al. 2017), and an increased risk of high blood pressure (Evrard et al. 2017).

L_{Amax} is associated with self-reported awakening reactions (Smith et al. 2020). In the same study, no association was found between physiologically measured awakening reactions and L_{Amax} (Smith et al. 2020). This could be due to the small sample size. Another study found an increased risk of stroke with more than six overfly events during the night exceeding 50 dB L_{Amax} (Seidler et al. 2018).

Site selection

The site selection aimed to apply and compare event-related criteria for a night protection area. For this purpose, study areas were identified for a sample at three commercial airports in Germany.

Three airports were to be selected from the 16 international airports and approx. 20 regional airports in Germany. The criteria for the selection were as follows:

1. Presence of relevant aircraft noise exposure during the night-time period (period according to the Aircraft Noise Protection Act (FluLärmG; 22:00-06:00 hours)
2. Existence of event-related criteria for night protection areas
3. Different night-time noise exposure (both in terms of temporal distribution and intensity) in the considered areas with comparable average levels.

The night flight restrictions at international airports in Germany were researched for the selection. From the selection of airports with night flight operations within the legally regulated night-time period (10:00 p.m. to 06:00 a.m.), two airports with event-related criteria for night protection areas were chosen for comparison. These are Leipzig/Halle Airport with night-time cargo flights and Frankfurt/Main with flight operations during night-time off-peak hours. Cologne/Bonn was chosen as the third airport, as the method of the Aircraft Noise Protection Act (FluLärmG) is used to define the night protection area, and there is a relevant night-time flight exposure. The following lists summarize the selected locations and the criteria used:

Frankfurt/Main:

- ▶ Additional event-related criterion (FNI) for the definition of an observation area for the monitoring of nocturnal aircraft noise and ranking of noise abatement measures
- ▶ Night-time flight operations during off-peak hours; otherwise, a night flight ban → Number of night-time flight movements comparable to the number of night-time flight movements at the other airports
- ▶ Mainly passenger traffic during night-time off-peak hours
- ▶ Clear differentiation in terms of night-time flight noise-related area criteria by prioritizing the FNI

Leipzig/Halle:

- ▶ Additional event-related criterion (AWR) and a NAT criterion
- ▶ Solely cargo flight operations during night-time hours with a 50% share of total flight movements
- ▶ Number of night-time flight movements comparable to those at the other study locations

Cologne/Bonn:

- ▶ No additional event-related criterion
- ▶ No night flight ban
- ▶ Cargo flight operations during night-time hours
- ▶ Number of night-time flight movements comparable to those at the other study locations

In the next step, study areas were selected at the three selected airports. For the area selection, boundary lines were calculated for all criteria for night protection areas applied at the airports. With regard to the demarcation criteria (AK) to be compared further, the study areas should partly lie within or outside the boundary lines for the different criteria.

The following criteria were calculated:

- ▶ AK1: Night protection area according to the Aircraft Noise Protection Act by the envelope of the contours 50 dB $L_{Aeq,night}$ and NAT: $L_{Amax,indoor} \geq 6*53$ dB ("FluLärmG criterion")
- ▶ AK2: Night protection area demarcated by the envelope of the contours $AWR \geq 1$ and NAT: $L_{Amax,outdoor} \geq 1*80$ dB ("Leipzig/Halle criterion")
- ▶ AK3: Night protection area demarcated by the area where, on average, more than 0.75 additional noise-induced awakening reactions ($AWR \geq 0.75$) are expected ("FNI criterion").

Determination of the immission situation

To determine the immission situations, calculations were carried out according to the procedure of the Instructions for calculating noise protection areas "AzB 2008". In addition, awakening reactions within the area were determined in accordance with the exposure-response relationships used in FNI on the basis of the maximum sound level distribution and according to the AWR criterion of Leipzig/Halle Airport (Basner et al. 2005).

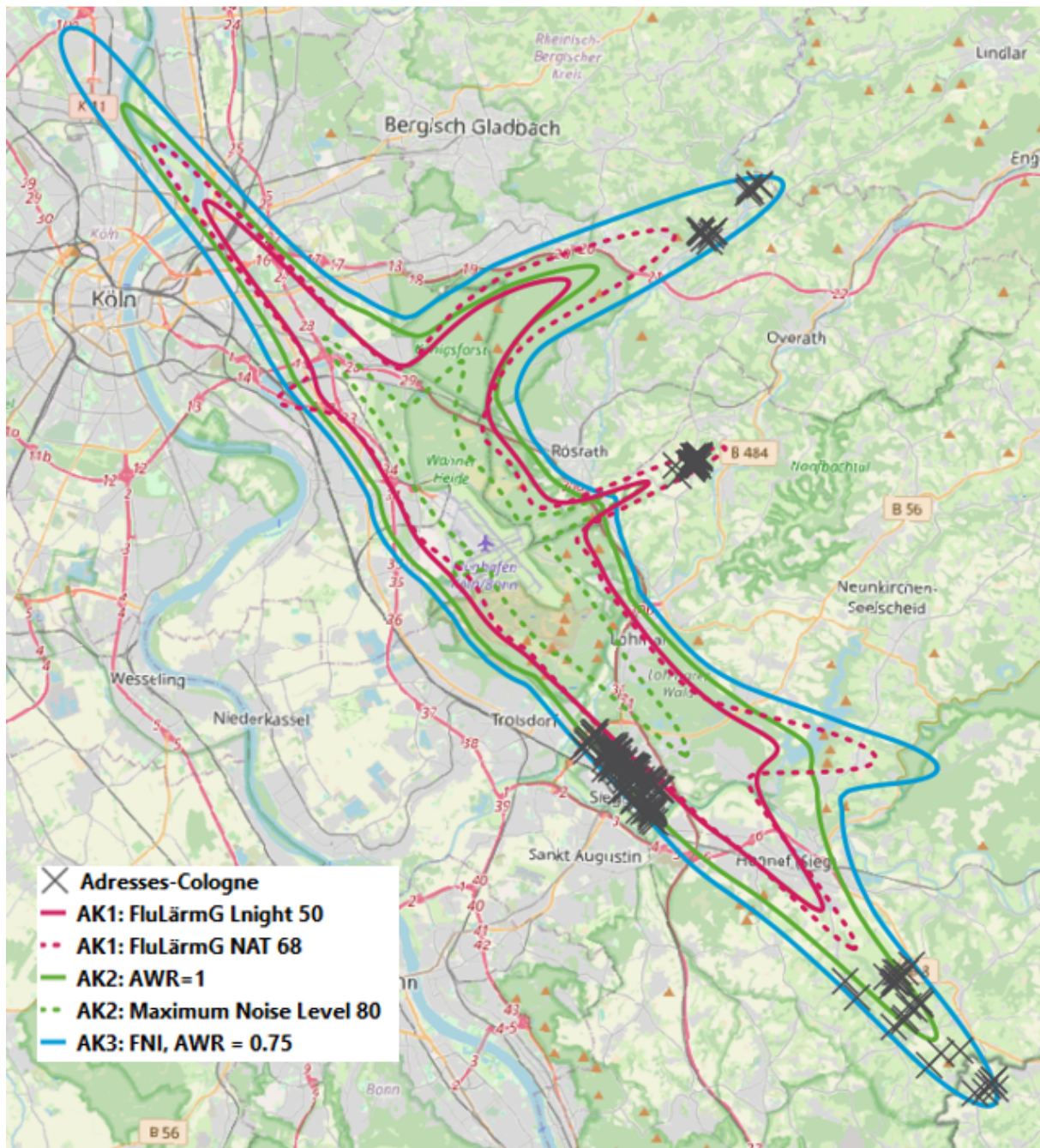
FANOMOS data (Flight Track and Aircraft Noise Monitoring System) was obtained and used for the Cologne/Bonn and Leipzig/Halle airports via Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS; 2021) (*German Air Traffic Control*) as the data basis for the calculations. FANOMOS represents radar data that describes the flight path of an aircraft. No aircraft noise calculation was carried out for Frankfurt/Main Airport because a re-analysis of the extensive data from the NORAH study was planned for this purpose. In the NORAH study calculated maximum level statistics and average levels based on FANOMOS data were already available for this study.

The following evaluation criteria (assessment procedures) were used in the calculations to demarcate different night protection areas:

- ▶ Average level L_{Aeq} for the night period (10:00 p.m. - 6:00 a.m.) in accordance with FluLärmG for a delimitation according to AK1;
- ▶ Number of event-related awakening reactions (AWR) for differentiation according to AK2 and AK3;
- ▶ Inverse NAT criterion (maximum level L_{Amax} that is exceeded by an event per night) for delimitation according to AK2;
- ▶ Inverse NAT criterion (maximum level L_{Amax} , which is exceeded by six events per night) for differentiation according to AK1.

With these evaluation methods, the contours of the three criteria AK1 to 3 already mentioned can be formed. The spatial boundary lines for the criteria were used to select the study areas and also to identify the addresses available within a study area. As an example, the boundary lines and the location of the addresses of participants are shown for Cologne/Bonn Airport in Figure 1. Since the demarcation criteria AK1 and AK2 each consists of the overlay of two perimeters, both perimeter of AK1 and AK2, respectively, are shown individually (as a solid and dashed line of the same color). The demarcation criterion itself is then formed from the envelope of the solid and dashed lines of the same color.

Figure 1: Boundary lines of the criteria AK1 to 3 in the area around Cologne/Bonn Airport and location of the respondent addresses



Source: own illustration, Möhler + Partner

Survey of stakeholders

To gain insight into the experiences and assessments of individuals who are involved in night-time flight noise-related area demarcation criteria in their professional environment or in practice, a survey of relevant stakeholders was conducted. This included representatives of airport companies, airlines, environmental protection authorities, ministries, cities and municipalities, as well as aircraft noise commissions or initiatives for the protection against aircraft noise. For each of the three selected airports (Cologne/Bonn, Leipzig/Halle, Frankfurt/Main), 10 stakeholders were to be surveyed. In addition, stakeholders at a national level were also included in the survey.

A questionnaire was developed for the survey and adapted for the three airports as well as for the national-level stakeholders. This included, among other things, the consideration of the respective night-time aircraft noise-related demarcation criterion for night protection areas: Cologne/Bonn Airport and the FluLärmG criterion for existing airports ($L_{Aeq,night} = 55$ dB and NAT: $L_{Amax,indoor} = 6*57$ dB), Leipzig/Halle Airport and the Leipzig/Halle criterion ($AWR \geq 1$ and NAT: $L_{Amax,outdoor} = 1*80$ dB), as well as Frankfurt/Main Airport and the FNI ($AWR \geq 0.75$). The questionnaire addressed topics such as experiences with event-related area demarcation criteria, existing structural sound insulation measures, and areas for improvement. The survey ran from June 2022 to April 2023. Some of the stakeholders contacted were unsure about their responsibilities, which led to some of them refusing to participate. A total of 10 completed questionnaires were received.

Participants were asked, among other things, to choose one of two different area demarcation criteria relating to night-time aircraft noise in a paired comparison. Most participants opted for the FluLärmG criterion for new or significantly modified airports. Fairness and adequate protection against night-time aircraft noise were attributed as advantages to all night-time aircraft noise-related area demarcation criteria. Costs were considered as a disadvantage in the FNI and Leipzig/Halle criteria. Overall, the responses are quite heterogeneous, and due to the small sample, no generalizable statements can be made. However, the results can provide an initial indication of how various stakeholders assess the investigated night-time aircraft noise-related area demarcation criteria in practice.

Population survey and re-analysis of NORAH data

The population survey around the airports Cologne/Bonn and Leipzig/Halle aimed to capture the effects of night-time aircraft noise as well as the satisfaction with existing structural sound insulation measures. Furthermore, the results were intended to be incorporated into the evaluation of night-time aircraft noise-related area demarcation criteria.

A random sample of the adult population living in the selected study areas was drawn based on registration office data and invited by mail for participation. 100 individuals per airport location were to be surveyed ($n=200$). The questionnaire for the population survey included topics such as the living environment and living conditions, aircraft noise-related annoyance and sleep disturbances, non-acoustic factors such as attitudes towards the noise source and noise sensitivity, presence and satisfaction with structural sound insulation measures, as well as socio-demographic information (e.g., age and gender).

The population survey took place in January and February 2023, with a total of 449 individuals participating, of which 253 lived near Leipzig/Halle Airport and 196 near Cologne/Bonn Airport. The response rate was 22.9%, which falls within the range of response rates from other studies (e.g., Saß et al. 2017). On average, the participants were 57.5 years old ($SD = 15.74$), and the proportion of male and female participants was roughly equal (50.1% male, 49.9% female, 0% diverse).

In addition to descriptive statistics, correlation analyses were conducted to examine the relationships between the acoustic parameters and the sleep disturbance variables. The acoustic parameters ($L_{Aeq,night}$, $L_{Amax1,night}$, AWR , $L_{Amax6,night,indoor}$) are all highly correlated with each other. Overall, the AWR shows the strongest correlations with the sleep disturbance variables (falling asleep, staying asleep, and early morning awakening) compared to the other three acoustic parameters. However, the differences in correlation are not statistically significant.

Regression analyses were carried out to control for potential factors influencing sleep disturbance. Four multiple regression analyses (models) were computed. Each model included one of

the four acoustic parameters, as well as additional predictors, with the assessed sleep disturbance as the criterion variable. These regression analyses aimed to determine which acoustic parameter or model, controlling for other factors, explained the highest total variance in self-reported sleep disturbance.

In addition to the four acoustic parameters ($L_{Aeq,night}$, $L_{Amax1,night}$, AWR, $L_{Amax6,night,indoor}$), gender, age, and noise sensitivity were included as predictors in the multiple regression analyses. The correlations and multiple regressions show that the AWR is more strongly associated with sleep disturbance, particularly with early morning sleep disturbance, compared to the other three acoustic parameters. However, the multiple regression analyses also show that the four models, each based on one acoustic parameter, explain approximately the same variance.

In addition to the population surveys at the Cologne/Bonn and Leipzig/Halle airports, re-analyses were carried out using existing data from the NORAH study, specifically the module on noise annoyance and quality of life (Module 1). The NORAH study was mainly conducted in the vicinity of Frankfurt/Main Airport, and data was collected in the years 2011, 2012, and 2013. The re-analysis was performed using data from the 1st panel wave of Module 1 collected in 2011 before the implementation of a partial night flight ban from 11 p.m. to 5 a.m.). Only those individuals for whom at least one of the selected night-time aircraft noise-related area demarcation criteria applied were included in the analysis ($n=3,436$).

The following variables from the data set were used for the re-analyses: Living environment and living conditions, annoyance and sleep disturbance due to aircraft noise, non-acoustic factors such as attitudes towards air traffic, trust in authorities, and noise sensitivity, the presence and satisfaction with structural sound insulation measures, and socio-demographic information.

On average, the participants were 50.9 years old ($SD = 15.9$), and the ratio of male to female participants was nearly balanced (50.9% male, 49.1% female, 0% diverse).

Correlation analyses were also conducted on the NORAH data in addition to the descriptive statistics. The correlations between the acoustic parameters ($L_{Aeq,night}$, $L_{Amax1,night}$, AWR, $L_{Amax6,night,indoor}$) are all very high. However, the correlations between the acoustic parameters and sleep disturbances are significantly lower, although the associations are statistically significant. Multiple regression analyses were conducted to control for potential additional influencing factors. The same predictors were included in the analyses as for the population survey at the Cologne/Bonn and Leipzig/Halle airports. It was found that the four models with their respective acoustic parameters explain a similar portion of the variance, with the explained variance being lower in the NORAH study at Frankfurt/Main Airport than in the population survey data from the other two airports.

Assessment of the three night-time aircraft noise-related demarcation criteria examined and recommendations for action

The three maximum noise level-related demarcation criteria (FluLärmG, FNI, Leipzig/Halle criteria) are representative of three different types of criteria: The event-related demarcation criterion introduced in the FluLärmG alongside the night-time continuous sound level represents NAT criteria, which define a certain number of maximum noise level events to be accepted; the demarcation criterion of the Frankfurt Aircraft Noise Index (FNI) represents criteria based on awakening reactions or awakening probabilities, and the Leipzig/Halle Airport demarcation criterion represents a combination of both (awakening reactions and NAT criterion). For the assessment of these three approaches to evaluating night-time aircraft noise, criteria were initially defined to enable an objective comparison. This comparison is impact-based and takes into account the fairness of selection. Thus, noise impact and fairness of distribution are the two basic

comparison categories. In addition, feasibility is used as an evaluation criterion to also consider the practical dimension of applicability.

The comparison includes 13 criteria. These are:

In the category of noise impact:

1. *Consideration of physiological reactions triggered even at low maximum noise levels,*
2. *Consideration of the number of events,*
3. *Consideration of the time of day when a noise event occurs,*
4. *Consideration of long-term health effects.*

In the category of distributive fairness:

5. *Temporal distribution,*
6. *Spatial distribution,*
7. *Socio-structural distribution,*
8. *Basic needs,*
9. *Equality in terms of "equal outcome",*
10. *Proportionality in terms of compensating for suffered impairments/burdens.*

In the category of feasibility:

11. *The effort associated with the application of a criterion,*
12. *The transferability to all airports in Germany,*
13. *The impact on available financial resources.*

As a result of this assessment, awakening reactions as an event-related demarcation criterion overall perform significantly better than NAT criteria in protecting the population from the negative effects of night-time aircraft noise. It is therefore recommended to establish awakening reactions or awakening probabilities as an event-related demarcation criterion for the protection from night-time aircraft noise. Additionally, it is recommended to establish a uniform exposure-response curve for all civilian German airports. A usable cross-site exposure-response relationship based on data collected at Cologne/Bonn and Frankfurt/Main airports was presented as part of the EU project ANIMA (Aviation Noise Impact Management through novel Approaches; <https://anima-project.eu>) (DLR 2021; Hauptvogel et al. 2021a).

In addition, it is pointed out that it is not advised to dispense with (additional) continuous noise level criteria. These continue to be justified and should be applied in addition to AWR criteria to protect against further long-term health effects of night-time aircraft noise.

Recognizing that the assessment of the health risks caused by night-time aircraft noise is a societal and ultimately legislative process, it is also proposed to set the threshold value of the AWR criterion to one awakening reaction (AWR = 1). This means that areas in which on average one or more AWRs per night are caused by aircraft noise are located in the night protection zone.

1 Hintergrund und Zielstellung

Fluglärm stellt in Flughafenregionen eine zum Teil deutliche Belastung für die betroffene Bevölkerung dar. Deutschlandweit fühlen sich 43 % der Bevölkerung durch Fluglärm belästigt, 9 % sogar stark oder äußerst belästigt (UBA 2022). Damit ist der Fluglärm nach dem Straßenverkehrslärm die am zweitstärksten belästigende Verkehrslärmquellenart.

Befunde verweisen darauf, dass insbesondere der nächtliche Fluglärm mit stressbedingter Gesundheitsbeeinträchtigung assoziiert ist (Guski et al. 2012). So steht etwa nächtlicher Fluglärm im Zusammenhang mit Herz-Kreislauferkrankungen (Greiser & Greiser 2010) und mit der Häufigkeit und Menge der Verordnung verschiedener Arzneimittel (Greiser et al. 2006), sowie mit Bluthochdruck (Hypertonie; Järup et al. 2008). Aufgrund der negativen Wirkung von nächtlichem Fluglärm auf die Gesundheit und weil der Schlaf allein für sich schützenswert ist, da er eine zentrale regenerative und Leistungsfähigkeits-erhaltene Funktion erfüllt (Banks & Dinges 2007), ist der Schutz der Bevölkerung vor gesundheitsbeeinträchtigendem nächtlichem Fluglärm von besonderer Bedeutung.

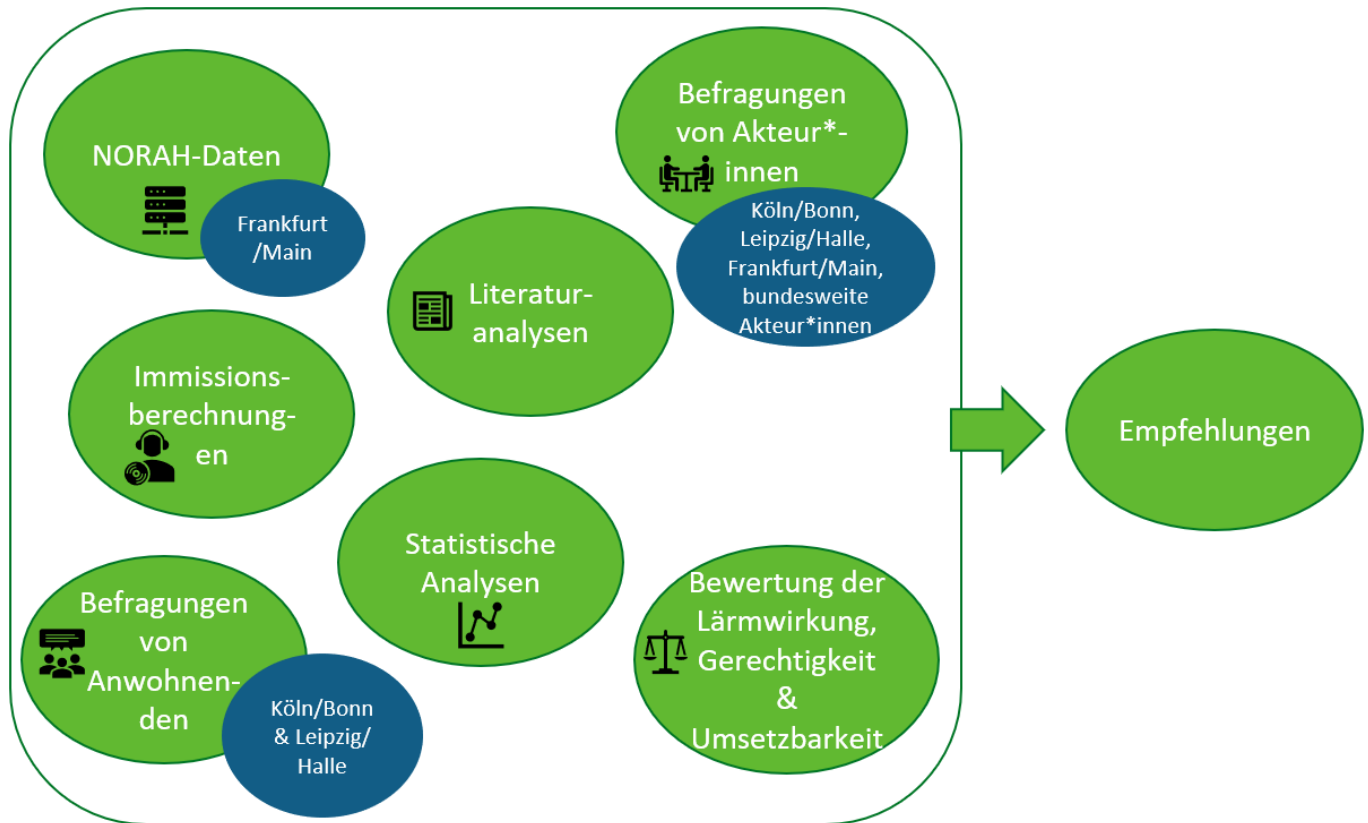
Ziel dieses Forschungsprojekts war es, vorhandene Verfahren zur Beurteilung des nächtlichen Fluglärms an Flughäfen zu analysieren. Dabei sollten insbesondere ereignisbezogene Kenngrößen, wie der Frankfurter Nachtindex (FNI) oder die Anzahl von Flugbewegungen oberhalb eines bestimmten Maximalpegel-Schwellenwertes (*Number above Threshold, NAT*) betrachtet werden und zwar im Hinblick auf ihre Eignung

- ▶ zur wirkungsgerechten Definition eines Nachtschutzgebiets
- ▶ und damit verbunden als Auslösekriterium / Grundlage für Regelungen zu Schallschutzmaßnahmen.

Auf Basis einer umfassenden Recherche zu in Deutschland vorhandenen ereignisbezogenen Abgrenzungskriterien zum Schutz der Bevölkerung vor Nachtfluglärm wurden drei deutsche zivile Flughäfen mit unterschiedlichen ereignisbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien für den Nachtzeitraum ausgewählt. Die Bewertung der ereignisbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien erfolgte auf Basis von Literaturanalysen, unterstützt durch Befragungen zur nächtlichen Fluglärmwirkung („Bevölkerungsbefragungen“) unter Anwohnenden an zwei der ausgewählten deutschen Verkehrsflughäfen, einer Re-Analyse von Daten der NORAH-Studie (Noise-Related Annoyance, Cognition, and Health) zu dem dritten ausgewählten Flughafen. Darüber hinaus wurde eine Befragung von Akteur*innen sowie eine Lärmwirkungs-, Verteilungsgerechtigkeits- und Umsetzbarkeitsbewertung der ereignisbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien für den Nachtzeitraum vorgenommen. Anhand der Ergebnisse dieser Arbeitsschritte wurden abschließend Empfehlungen für geeignete wirkungsbezogene Abgrenzungskriterien für die Definition eines Nachtschutzgebiets abgeleitet und die Auswirkungen auf Festlegungen zum baulichen Schallschutz unter Berücksichtigung des Kostenaufwands aufgezeigt.

Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die getätigten Arbeitsschritte, aus denen im Gesamten die Empfehlungen abgeleitet wurden.

Abbildung 2: Übersicht der Arbeitsschritte zu den Handlungsempfehlungen



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS

2 Literaturrecherchen und -analysen

Es wurden insgesamt drei Literaturrecherchen und -analysen durchgeführt: Zum einen die Recherche zum rechtlichen Rahmen, welcher für die Bewertung von nächtlichem Fluglärm relevant ist (Abschnitt 2.1); weiterhin die Recherche von Schallschutzprogrammen an deutschen Flughafenstandorten – wobei sowohl freiwillige als auch rechtlich erforderliche Programme einbezogen wurden (Abschnitt 2.2); und zum anderen die Recherche und Auswertung nationaler und internationaler Studien zur Wirkung des nächtlichen Fluglärms in Bezug auf verschiedene akustische Kenngrößen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche (Abschnitt 2.3). Die Ergebnisse hinsichtlich der Flughafenstandorte dienten auch der Auswahl der zu berechnenden einzelereignisbezogenen Kenngrößen zur Abgrenzung von Nacht-Schutzzonen und zum Schutz vor nächtlichem Fluglärm.

2.1 Rechtlicher Rahmen

Zunächst wird im Folgenden überblickshaft der einschlägige rechtliche Rahmen dargestellt, der für die Bewertung nächtlichen Fluglärms relevant ist. Das Luftverkehrsgesetz (LuftVG) regelt in § 29b Abs. 1 S. 1, dass beim Betrieb von Luftfahrzeugen „*vermeidbare Geräusche zu verhindern und die Ausbreitung unvermeidbarer Geräusche auf ein Mindestmaß zu beschränken (sind), wenn dies erforderlich ist, um die Bevölkerung vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Lärm zu schützen*“. Adressaten dieser Pflicht sind die Flugplatzunternehmer, die Luftfahrzeughalter und die Luftfahrzeugführer. Hier relevanter ist der Satz 2, dieser konkretisiert diese Pflicht insofern, dass auf die Nachtruhe der Bevölkerung in besonderem Maße Rücksicht zu nehmen ist. Die Nacht wird nach der Anlage zu § 3 des Gesetzes zum Schutz vor Fluglärm (FluLärmG) auf den Zeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr¹ festgelegt. Aus § 29b Abs. 1 S. 2 LuftVG lässt sich kein Verbot nächtlicher Flugbewegungen ableiten. Vielmehr ist für die planerische Abwägung ein gesteigerter Rechtfertigungsbedarf vorzusehen (Kloepfer 2016, Rn. 763).

Das Bundesverwaltungsgericht (BVerwG) hat diesen Rechtfertigungsbedarf weiter ausdifferenziert. Für den Zeitraum 0:00 bis 05:00 Uhr (die sogenannte Nachtkernzeit) setzt die Zulassung von Nachtflugbetrieb einen standortspezifischen Bedarf voraus (BVerwG, Urteil vom 16.03.2006, Rn. 290). Für die Nachtrandstunden, das sind die Zeiträume von 22:00 bis 24:00 Uhr und von 5:00 bis 6:00 Uhr, ist dieser Bedarf nicht erforderlich. Allerdings erfordert der § 29b Abs. 1 S. 2 LuftVG hier eine besondere Begründung. Nachzuweisen ist eine erkennbare Notwendigkeit für Flugbetrieb in diesen Stunden. Die Begründung muss plausibel belegen, dass sachliche Gründe dafürsprechen, dass ein bestimmter Verkehrsbedarf oder ein bestimmtes Verkehrssegment nicht befriedigend innerhalb des Tages abgewickelt werden kann (BVerwG, Urteil vom 16.03.2006, Rn. 287f).

Dieser Abwägungsvorgang findet im Rahmen einer Planfeststellung nach § 8 Abs. 1 LuftVG statt, wenn also ein Flughafen² angelegt oder geändert wird. Dabei sind nach S. 2 zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor Fluglärm die Werte des § 2 Abs. 2 FluLärmG zu beachten. Das FluLärmG wiederum verfolgt den Zweck, in der Umgebung von Flugplätzen bauliche Nutzungsbeschränkungen und baulichen Schallschutz aus Gründen des Fluglärmschutzes zu ermöglichen (§ 1 FluLärmG). Um räumlich zu konkretisieren, welches Gebiet als schutzbedürftig in der Umgebung eines Flugplatzes gilt, sind nach § 2 FluLärmG die Lärmschutzbereiche (LSB) festzusetzen. Dies erfolgt anhand einer rechnerisch ermittelten Fluglärmbelastung für ein bestimmtes Prognosejahr, die dann in zwei Schutzzonen für den Tag und eine für die Nacht gegliedert wird.

¹ Ebenso z. B. auch in Nr. 6.4 der Sechsten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm)

² Bzw. Landeplatz mit beschränktem Bauschutzbereich nach § 17 LuftVG.

Die Schutzzonen für den Tag werden aus dem äquivalenten Dauerschallpegel für den Tag bestimmt; die Nacht-Schutzzone ergibt sich als Umhüllende aus dem äquivalenten Dauerschallpegel für die Nacht und einem Häufigkeits-Maximalpegelkriterium für die Nachtzeit. Das Gesetz unterteilt dann noch zwischen Bestandsflugplätzen, neuen bzw. wesentlich baulich erweiterten Flugplätzen sowie zwischen zivilen und militärischen Flugplätzen. Bis zum 31.12.2010 galten z. B. für die Umhüllende der Nacht-Schutzzone von Neu- und wesentlichen Ausbauflygplätzen 53 dB(A) und 6*57 dB(A) und seit dem 01.01.2011 sind es 50 dB(A) und 6*53 dB(A). Dabei wird für die Werte für das Häufigkeits-Maximalpegelkriterium auf Innenpegel abgestellt. Hierfür ist nach der Anlage zu § 3 FluLärmG ein Pegelunterschied von 15 dB(A) zwischen Innen und Außen zu berücksichtigen.

Die LSB an den Flugplätzen werden durch eine Rechtsverordnung der jeweiligen Landesregierung festgesetzt (§ 4 Abs. 2 S. 1 FluLärmG). Rechtsfolgen dieser Festsetzung können Bauverbote sein und sonstige Beschränkungen der baulichen Nutzung. Für die hier vorliegende Begutachtung sind jedoch die Ansprüche auf baulichen Schallschutz relevant, die Eigentümer*innen (nicht Mieter*innen) aufgrund der Lage ihrer Immobilien (hier: Wohneinheiten) haben können. Liegt die Wohneinheit in einer Nacht-Schutzzone können die anspruchsberechtigten Eigentümer*innen für Schlafräume Erstattungen für baulichen Schallschutz in der Regel nach Ablauf von fünf Jahren ab Festsetzung des LSB geltend machen (zu den weiteren Details siehe Schütte 2023 *in Veröffentlichung*).

Die Werte des § 2 Abs. 2 FluLärmG stellen die Schwelle dar, bis zu der eine Fluglärmbelastung als zumutbar anzusehen ist. Übersteigt die Fluglärmbelastung diese Werte bedeutet dies jedoch keine Unzulässigkeit des nächtlichen Luftverkehrs: Diese Belastung soll durch die Möglichkeit, passiven Schallschutz beantragen zu können, kompensiert werden, indem die Betroffenen z. B. ihre Schlafräume baulich ertüchtigen lassen können.

Um die Fluglärmbelastung insgesamt, aber auch für die Nacht, zu reduzieren kommen auch Betriebsbeschränkungen oder auch Maßnahmen des aktiven Schallschutzes in Betracht. Davon losgelöst existieren zum einen über das FluLärmG hinausgehende Erstattungsmöglichkeiten für baulichen Schallschutz an einzelnen Standorten. Diese weiterreichenden Erstattungsmöglichkeiten beziehen sich entweder auf zusätzliche bauliche Ertüchtigungen oder aber auch auf ein Gebiet, das abweichend von den Werten des § 2 Abs. 2 FluLärmG festgesetzt wurde.

2.2 Standortbezogene Recherche von nachtflyglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien in Deutschland

2.2.1 Freiwillige Schallschutzprogramme an deutschen Flughäfen

Insgesamt verfügt Deutschland über fast vierzig Flughäfen, die meisten davon Regionalflughäfen aber auch internationale Flughäfen. Für das Projekt sind nicht alle Flughafenstandorte gleichermaßen relevant, da die Recherche insbesondere auch Grundlage der Standortauswahl sein soll. Hierfür wurden folgende Auswahlkriterien festgelegt:

- ▶ Vorhandensein einzelereignisbezogener Kriterien für die Abgrenzung von nächtlichen Schutzgebieten, wobei Kriterien nach FluLärmG und andere Kriterien enthalten sein sollten.
- ▶ Vorhandensein einer relevanten Fluglärmbelastung innerhalb des Nachtzeitraums (Zeitraum nach FluLärmG: 22:00 bis 06:00 Uhr).
- ▶ Vergleichbarkeit oder bewusste Unterschiedlichkeit der Auswahl hinsichtlich der zeitlichen Dichte der Flüge, der möglichen zeitlichen Ausdehnung der Nachtruhe bzw. der Art der

Flüge (Passagier-/Frachtflüge) – je nachdem, welche ereignisbezogenen Kriterien verglichen werden.

Aufgrund dieser Kriterien lag es deshalb nahe, Standorte in die Recherche einzubeziehen, die zum einen über Nachtflugbewegungen verfügen und die hinsichtlich ihrer Größe vergleichbar erscheinen, um deren Nachtschutzkriterien im Anschluss vergleichend darstellen zu können.

Um einen vergleichenden Maßstab hinsichtlich der Größe der verschiedenen Standorte anzulegen, wurde die Anzahl der Starts genutzt. Demnach sind die größten deutschen Flughäfen mit mehr als zwanzigtausend Starts pro Jahr in dieser Reihenfolge (Vergleich auf Basis des Jahres 2022): Frankfurt/Main, München, Berlin Brandenburg, Düsseldorf, Hannover, Köln/Bonn, Hamburg, Leipzig/Halle, Stuttgart (Tabelle 1)³.

Tabelle 1: Deutsche Flughäfen mit mehr als zwanzigtausend Starts pro Jahr für 2022

Standort	Starts pro Jahr
Frankfurt/Main	186.281
München	138.421
Berlin Brandenburg	76.843
Düsseldorf	67.678
Hannover	61.871
Köln/Bonn	53.896
Hamburg	45.935
Leipzig/Halle	37.166
Stuttgart	35.634

Zu beachten ist, dass die Situation hinsichtlich von Nachtflugbewegungen in Deutschland von Standort zu Standort sehr unterschiedlich ist: Deutschland verfügt über eine Reihe von Flughäfen, an denen Nachtflugbewegungen mit Einschränkungen zulässig sind. Diese unterscheiden sich aber wiederum je nach Standort in ihrer Ausgestaltung und können deshalb nicht zwingend direkt miteinander verglichen werden. Daneben gibt es einige wenige Flughäfen, an denen Flugbewegungen auch nachts weitestgehend zulässig sind (ggf. mit geringen Einschränkungen): Erfurt-Weimar, Frankfurt-Hahn, Hannover, Köln/Bonn, Nürnberg. Der Flughafen Leipzig/Halle stellt insofern einen Einzelfall dar, als dort für Expressfracht im gesamten Nachtzeitraum Bewegungen zulässig sind. Mindestkriterium für die Standortauswahl war deshalb, dass im Zeitraum von 22:00 bis 06:00 Uhr planmäßig Flugbewegungen durchgeführt werden dürfen.

Tabelle 2: Übersicht – Nachtflug an größeren Flughafenstandorten

Flughafenstandort nach Größe	Planmäßiger Nachtflug
Frankfurt/Main	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr

³ Die Daten entstammen der „Verkehrsleistungsstatistik im Luftverkehr“ (Code 46421) des Statistischen Bundesamts (2022), abrufbar über www.destatis.de

München	22:00-23:30 Uhr und 05:00-06:00 Uhr sowie Postflüge
Berlin Brandenburg	22:00-23:30 Uhr und 05:30-06:00 Uhr
Düsseldorf	22:00-23:00 Uhr (Landungen)
Hannover	Ja
Köln/ Bonn	Ja
Hamburg	22:00-23:00 Uhr
Leipzig/ Halle	Ja für Expressfracht
Stuttgart	22:00-23:30 Uhr (Starts nur bis 23:00 Uhr)
Nürnberg	Ja

In Tabelle 2 ist für die anhand ihrer Größe identifizierten Flughafenstandorte plus Nürnberg als kleinerer, überwiegend Passagierflughafen, dargestellt, ob und inwiefern dort Nachtflugbewegungen zulässig sind. Die weiteren Ausführungen fokussieren sich auf folgende zehn Standorte: Frankfurt/Main, München, Düsseldorf, Hamburg, Stuttgart, Köln/Bonn, Hannover, Berlin Brandenburg, Leipzig/Halle, Nürnberg. Für alle zehn wurden Informationen bezüglich der genauen Bedingungen für Nachtflugbewegungen, des genutzten Nachtschutzkriteriums bzw. der genutzten Nachtschutzkriterien sowie dem Zusammenhang zu baulichem Schallschutz identifiziert und in Tabelle 3 festgehalten, um sie dann systematisch auswerten zu können. Zum Vergleich sind die im Fluglärmschutzgesetz vorgegebenen Kriterien ebenfalls in der Tabelle 3 aufgeführt. Da es im weiteren Verlauf des Projekts ausschließlich um Kriterien gehen soll, die sich auf Einzelereignisse beziehen, wurden die relevanten Kriterien in der Tabelle der Übersichtlichkeit halber gelb hinterlegt. Eine Übersicht der identifizierten, an deutschen Flughäfen angewandten Nachtschutzkriterien zeigt Tabelle 4.

Tabelle 3: Übersicht identifizierter Schallschutzkriterien nach Fluglärmschutzgesetz⁴

Rechts- grundlage	Kriterium	Art des Kriteriums	Zusammen- hang bauli- cher Schall- schutz	Kommentare
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 53 \text{ dB}$ NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze bis 31.12.2010
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze ab 01.01.2011
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für bestehende zivile Flugplätze
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 53 \text{ dB(A)}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für neue oder wesentlich baulich erweiterte militärische Flugplätze bis 31.12.2010
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax} = 6*53 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für neue oder wesentlich baulich erweiterte militärische Flugplätze ab 01.01.2011
FluLärmG	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	für bestehende militärische Flugplätze

orangene Hervorhebung: Einzelereignisbezogenes Kriterium

⁴ Sämtliche Werte nach §2 FluLärmG

Tabelle 4: Übersicht identifizierter Nachtschutzkriterien an deutschen Flughäfen

Standort	Kriterium	Art des Kriteriums	Nachtflug (22:00-06:00 Uhr)	Zshg. baulicher Schallschutz	Kommentare
Berlin Brandenburg ⁵	$L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,au\beta en} = 6*70 \text{ dB}$ für eine Nacht mit West- oder Ostbetrieb	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:30 Uhr und 05:30-06:00 Uhr (im Schnitt höchstens 31 Flüge zwischen 05:00-06:00 Uhr sowie 23:00-24:00 Uhr; zwischen 23:30-24:00 Uhr und 5:00-5:30 Uhr keine planmäßigen Flüge)	Ja	Geht von einem Maximalpegel von $L_{Amax} = 55 \text{ dB}$ innen aus
Düsseldorf ⁶	NAT: $L_{Amax,22-01} = 8*71 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-01:00 Uhr	Ja	Erweitertes Nachtschutzgebiet
Düsseldorf ⁷	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:00 Uhr (Landungen)	Ja	Nacht-Schutzzone gem §2 FluLärmG für bestehende Flugplätze
Frankfurt/Main ⁸⁹	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,au\beta en} = 6*75 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja (150 Bewegungen)	Ja	Nacht-Schutzgebiet 2001/2002
Frankfurt/Main ¹⁰	$L_{Aeq} = 50 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Ja	Nacht-Schutzzone §2 Abs. 2 FluLärmG
Frankfurt/Main ¹¹	Umhüllende Tagschutzzone $1 + L_{Aeq,Nacht} \geq 55 \text{ dB}$	Dauerschallpegel	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Ja	Fördergebiet Regionalfonds

⁵ Flughafen Berlin Brandenburg (2021).

⁶ Flughafen Düsseldorf GmbH (o. J.). <https://www.dus.com/de-de/konzern/nachbarn/transparenz/flugbetrieb/betriebszeiten>

⁷ Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf (2015).

⁸ Regierungspräsidium Darmstadt (2014).

⁹ Kursiv geschriebene Einträge beziehen sich auf ältere Kriterien, die mittlerweile nicht mehr verwendet werden.

¹⁰ Hessisches Ministerium der Justiz (2011).

¹¹ Regierungspräsidium Darmstadt (2014).

Standort	Kriterium	Art des Kriteriums	Nachtflug (22:00-06:00 Uhr)	Zshg. baulicher Schallschutz	Kommentare
Frankfurt/Main ¹²	$L_{Aeq} \geq 53 \text{ dB}$ & NAT: $L_{Amax, \text{au\beta en}} = 6*72 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Nein	Hochbetroffenengebiet FFI, entspricht Nacht-Schutzzone des FluLärmG für vor dem 31.12.2010 baulich erweiterte Flugplätze (15 dB Unterschied, wegen Außenpegelangebe)
Frankfurt/Main ¹³	$AWR \geq 0,75$	Aufwachreaktionen	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Nein	Nachtindexgebiet FFI
Frankfurt/Main ¹⁴	$L^*_{Aeq} \geq 50 \text{ dB}$ & NAT: $L_{Amax, \text{au\beta en}} = 6*68 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Nein	Hochbetroffenengebiet FFI 2.0, Entspricht Nacht-Schutzzone des FluLärmG für nach dem 01.01.2011 baulich erweiterte Flugplätze (15 dB Unterschied, wegen Außenpegeln);
Frankfurt/Main ¹⁵	$L_{Aeq} \geq 45 \text{ dB}$	Dauerschallpegel	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Nein	Nachtindexgebiet FFI 2.0
Frankfurt/Main ¹⁶	$L_{Aeq} \geq 43 \text{ dB}$	Dauerschallpegel	22:00-23:00 Uhr und 05:00-06:00 Uhr	Nein	Kontrollgebiet Nacht FFI 2.0
Hamburg ¹⁷	$L_{Aeq, \text{Nacht}} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax, \text{innen}} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:00 Uhr (23:00-0:00 Uhr nur Verspätungen)	Ja	Nacht-Schutzzone gem §2 FluLärmG für bestehende Flugplätze
Hannover-Langen-hagen ¹⁸	$L_{Aeq, \text{Nacht}} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja	Ja	Nacht-Schutzzone §2 Abs. 2 FluLärmG für bestehende Flugplätze

¹² Forum Flughafen und Region (2019).

¹³ Forum Flughafen und Region (2019).

¹⁴ AG Index des Forums Flughafen und Region Frankfurt (2019).

¹⁵ AG Index des Forums Flughafen und Region Frankfurt (2019).

¹⁶ AG Index des Forums Flughafen und Region Frankfurt (2019).

¹⁷ Hamburg Airport (2012).

¹⁸ Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2010).

Standort	Kriterium	Art des Kriteriums	Nachtflug (22:00-06:00 Uhr)	Zshg. baulicher Schallschutz	Kommentare
Köln/ Bonn ¹⁹	$L_{AeqNacht} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja (seit Ende 2002 nur Flugzeuge auf der Bonusliste eingeschränkte Bahnenutzung)	Ja	Nacht-Schutzzone §2 Abs. 2 FluLärmG für bestehende Flugplätze
Köln/ Bonn ²⁰	in der Regel NAT: $L_{Amax,außen} = 6*75 \text{ dB}$ Bodenlärmbereich: $L_{Aeq} = 50 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja (seit Ende 2002 nur Flugzeuge auf der Bonusliste eingeschränkte Bahnenutzung)	Ja	Eingeführt vor 2011
Leipzig/ Halle ²¹	$AWR \geq 1$ NAT: $L_{Amax,außen} = 6*80 \text{ dB}$	Kombiniert (Aufwachreaktionen und Maximalpegel)	Ja (Frachtflug)	Ja	Im PfB festgelegt; Zusatzregelungen (Malus etc.)
München ²²	Umhüllende Tag-/Nacht-schutzgebiet (Nacht: NAT: $L_{Amax} = 6*70 \text{ (außen) dB}$ + Ortsteile	Maximalpegel	22:00-23:30 Uhr und 05:00-06:00 Uhr sowie Postflüge (23:30-0:00 Uhr verspätete Landungen; 05:00-06:00 Uhr bis zu 28 planmäßige Landungen bzw. verfrühte Landungen & Starts <75 dB Maximalpegel etc. - diverse Zusatzregeln)	Ja	Geht von einem Maximalpegel von 55 dB(A) innen aus
Nürnberg ²³	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	Ja (seit 1997 nur Flugzeuge auf der Bonusliste)	Ja	Nacht-Schutzzone §2 Abs. 2 FluLärmG für bestehende Flugplätze

¹⁹ Bezirksregierung Köln (2019).

²⁰ Arps et al. (2006).

²¹ Regierungspräsidium Leipzig (2004)

²² Flughafen München GmbH (2019).

²³ Bayerische Staatskanzlei (2014).

Standort	Kriterium	Art des Kriteriums	Nachtflug (22:00-06:00 Uhr)	Zshg. baulicher Schallschutz	Kommentare
Stuttgart ²⁴	$L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$ bzw. NAT: $L_{Amax} = 6*57 \text{ dB}$	Kombiniert (Dauerschall- und Maximalpegel)	22:00-23:30 Uhr Postflüge (Starts nur bis 23:00 Uhr; verspätete Landungen bis 0:00 Uhr)	Ja	Nacht-Schutzzone gemäß §2 FluLärmG für bestehende Flugplätze

orangene Hervorhebung: Einzelereignisbezogenes Kriterium

Ausgangs- und Orientierungspunkt der vergleichenden Betrachtung sind die im Fluglärm-schutz § 2 (2) genannten Werte zur Einrichtung von Lärmschutzbereichen an zivilen Flugplätzen:

- Für bestehende zivile Flugplätze:
 - $L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$
- Für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze bis 31.12.2010:
 - $L_{Aeq,Nacht} = 53 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$
- Für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze ab 01.01.2011:
 - $L_{Aeq,Nacht} = 50 \text{ dB}$, NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53 \text{ dB}$

Dies ergibt vor dem Hintergrund Sinn, als dass im weiteren Verlauf des Projekts sowohl Kriterien analog dem Fluglärmschutzgesetz als auch alternative Kriterien in die Arbeiten einbezogen werden sollen.

Im Wesentlichen lassen sich drei Blöcke unterschiedlicher Kriterien an den o. g. Standorten voneinander unterscheiden: Block I besteht aus Flughäfen, welche die im Fluglärmschutzgesetz genannten Kriterien schlicht übernehmen und anwenden; Block II besteht aus Kriterien, die ebenfalls grundsätzlich aus dem Fluglärmschutzgesetz übernommen, dann aber um weitere Aspekte ergänzt oder in anderer Hinsicht leicht angepasst wurden; und Block III sind die alternativen Kriterien, ohne wesentlichen Bezug zum Fluglärmschutzgesetz.

2.2.1.1 Kriterien des Block I: Werte entsprechend Fluglärmschutzgesetz

Die Flughafenstandorte Hamburg, Stuttgart, Hannover und Nürnberg nutzen alle das o. g. Kriterium aus § 2 (2) FluLärmG, für bestehende zivile Flugplätze, also die Umhüllende aus $L_{Aeq,Nacht} = 55 \text{ dB}$ und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$. Zwei der genannten Flughäfen, Hannover und Nürnberg, sind im gesamten Nachtzeitraum nutzbar, während Stuttgart und Hamburg ähnliche Einschränkungen im Flugbetrieb aufweisen und Flugbewegungen im Wesentlichen lediglich in den abendlichen Nachtrandstunden zulassen (bis 23:30 bzw. 23:00 Uhr). An allen genannten Standorten gehen mit den Kriterien die entsprechenden Ansprüche auf passiven, also baulichen, Schallschutz einher.

²⁴ Stuttgart Airport (2019).

Am Standort Frankfurt/Main gab bzw. gibt es verschiedene Kriterien, die sich jeweils in Zielsetzung und Ausgestaltung voneinander unterscheiden. Von diesen Kriterien entsprechen die aktuelle Nacht-Schutzzone – die einen Anspruch auf passiven Schallschutz generiert – sowie das im, mittlerweile nicht mehr genutzten, Frankfurter Fluglärmindex (FFI) enthaltene sog. „Hochbetroffenengebiet Nacht“ und auch das im seit 2020 genutzten Frankfurter Fluglärmindex 2.0 (FFI 2.0) genutzte „Hochbetroffenengebiet Nacht“ den Vorgaben des Fluglärmschutzgesetzes: die Nacht-Schutzzone entspricht dem Wert des FluLärmG für nach dem 01.01.2011 baulich erweiterte Flugplätze (Umhüllende aus $L_{Aeq} = 50$ dB und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53$ dB); das Hochbetroffenengebiet des FFI entsprach dem Wert für vor dem 31.12.2010 baulich erweiterte Flugplätze (Umhüllende aus $L_{Aeq} \geq 53$ dB und NAT: $L_{Amax} = 6*72$ dB – die 15 dB Differenz zwischen dem Kriterium des FFI und des FluLärmG stammen daher, dass das FluLärmG von Innen- der FFI aber von Außenpegeln ausging); das Hochbetroffenengebiet des FFI 2.0 entspricht wiederum ebenfalls dem Wert für nach dem 01.01.2011 baulich erweiterte Flugplätze ($L_{Aeq} \geq 50$ dB und NAT: $L_{Amax} = 6*68$ dB). Auch für Frankfurt/Main gilt dabei, dass ein Betrieb nachts im Wesentlichen nur in den Nachtrandstunden, allerdings sowohl den abendlichen (22:00-23:00 Uhr) als auch morgendlichen (05:00-06:00 Uhr), zulässig ist.

Die in Block I genutzten und auf Einzelereignisse bezogene Pegel sind demnach NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57$ dB sowie NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53$ dB.

2.2.1.2 Kriterien des Block II: Modifizierte Werte, basierend auf denen des FluLärmG

Sowohl in Düsseldorf als auch in Köln/Bonn gilt jeweils ebenfalls das Kriterium für bestehende zivile Flugplätze nach dem FluLärmG ($L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57$ dB). Beide haben bzw. hatten aber zusätzliche Kriterien eingeführt: In Düsseldorf gibt es zusätzlich ein sog. „Erweitertes Nachtschutzgebiet“ entsprechend der Werte $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und $L_{Amax,22-01} = 8*71$ dB. Damit trägt der Standort Düsseldorf dem Umstand Rechnung, dass auch dort der Flugbetrieb eben nicht die gesamte Nacht, sondern lediglich in den abendlichen Nachtrandstunden zulässig ist. Am Standort Köln/Bonn wurde bereits 1990 ein freiwilliges Gebiet eingeführt. Das Kriterium hierfür lautet „in der Regel“ NAT: $L_{Amax} = 6*75$ dB – was somit innerhalb des o. g. Gebiets des FluLärmG liegt - und ein Bodenschallgebiet von $L_{Aeq} = 50$ dB. Am Flughafen Köln/Bonn herrscht uneingeschränkter Nachtflugbetrieb.

An den Flughäfen Berlin Brandenburg und München werden zwar nicht exakt die Werte des FluLärmG genutzt, dennoch sind sie diesen ähnlich und folgen beide derselben Logik: Ausgangspunkt der Kriterien war jeweils das Ziel, einen Maximalpegel von $6*55$ dB im Inneren nicht zu überschreiten. Das Kriterium selbst bemisst sich allerdings nach Außenpegeln und entspricht daher $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und NAT: $L_{Amax} = 6*70$ dB für eine Nacht mit Flugbetrieb in Richtung Westen oder Osten. Damit liegen die Werte beider Flugplätze hinsichtlich des Dauerschallpegels auf dem im FluLärmG vorgesehenen Wert für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze ab 01.01.2011. Hinsichtlich des Maximalpegels allerdings 2 dB oberhalb des entsprechenden Werts ($6*53$ dB), aber noch unter dem Wert für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze bis 31.12.2010 ($6*57$ dB). An beiden Flughäfen ist der Betrieb in den abendlichen und morgendlichen Nachtrandstunden möglich.

Gleiches gilt im Grunde auch für das sog. „Nacht-Schutzgebiet 2001/2002“ am Standort Frankfurt/Main. Für dieses gelten die Werte $L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB, NAT: $L_{Amax} = 6*75$ dB. Bezogen auf den Innenpegel entspräche dies einem Wert von NAT: $L_{Amax} = 6*60$ dB. Damit liegt der hier verwendete Dauerschallpegel auf dem Niveau des laut FluLärmG für bestehende Flugplätze vorgesehenen Kriteriums, der Maximalpegel aber 3 dB darüber. Das Kriterium wird heute aber nicht mehr genutzt.

Die maßgeblichen auf Einzelereignisse bezogenen Kriterien in Block II sind demnach zum einen erneut NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57$ dB sowie zusätzlich NAT: $L_{Amax,22-01\text{ Uhr}} = 8*71$ dB, NAT: $L_{Amax} = 6*75$ dB - was einem Wert von $6*60$ dB(A) innen entspricht - und NAT: $L_{Amax} = 6*55$ dB.

2.2.1.3 Kriterien des Block III: Alternative Werte

Alternative Kriterien gibt es an deutschen Standorten aktuell nur in Leipzig/Halle und Frankfurt/Main:

Am Flughafen Leipzig/Halle wird zur Festlegung des Nacht-Schutzbereichs das Kriterium $AWR \geq 1$ und NAT: $L_{Amax,außen} = 1*80$ dB verwendet. Wiederum übertragen auf Innenpegel entspräche das dem Kriterium NAT: $L_{Amax,innen} = 1*65$ dB. Das Kriterium dient der Ermittlung von Ansprüchen auf passiven Schallschutz am Standort Leipzig/Halle, der die gesamte Nacht für Frachtflüge genutzt werden kann (Expressfracht) und somit eine besondere Schutzwürdigkeit aufweist.

Der Standort Frankfurt/Main verfügt bzw. verfügte über verschiedene alternative Kriterien, allerdings sind nicht mehr alle davon heute noch im Einsatz und keines der Kriterien generiert einen Anspruch auf passiven Schallschutz. Im Wesentlichen werden bzw. wurden die Kriterien zum Monitoring sowie zur Beurteilung von Maßnahmen des aktiven Schallschutzes genutzt. Diesbezüglich ist zunächst das sog. „Nachtindexgebiet“ des FFI (heute nicht mehr genutzt) zu nennen, dessen Kriterium ähnlich dem in Leipzig/Halle war, nämlich $AWR \geq 0,75$. Seit der FFI durch den FFI 2.0 abgelöst wurde, wird für dieses Gebiet allerdings ein reines Dauerschallpegelkriterium – $L_{Aeq} \geq 45$ dB – genutzt. Ergänzt wurde ein sogenanntes „Kontrollgebiet Nacht“, mit dem Kriterium $L_{Aeq} \geq 43$ dB. Beide Werte sind somit nicht mehr bezogen auf Einzelereignisse bzw. Maximalpegel. Allerdings werden in den weiteren Schritten dann die Aufwachreaktionen (AWR) innerhalb dieser festgelegten Gebiete ermittelt. Da die Ermittlung von Aufwachreaktionen immer auf Basis von Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen erfolgt, ist der Frankfurter Nachtlärmindex letztlich auch weiterhin Einzelereignis bezogen. Dies äußert sich aber – wie dargestellt – nicht im Abgrenzungskriterium. Neben den Werten des FFI bzw. FFI 2.0 gibt es für den Standort Frankfurt/Main außerdem das Fördergebiet des sogenannten Regionalfonds, der einen Lastenausgleich für fluglärmbelastete Kommunen schaffen soll. Dieses Gebiet wird aus der Umhüllenden der Tagschutzzone 1 nach FluLärmG und dem $L_{Aeq,Nacht} \geq 55$ dB ermittelt.

Die alternativen auf Einzelereignissen basierenden Kriterien an deutschen Flughafenstandorten sind somit $AWR \geq 1$ und $L_{Amax} \geq 65$ dB und $AWR \geq 0,75$. Die Aufwachreaktions-Kriterien sind zwar zunächst nicht direkt auf Einzelereignisse im Sinne einer bestimmten Zahl von Maximalpegeln bezogen. Da die Aufwachwahrscheinlichkeit aber auf Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen beruht, werden sie im Rahmen dieses Projekts ebenfalls als Einzelereignis-Kriterien gewertet. Das Beispiel des FFI 2.0 zeigt zusätzlich, dass auf Einzelereignissen beruhende Auswertungen auch dann gemacht werden können, wenn das Abgrenzungskriterium selbst kein solches ist.

2.2.2 Fazit zur Verwendung Einzelereignis bezogener Nachtschutzkriterien an den betrachteten deutschen Flughafenstandorten

An allen betrachteten Flughäfen wurden zur Beurteilung nächtlichen Fluglärms auch Kriterien verwendet, die sich auf Einzelereignisse beziehen. Insgesamt zeigt sich, dass die meisten an deutschen Flughafenstandorten verwendeten Nachtschutzkriterien denen des FluLärmG entsprechen, oder diesen sehr ähnlich sind. Wesentliche Ausnahmen gab es lediglich zwei: Leipzig/Halle und Frankfurt/Main, wo jeweils zusätzlich durch Fluglärm induzierte Aufwachreaktionen verwendet wurden. Allerdings generieren sich nur in Leipzig/Halle aufgrund dieses Kriteriums auch Ansprüche auf baulichen Schallschutz, während das Kriterium in Frankfurt/Main in erster Linie zur Beurteilung aktiver Schallschutzmaßnahmen genutzt wurde.

Darüber hinaus gibt es in Frankfurt/Main weitere alternative Kriterien, die sich aber hinsichtlich der Gebietsabgrenzung auf Dauerschallpegel beziehen und erst in der weiteren Auswertung Aufwachreaktionen und somit Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen berücksichtigen.

Tabelle 5 gibt einen Überblick über sämtliche in der Recherche identifizierte Nachtschutzkriterien, die sich auf Einzelereignisse beziehen. Zu beachten ist dabei, dass die Werte in der Regel Dauerschallpegelkriterien ergänzen – um einen konzentrierten Blick auf die Maximalpegelkriterien zu erlauben, wurden diese in der Tabelle aber nicht mit dargestellt. Die vollständigen Kriterien können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 5: Übersicht – Auf nächtliche Einzelereignisse bezogene Kriterien an den betrachteten deutschen Flughafenstandorten

Kriterium	Standort
NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53 \text{ dB}$	Frankfurt/Main (Nacht-Schutzzone & Hochbetroffenengebiet FFI 2.0)
NAT: $L_{Amax,innen} = 6*55 \text{ dB}$	Berlin Brandenburg, München
NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57 \text{ dB}$	Hamburg, Stuttgart, Hannover, Nürnberg, Düsseldorf, Köln/Bonn, Frankfurt/Main (Hochbetroffenengebiet FFI)
NAT: $L_{Amax,innen} = 6*60 \text{ dB}$	Köln/Bonn, Frankfurt/Main (Nacht-Schutzgebiet 2001/2002)
NAT: $L_{Amax,22-01 \text{ Uhr}} = 8*71 \text{ dB}$	Düsseldorf
$AWR \geq 1$ und $L_{Amax,innen} \geq 65 \text{ dB}$	Leipzig/Halle
$AWR \geq 0,75$	Frankfurt (Nachtindexgebiet FFI)

Kursiv: veraltetes Schallschutzkriterium

Wie zu sehen ist, werden entsprechend den Vorgaben des FluLärmG an den meisten Flughäfen Einzelereignis-bezogene Kriterien für die Nachtzeit angewendet. Darüber hinaus existier(t)en eine Reihe weiterer Kriterien in unterschiedlichen Abstufungen: die Kriterien mit $6*60 \text{ dB}$ haben mittlerweile keine Relevanz mehr – auch da sie innerhalb der vom FluLärmG genannten Gebiete liegen. Berlin Brandenburg und München wiederum nutzen Kriterien, die zwischen denen für bestehende und neue bzw. baulich erweiterte Flugplätze liegen und führen somit eine dritte Ebene ein. Darüber hinaus wurde in Düsseldorf ein Maximalpegelkriterium mit zeitlich engerem Fokus eingeführt, für das nur der Zeitraum 22:00 bis 01:00 Uhr berücksichtigt wird. Und Leipzig/Halle sowie Frankfurt/Main nutz(t)en zusätzlich durch Fluglärm induzierte Aufwachreaktionen.

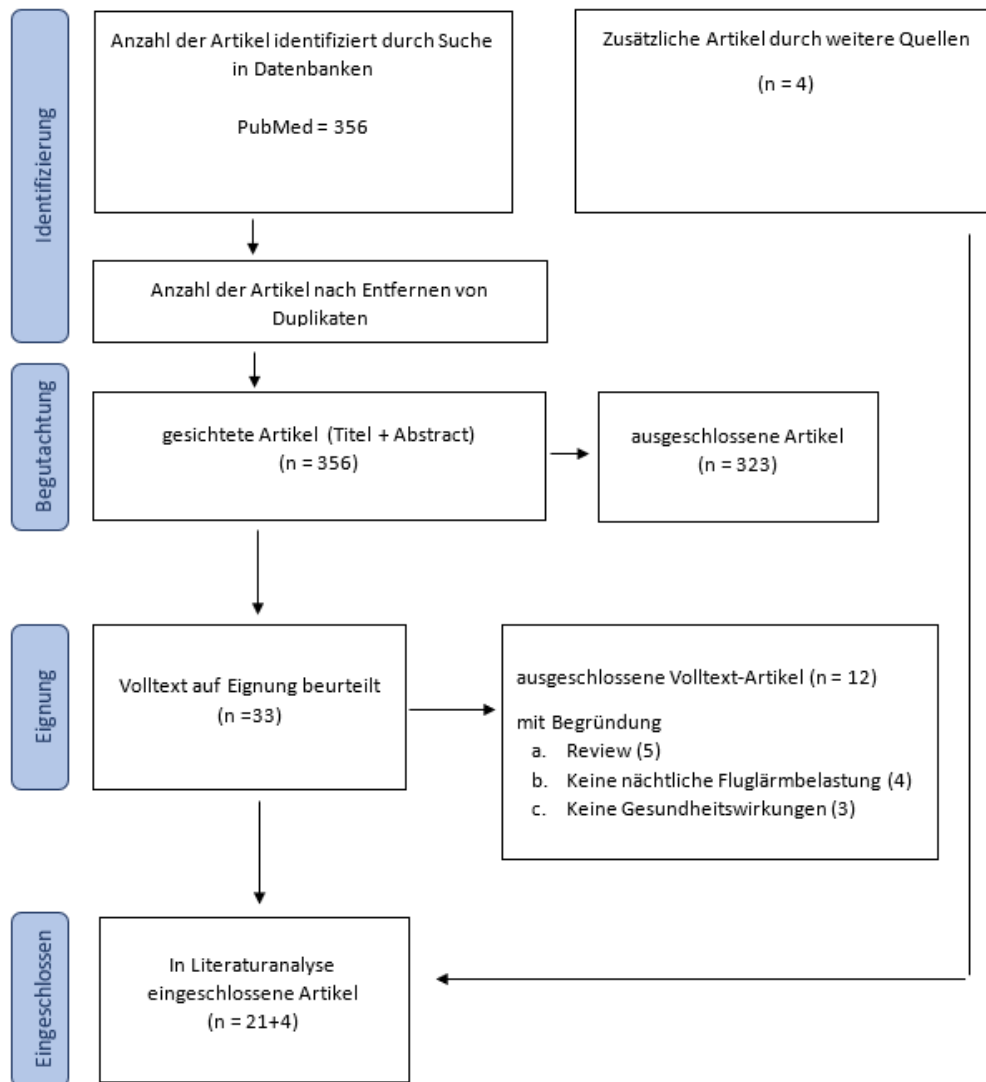
Für das weitere Vorgehen legt diese Auswertung nahe, einen oder mehrere Flugplätze mit Kriterien nach FluLärmG in die Betrachtung einzubeziehen, da diese in der deutlichen Mehrheit sind, sowie mindestens Leipzig/Halle aufgrund des Aufwachkriteriums. Neben der Recherche zu Kriterien zur Bestimmung von Nacht-Schutzzonen im Umkreis von Flughäfen wurde im Rahmen einer Literaturanalyse untersucht, ob Studien aus der Lärmwirkungsforschung bereits Verknüpfungen zu Einzelereignis-bezogenen Kriterien bzw. zu Kombinationen von Kriterien machen oder Hinweise dazu liefern.

2.3 Literaturanalyse zu Lärmwirkungsstudien zum nächtlichen Fluglärm in Bezug auf verschiedene akustische Kenngrößen nächtlicher Luftverkehrsgeräusche

In der Literaturrecherche wurden englische und deutsche Artikel bzw. Originalstudien, die ab 2015 veröffentlicht wurden, berücksichtigt. Hierbei ist davon auszugehen, dass relevante Studien, die im Zeitraum von 2000 bis 2015 veröffentlicht wurden, in die Leitlinien für Umgebungslärm (Environmental Noise Guidelines) für die Europäische Region der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, WHO) eingeflossen sind (WHO 2018). Es wurden ausschließlich Studien mit Menschen eingeschlossen. Zudem musste die Fluglärmexposition für die Nacht vorliegen (z. B. L_{night} , L_{Amax} oder SPL (Sound Pressure Level; Schalldruckpegel) nächtlicher Fluglärmereignisse). Da der Zeitraum der Betrachtung des nächtlichen Fluglärms sich teilweise zwischen den Ländern unterscheidet (z. B. 22:00 bis 07:00 Uhr in den USA (U.S. Environmental Protection Agency 1974), 23:00 bis 07:00 Uhr nach der EU-Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG (Richtlinie 2002/49/EG)), wurde für die Literaturrecherche als nächtlicher Fluglärm jener Fluglärm verstanden, der im Zeitraum von 22:00 Uhr bis 07:00 Uhr auftritt. In diesem Zeitraum konnten jedoch auch kürzere Zeitfenster in der Literaturanalyse betrachtet werden. Studien, welche beispielsweise einen nächtlichen Gesamtlärmpegel (z. B. Straßen-, Schienen- und Luftverkehrslärm) oder die Fluglärmexposition nur für den Tag berücksichtigten, wurden ausgeschlossen.

Die Literatursuche erfolgte vorrangig in der Datenbank PubMed, zusätzlich wurden aktuelle, den Autor*innen bekannte Reviews zum nächtlichen Fluglärm eingeschlossen. In Abbildung 3 ist das Vorgehen der Literatursuche sowie die Anzahl der identifizierten Artikel anhand des PRISMA-Flussdiagramms (vgl. Moher et al. 2009) dargestellt.

Abbildung 3: Flussdiagramm zum Vorgehen zur Literatursuche bei der Literaturrecherche nach der PRISMA-Methode (Moher et al. 2009)



Quelle: Darstellung nach Moher et al. 2009

Eine detaillierte Dokumentation der Literaturrecherche, inkl. der verwendeten Suchbegriffe und dem Zeitpunkt der Suche, ist in Tabelle 6 dargestellt.

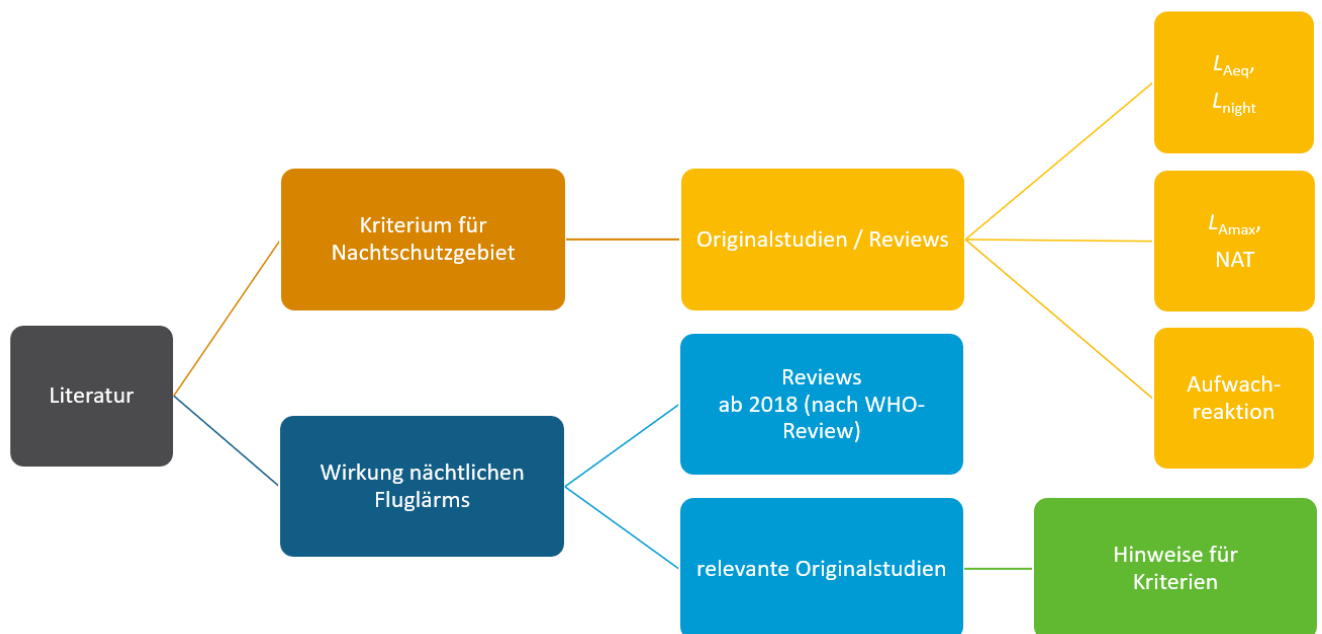
Tabelle 6: Dokumentation der Literaturrecherche

Dokumentation der Literaturrecherche	Durchführung
Zeitpunkt Recherche	August 2021
Ort der Recherche	PubMed
Begriffe für Recherche	(aircraft noise OR aviation noise OR plane noise OR jet noise) AND (sleep OR night OR awakening OR disturbance OR arousal OR nocturnal OR wake-up OR waking up OR movement) AND (index OR criterion OR criteria OR protection OR protected OR threshold OR limit OR policy OR legislation OR rule OR zone OR area)
Anzahl der Treffer	356
Anzahl in Vorauswahl aufgenommener Ergebnisse	33
Ein- und Ausschlusskriterien	Sprache: Deutsch, Englisch; Originalstudien ab 2015 und Reviews nach 2018; keine Tierversuche in Originalstudien
Anzahl gefilterter Treffer	21

2.3.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Zunächst werden die Reviews beschrieben, die zusätzlich zu den Artikeln aus der Literaturrecherche berücksichtigt wurden. Anschließend werden die Ergebnisse der identifizierten Originalstudien dargestellt. Eine Übersicht zur Berücksichtigung der verschiedenen Quellen ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Übersicht über relevante Literaturquellen



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS

2.3.1.1 Relevante Reviews

Basner und McGuire (2018) führten in einem systematischen Review für die WHO Meta-Analysen zu lärmbedingten Schlafstörungen durch, unter anderem auch für Fluglärm. Als Ergebnis ergaben sich zwei Expositions-Wirkungskurven. Die erste Kurve zeigt die Wahrscheinlichkeit von polysomnographisch gemessenen zusätzlichen Aufwachreaktionen aufgrund von nächtlichem Fluglärm. Hier ergab sich eine erhöhte Aufwachwahrscheinlichkeit von $OR = 1,35$ ($KI=1,22-1,50$) pro 10-dB-Anstieg des ereignisbezogenen Kriteriums L_{ASmax} . Die zweite Expositions-Wirkungsfunktion bezieht sich auf die Beziehung zwischen selbstberichteten Schlafstörungen und L_{night} . Der Anteil hoch schlafgestörter Personen (%HSD; *percentage highly sleep disturbed*) ist signifikant assoziiert mit L_{night} ($OR=1,94$; $KI=1,64-2,33$; pro 10 dB). Anzumerken ist, dass sich die Fragen zur Erfassung der Schlafstörungen explizit auf Fluglärm beziehen. Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen selbstberichteter Schlafqualität basierend auf Fragen, ohne Referenz zum Fluglärm, und L_{night} gefunden.

Zwei weitere Reviews, die im Rahmen des EU-Projektes ANIMA (Aviation Noise Impact Management through novel Approaches; <https://anima-project.eu>) durchgeführt worden sind, lieferten Updates (Kranjec et al. 2019; Benz et al. 2021) zum WHO-Review von Basner und McGuire (2018). Insgesamt bekräftigen die dort identifizierten neuen Studien die Ergebnisse von Basner und McGuire (2018). Sowohl selbstberichtete als auch physiologisch gemessene Schlafstörungen hängen signifikant mit der Fluglärmbelastung zusammen, wobei selbstberichtete und physiologisch gemessene Schlafstörungen nicht zwingend übereinstimmen. Faktoren, wie die genutzte Exposition und die untersuchten Schlafwirkungen, beeinflussen die gefundene Effektstärke von Fluglärm. Es zeigt sich, dass auch die Anzahl an Lärmereignissen und die Maximalpegel relevant für die Untersuchung von Schlafwirkungen sein könnten.

2.3.1.2 Identifizierte Originalstudien

Die identifizierten Originalstudien unterscheiden sich im Hinblick auf den gewählten nächtlichen Zeitraum und das genutzte Kriterium. Die Kriterien umfassen hierbei insbesondere L_{night} und L_{Amax} sowie Aufwachreaktionen. Im Folgenden werden die Originalstudien anhand ihrer hauptsächlich verwendeten Kriterien beschrieben.

2.3.1.2.1 Studien zum Expositionsmaß L_{night}

In einer Studie untersuchten Rocha und Kolleg*innen (2019) die Wirkung von L_{night} (23:00-07:00 Uhr) auf verschiedene Schlafindikatoren. Neben Lärmbelästigung fanden sie unter anderem einen Zusammenhang zwischen L_{night} und selbstberichtete Schlafstörungen, einer schlechteren Schlafqualität und Einschlafschwierigkeiten. Anders als die Ergebnisse des WHO-Reviews (Basner & McGuire 2018), welches einen signifikanten Zusammenhang zwischen Fluglärmexposition und selbstberichtete Schlafstörungen fand, wenn sich die Fragen zu den Schlafstörungen explizit auf Lärm bezogen, wurde in der vorliegenden Studie ein Effekt zwischen L_{night} und Schlafstörungen ohne einen Lärmbezug in der Frage gefunden. Allerdings wurde Lärm im Befragungsthema erwähnt.

Im Rahmen der französischen DEBATS-Studie (*Discussion sur les Effets du Bruit des Aéronefs Touchant la Santé*) fanden Nassur und Kolleg*innen (2017) einen signifikanten Zusammenhang zwischen L_{night} und einer kurzen Schlafdauer (≤ 6 Stunden; $OR=1,63$; $KI=1,15-2,32$) sowie einem Müdigkeitsempfinden am Morgen ($OR=1,23$; 95 % $KI=1,00-1,54$).

Evrard und Kolleg*innen (2017) nutzten ebenfalls Daten der DEBATS-Studie und identifizierten einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem 10-dB-Anstieg im L_{night} und dem Risiko für Bluthochdruck ($OR=1,34$; 95 % $KI=1,00-1,97$), allerdings nur bei Männern. Im Einklang damit zeigten Dimakopoulou und Kolleg*innen (2017) ebenfalls einen signifikanten Zusammenhang

zwischen nächtlicher Fluglärmexposition und dem Vorkommen von Bluthochdruck (L_{night} ; OR=2,63; 95 % KI=1,21-5,71) sowie bei Betrachtung der Prävalenz und Inzidenz einen Zusammenhang mit diagnostizierten Herzrhythmusstörungen (OR=2,09; 95 % KI=1,07-4,08). Der L_{night} bezog sich in dieser Studie auf die Zeit zwischen 23:00 Uhr und 07:00 Uhr. Der Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm und dem Schlaganfallrisiko war nicht signifikant. Ähnliche Ergebnisse fanden Baudin und Kolleg*innen (2020), die für einen 10-dB-Anstieg in L_{night} ein signifikant erhöhtes Risiko für Bluthochdruck berichteten (RR = 1,03, 95 % KI=1,01–1,06).

Weiterhin fanden Baudin und Kolleg*innen (2019) signifikante Zusammenhänge zwischen erhöhtem Kortisol-Level ($\exp(\beta) = 1,11$; 95 % KI=1,02–1,20) sowie der stündlichen Variation der Kortisol-Level in Frauen bei einem 10-dB-Anstieg in L_{night} ($\exp(\beta) = 0,90$; 95 % KI=0,80–1,00). Einen signifikanten Zusammenhang zwischen L_{night} und der stündlichen Variation im Kortisol-Level fanden ebenfalls Lefèvre und Kolleg*innen (2017). Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen L_{night} und psychischen Erkrankungen gefunden werden (Baudin et al. 2018).

Douglas und Murphy (2016) verglichen drei Verkehrslärmquellen (Straßen-, Schienen- und Luftverkehr) im Hinblick auf selbstberichtete Schlafstörungen. Sie fanden, dass trotz gleicher Geräuschbelastung (gemessen in $L_{\text{Aeq},8h}$, $L_{\text{Amax},8h}$, $L_{\text{A90},8h}$ für die Nacht), Luft- und Straßenverkehrslärm höhere Schlafstörungen verursachen als Schienenverkehrslärm. Daraus schließen die Autoren, dass der äquivalente Dauerschallpegel allein zur Bestimmung von verkehrslärmbedingten Schlafstörungen ungeeignet ist.

Nguyen und Kolleg*innen (2018) untersuchten eine Veränderungssituation am Hanoi Bai International Airport. Hier wurde im Dezember 2014 ein neues Terminal errichtet, was zu einem Anstieg der Flugbewegungen von 20 % auf 30 % führte. Nguyen und Kollegin*innen führten eine Vorher-Befragung und zwei Nachher-Befragungen durch, um die Wirkung der Veränderung in der Fluglärmbelastung zu untersuchen. Die Änderung in L_{night} (22:00-06:00 Uhr) hatte einen signifikanten Effekt auf Schlaflosigkeit, jedoch nur bei Zunahme des Nachtpegels. Im Gegensatz dazu war der Effekt der Pegeländerung in L_{night} auf die Lärmbelästigung immer signifikant, selbst wenn sich die Geräuschbelastung verringerte.

McGuire und Kolleg*innen (2016) untersuchten den Einfluss von interindividuellen Unterschieden auf die Wirkung von nächtlichem Fluglärm (SPL) auf den Schlaf im Labor. Zwischen 39,1 % bis 65,3 % der Varianz in lärmbedingten Schlafstörungen seien auf interindividuelle Unterschiede zurückzuführen. Laut der Autor*innen ist es daher notwendig, die Zugrundelegung von durchschnittlichen Reaktionen auf Lärm in Lärmrichtlinien zu überdenken.

Eine Studie untersuchte den Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm ($L_{\text{Aeq},22-06}$) und dem Risiko einer Brustkrebserkrankung. Basierend auf einer Stichprobe von weniger als 5 Krebsfällen fanden sie ein erhöhtes Brustkrebsrisiko für die höchste nächtliche Fluglärmbelastung zwischen 55-59 dB (OR zwischen 2,10 - 5,16; Hegewald et al. 2017).

Ergebnisse einer weiteren Studie zeigten einen positiven Zusammenhang von Fluglärm tagsüber und Diabetesrisiko, jedoch nicht mit nächtlichem Fluglärm ($L_{\text{night},23-7h}$; Eze et al. 2017).

2.3.1.2.2 Studien zum Expositionsmaß L_{Amax}

Smith und Kolleg*innen (2020) fanden einen Zusammenhang zwischen selbstberichteten Aufwachreaktionen und L_{Amax} . Die Beziehung zwischen physiologisch-gemessenen Aufwachreaktionen und L_{Amax} war allerdings nicht signifikant, was möglicherweise auch mit der geringen Stichprobe zusammenhängt. Der Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm (22:00-06:00 Uhr) und Schlaganfall wurde von Seidler und Kolleg*innen (2018) untersucht. Mehr als sechs nächtliche Flugereignisse mit L_{Amax} von über 50 dB erhöhten das Risiko eines Schlaganfalls, auch wenn $L_{\text{Aeq},\text{night}}$ unter 40 dB lag und somit relativ gering war.

Weiterhin wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und $L_{Amax,1s}$ gefunden (Nassur et al. 2019a). Darüber hinaus wurde entdeckt, dass insbesondere ereignisbezogene Lärmmetriken mit physiologisch gemessener Schlafqualität zusammenhängen (Nassur et al. 2019b).

In einer anderen Studie wurde Fluglärm im Schlafzimmer von Teilnehmenden abgespielt (Schmidt et al. 2015). Die Ergebnisse zeigen, dass die selbstberichtete Schlafqualität in der Nachtlärm-Kondition im Vergleich zu den Kontrollnächten deutlich reduziert war. Zudem reduzierte sich die Arterienerweiterung signifikant und der Blutdruck war erhöht.

Elmenhorst und Kolleg*innen (2019) untersuchten anhand polysomnographischer Daten den Zusammenhang zwischen Aufwachreaktionen und drei verschiedenen Verkehrslärmquellen (Straße-, Schienen- und Luftverkehr). Anders als bei Lärmbelästigung wurde in der vorliegenden Studie eine höhere Aufwachwahrscheinlichkeit für Straßen- und Schienenverkehrslärm als für Luftverkehrslärm beobachtet. Die Autor*innen berichten beispielsweise von einer 7 % geringeren Wahrscheinlichkeit bei einem L_{Amax} von 70 dB durch Luftverkehrslärm aufzuwachen als durch Schienenverkehrslärm. Sie schlagen daher vor, neben der Langzeitlärmbelästigung auch physiologische Schlafindikatoren als Grundlage für Lärmschutzregelungen heranzuziehen.

2.3.1.2.3 Studien zu weiteren Indikatoren

Einige Autor*innen empfehlen das Hinzuziehen weiterer, ereignisbezogener Indikatoren wie beispielsweise die Anzahl der Lärmereignisse und L_{Amax} (z. B. Nassur et al. 2017; Nassur et al. 2019b; Douglas & Murphy 2016; Seidler et al. 2018).

Saucy und Kolleg*innen (2020) beschreiben in ihrem Artikel eine Methode, um den Zusammenhang zwischen nächtlichem Fluglärm und kardiovaskulär-bedingten Todesfällen zu untersuchen. Sie berechneten L_{Aeq} , L_{Amax} und NAT_{55} für verschiedene Zeitfenster in der Nacht und setzten diese in Verbindung mit kardiovaskulär-bedingten Todesfällen (tags und nachts). Bei NAT_{55} handelt es sich um die Anzahl der Flugereignisse über 55 dB. Es zeigte sich beispielsweise, dass für die Todesfälle am Tag, das Zeitfenster zwischen 19:00 und 23:00 Uhr die höchste Geräuschbelastung aufwies und für die Nachtstunden von 23:30 bis 06:00 Uhr morgens die geringste Exposition für alle drei Metriken.

2.3.1.2.4 Neue Indikatoren

Laut Wunderli und Kolleg*innen (2016) ist der Vorteil des Intermittency Ratios²⁵ (IR) die Beschreibung der Ereignishaftigkeit einer Lärmexposition, unabhängig vom L_{Aeq} . Dies sei allein mit dem L_{Aeq} oder anderen, ähnlichen Kriterien nicht möglich. Der IR könnte daher ein weiteres Kriterium sein. Allerdings stellen die Wirkungen des IR einen recht komplizierten Zusammenhang dar, bei dem die Ausprägung bzw. Wirkung stark von der Lärmquelle abhängt. Weiterhin scheint eine eher umgekehrt u-förmige Beziehung zwischen dem IR und den Störungs- bzw. Belästigungswirkungen vorzuliegen (Héritier et al. 2017). Aufgrund der Neuartigkeit und geringen Informationslage, wird vorgeschlagen, dieses Kriterium nicht zu nutzen, da es nicht validiert genug ist, um damit eine Nachtschutzzone zu definieren.

Eine weitere Studie, die nicht im Rahmen der durchgeführten Literatursuche eingeschlossen wurde, ist von Münzel und Kolleg*innen (2020). Sie untersuchten die Wirkung von oxidativem Stress bei Mäusen bei der nächtlichen Einspielung von Geräuschen (Fluglärm, weißes Rauschen). Die biologischen Indikatoren von oxidativem Stress schlugen an und waren in der Schlafphase stärker ausgeprägt als in der Wachphase. Dies könnte als Bestätigung für Aufwachreaktionen als Kriterium verstanden werden. Weiterhin waren die Wirkungen bei der Einspielung von

²⁵ Intermittency Ratio gibt den Anteil von einzelnen Lärmereignissen, die über einem bestimmten Wert liegen, in der Gesamtlärmbelastung an.

Fluglärm stärker als bei weißem Rauschen, was wiederum auf die Relevanz des intermittierenden Charakters von Fluglärm hinweisen könnte. Es handelt sich hierbei jedoch um Ergebnisse eines Tierversuchs; inwiefern die Wirkungen auch bei Menschen auftreten, muss in weiteren Studien untersucht werden.

3 Standortauswahl und Ermittlung der Immissionssituation

3.1 Standortauswahl

Die Standortauswahl hatte zum Ziel, einzelereignisbezogene Abgrenzungskriterien für ein Nachtschutzgebiet anzuwenden und zu vergleichen. Hierbei wurden Untersuchungsgebiete für eine Stichprobe an drei Verkehrsflughäfen in Deutschland ermittelt. Das Vorgehen bei der Wahl des Standortes wird im Folgenden erläutert.

3.1.1 Verkehrsentwicklung an verschiedenen deutschen Flughäfen

Aus den 16 internationalen Flughäfen und ca. 20 Regionalflughäfen in Deutschland sollten drei Flughäfen ausgewählt werden. Kriterien für die Auswahl waren hierbei:

1. Vorhandensein einer relevanten Fluglärmbelastung innerhalb des Nachtzeitraums (Zeitraum nach FluLärmG: 22:00-06:00 Uhr)
2. Vorhandensein von einzelereignisbezogenen Kenngrößen für Nachtschutzgebiete
3. Deutlich unterschiedliche nächtliche Belastung (sowohl hinsichtlich zeitlicher Verteilung als auch Intensität) in den betrachteten Gebieten bei vergleichbarem Mittelungspegel

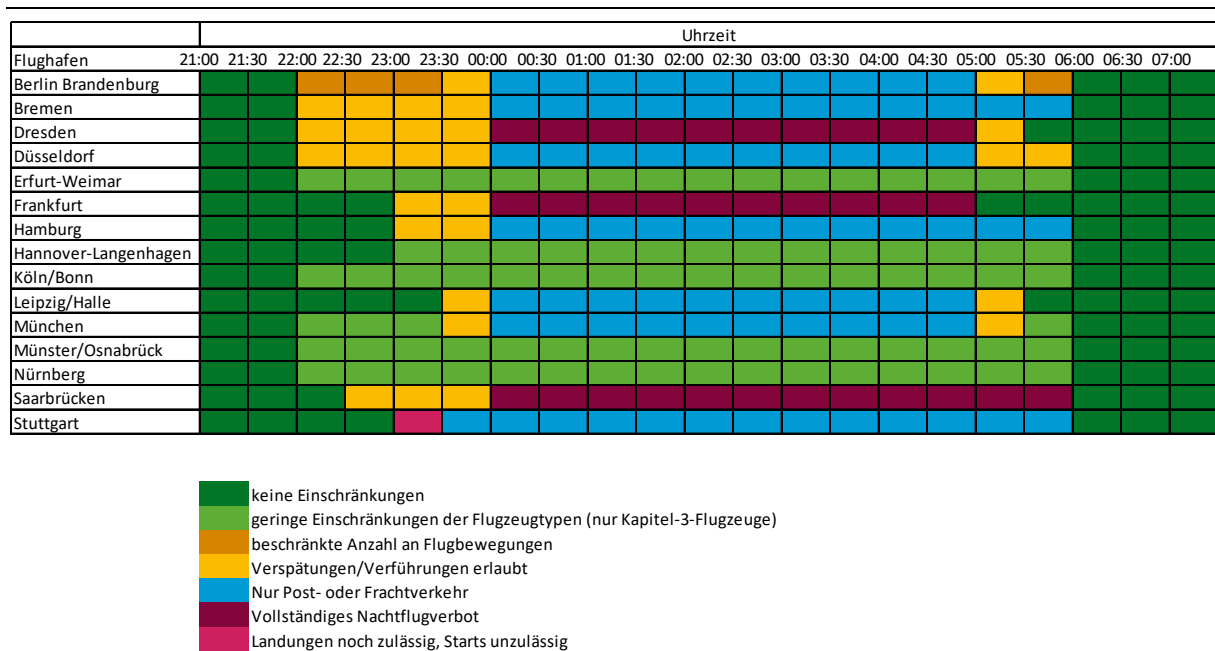
Entsprechend dem zweiten Auswahlkriterium bot sich an, verschiedene einzelereignisbezogene Kriterien zur Abgrenzung von Nachtschutzgebieten zu vergleichen und daher mindestens einen Flughafen zu wählen, der alternativ oder zusätzlich zu den Kriterien des FluLärmG ein weiteres einzelereignisbezogenes Kriterium für die Begrenzung des Nachtschutzgebiets anwendet. Aufgrund der vorgenommenen Recherchen wurden folgende Flughäfen aufgrund des ersten Auswahlkriteriums in Betracht gezogen:

- Leipzig/Halle und
- Frankfurt/Main.

Entsprechend dem dritten Auswahlkriterium, einer deutlich unterschiedlichen Fluglärmbelastung im Nachtzeitraum bei vergleichbarem Mittelungspegel, mussten mehrere Faktoren beachtet werden. Bei der Berechnung des Dauerschallpegels im Nachtzeitraum kann es unterschiedliche Bedingungen an den verschiedenen Flughäfen geben. Während manche Flughäfen nachts durchgehenden Betrieb durch Frachtflugverkehr aufweisen, haben andere Flughäfen ein hohes Verkehrsaufkommen in den Nachtrandstunden. Aufgrund dieser Gegebenheiten wurden im ersten Schritt Recherchen über das Vorhandensein von Nachtflugverkehr oder Nachtflugbeschränkungen an allen internationalen Flughäfen in Deutschland angestellt. Dahingehend kann dann zwischen dem Verkehrsaufkommen und der möglichen zeitlichen Ausdehnung der Nachtruhe unterschieden werden.

Die folgende Abbildung 5 zeigt über den Nachtzeitraum die für den jeweiligen internationalen Flughafen recherchierten Nachtflugbeschränkungen. Eine grüne Markierung zeigt die Zeiträume mit geringen oder keinen Nachtflugbeschränkungen.

Abbildung 5: Übersicht über Nachtflugbeschränkungen an verschiedenen Flughäfen in Deutschland



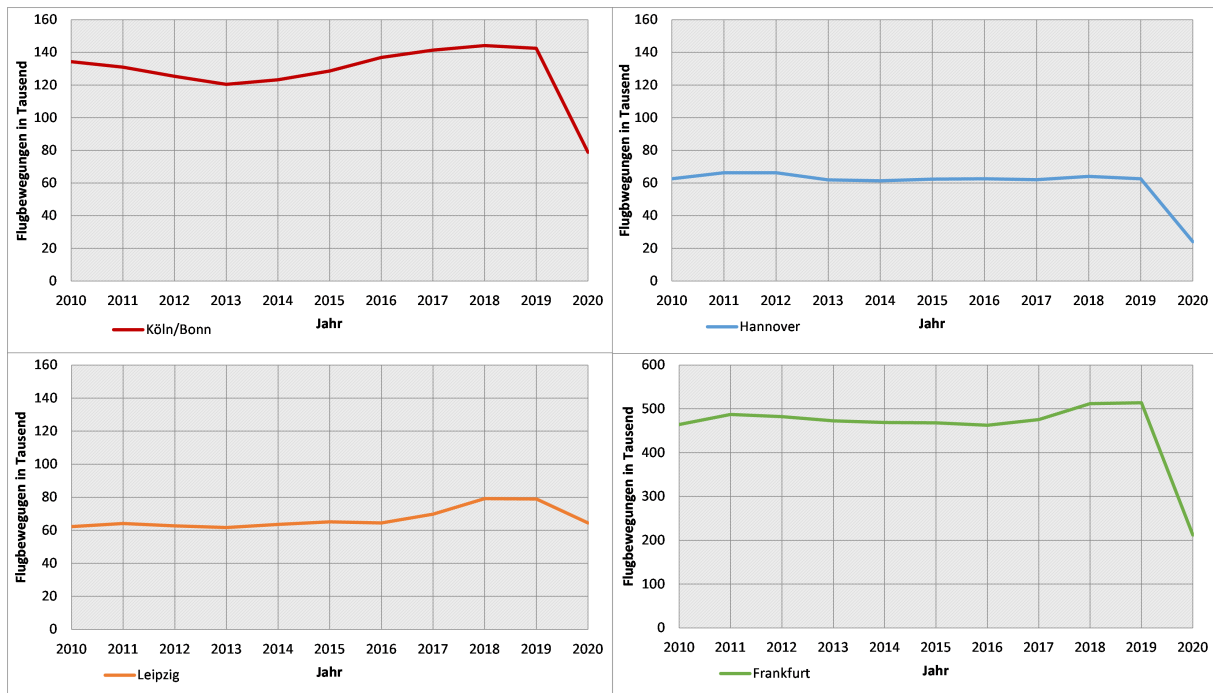
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Die Flughäfen Leipzig/Halle und Frankfurt/Main wurden bereits aufgrund des zweiten Auswahlkriteriums, dem Vorhandensein eines einzelereignisbezogenen Kriteriums für Nachtschutzgebiete, ausgewählt. Ergänzend sollte ein Flughafen gewählt werden, der ausschließlich nach FluLärmG beurteilt wird und durch Nachtflugverkehr einen möglicherweise vergleichbaren Mittelungspegel nachts aufweist. Hierfür kamen folgende Flughäfen, bei denen nachts noch ein relevanter Umfang an Nachtflugverkehr stattfindet, in Betracht:

- Hannover und
- Köln/Bonn.

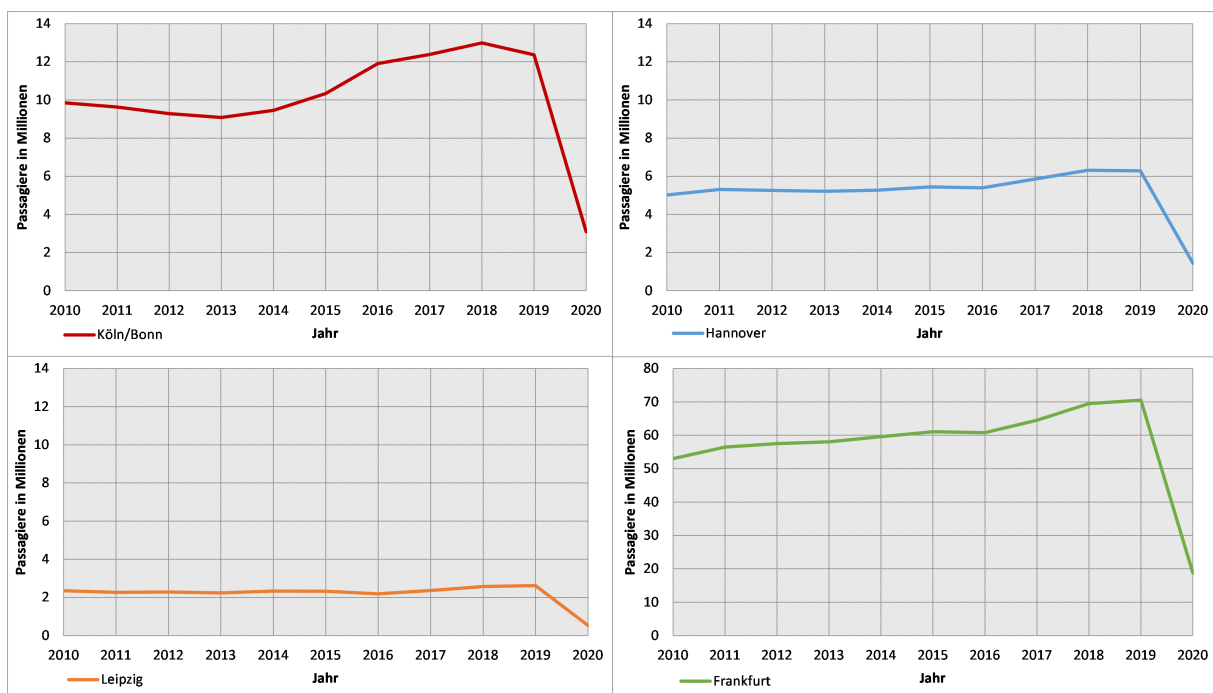
Um das Vorhandensein einer relevanten Fluglärmbelastung innerhalb des Nachtzeitraums zu quantifizieren, wurden Recherchen über die Nachtflugbewegungen der Flughäfen in der engeren Auswahl angestellt. Neben den Nachtflugbewegungen wurden auch der Frachtflugverkehr, die Gesamtzahl der Flugbewegungen sowie die Passagieranzahl ermittelt. Dies diente der Abschätzung der unterschiedlichen nächtlichen Belastung hinsichtlich der zeitlichen Dichte der Flüge, der möglichen zeitlichen Ausdehnung der Nachtruhe bzw. der Art der Flüge (Passagier-/Frachtflugverkehr) bei einem annähernd vergleichbaren Mittelungspegel. Abbildung 6, Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen die Verkehrsentwicklung an den vier in Betracht gezogenen Flughäfen in den Jahren 2010 bis 2020 (zum Zeitpunkt der Auswahl der Flughafenstandorte im Jahr 2021 repräsentierten diese Daten die vorangegangenen zehn Jahre).

Abbildung 6: Anzahl der Flugbewegungen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)



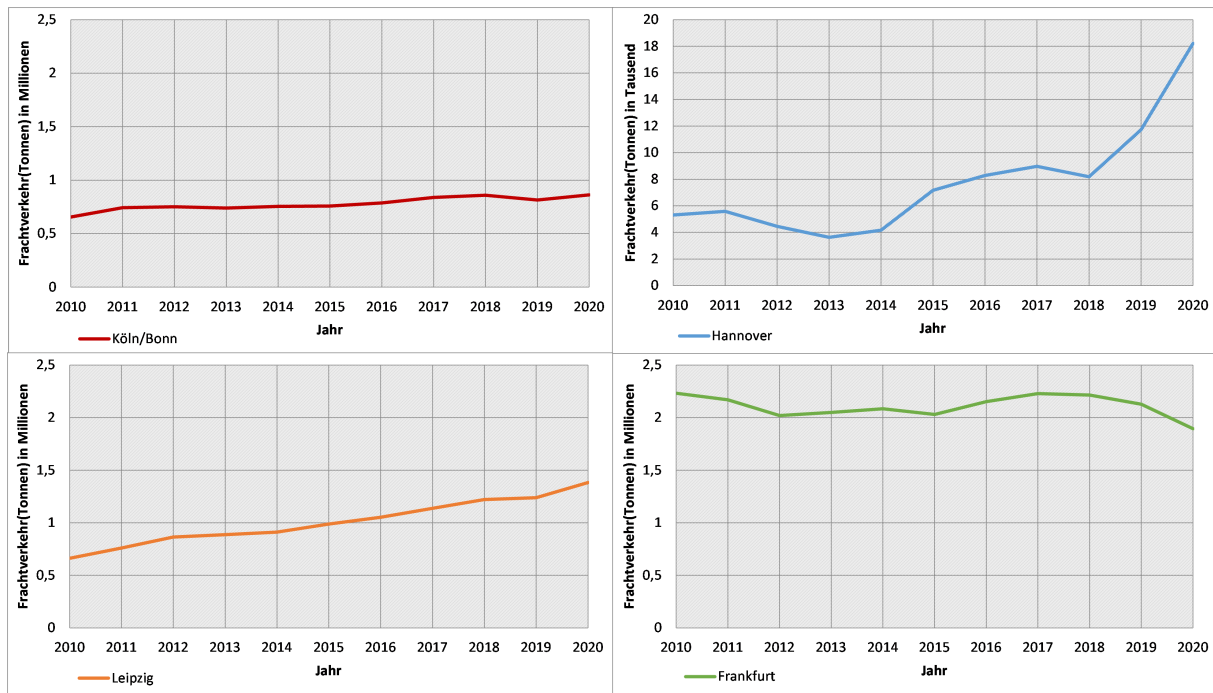
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 7: Passagieraufkommen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)



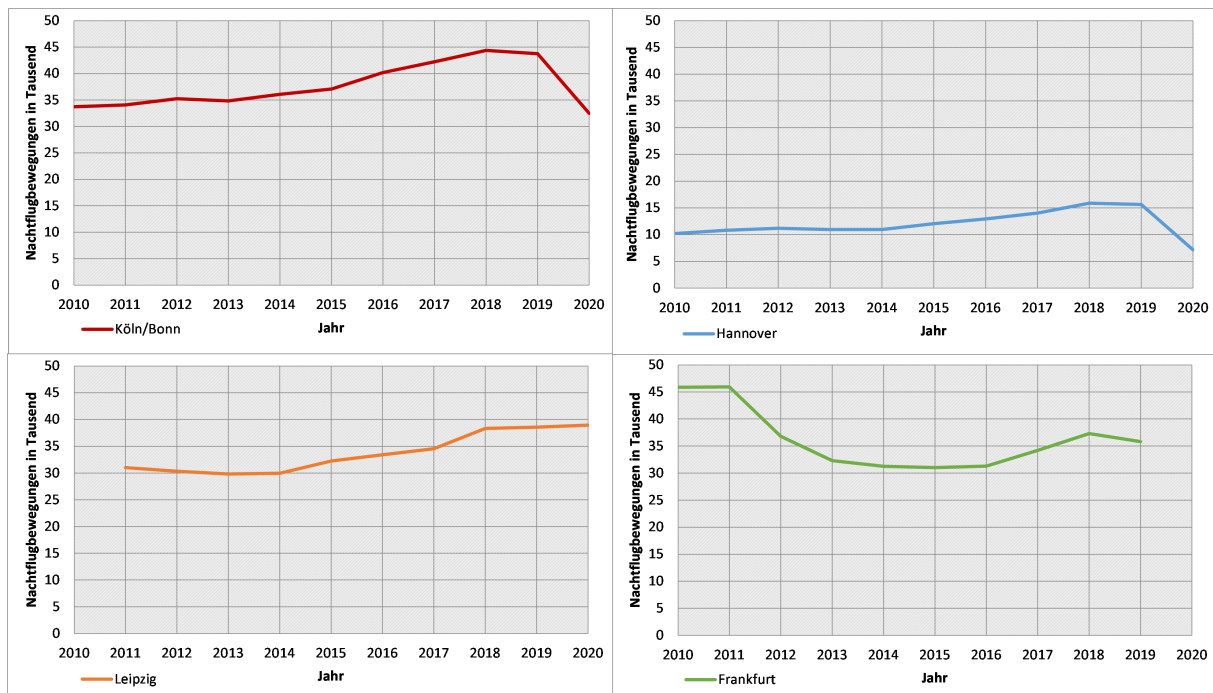
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 8: Frachtaufkommen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 9: Nachtflugbewegungen an den ausgewählten Flughäfen von 2010 bis 2020 (Flughafen Köln Bonn GmbH 2021, Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH 2021, Mitteldeutsche Flughafen AG 2021, Fraport AG 2021)



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Der prozentuale Anteil der Nachtflugbewegungen im Vergleich zu den gesamten Flugbewegungen betrug im Jahr 2019 in Köln/Bonn ca. 30 %, in Hannover ca. 25 % und Leipzig/Halle ca. 50 % sowie in Frankfurt/Main ca. 7 %. Einen zusammenfassenden Überblick über die Verkehrszahlen aus den Jahren 2020 sowie 2019 gibt Tabelle 7. Hieraus ist ein deutlicher Verkehrsrückgang durch die COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 ersichtlich. Eine Ausnahme bildete der Flughafen Leipzig/Halle, an dem durch ein erhöhtes Frachtflugaufkommen die Flugbewegungen im Jahr 2020 zugenommen hatten.

Tabelle 7: Verkehrszahlen verschiedener Flughäfen für die Jahre 2019 und 2020

Flughafen	Jahr	Passagiere	Fracht in Tonnen	Flugbewegungen	davon Nachtflugbewegungen	Nachtflugverkehr
Hannover	2020	1,4 Mio.	18.223	24.071	7.145	Ja
	2019	6,3 Mio.	11.719	62.580	15.655	
Köln/Bonn	2020	3,1 Mio.	863.000	78.864	32.469	Ja
	2019	12,4 Mio.	814.600	142.500	43.753	
Frankfurt/Main	2020	18,7 Mio.	1,9 Mio.	212.235	5.737 (Okt.)	2 Stunden
	2019	70,6 Mio.	2,1 Mio.	513.839	35.819	
Leipzig/Halle	2020	0,5 Mio.	1,4 Mio.	64.483	38.964	Ja, nur Frachtflug
	2019	26,2 Mio.	1,2 Mio.	78.979	38.583	

Anhand des zweiten Auswahlkriteriums wurden die Flughäfen Leipzig/Halle sowie Frankfurt/Main ausgewählt. Durch Recherche wurden die Flughäfen ermittelt, die relevanten Nachtflugverkehr aufweisen (Kriterium 1) sowie hinsichtlich unterschiedlicher zeitlicher Verteilung, Intensität oder Nutzungsart (Fracht- oder Passagierverkehr) dem dritten Kriterium entsprechen. Aufgrund von vorhandenem Nachtflugverkehr sowie vergleichbarer Nachtflugbelastung wurde Köln/Bonn als dritter Standort für die Untersuchung ausgewählt. Die folgenden Auflistungen fassen die Standorte sowie die verwendeten Kriterien zusammen:

Frankfurt/Main:

- ▶ Zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium (FNI) für die Definition eines Betrachtungsgebiets für ein Monitoring des nächtlichen Fluglärms und zur Maßnahmenbewertung
- ▶ Nachtflugverkehr in den Randstunden sonst Nachtflugverbot → Zahl der Nachtflugbewegungen vergleichbar mit Zahl der Nachtflugbewegungen der anderen betrachteten Flughäfen
- ▶ Hauptsächlich Passagierverkehr in den Nachtrandstunden
- ▶ Deutliche Unterscheidbarkeit hinsichtlich der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien durch Priorisierung des FNI

Leipzig/Halle:

- ▶ Zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium (AWR) und NAT-Kriterium
- ▶ Ausschließlich Frachtflugverkehr in den Nachtstunden mit 50 %-Anteil an den gesamten Flugbewegungen

- ▶ Anzahl an Nachtflugbewegungen vergleichbar mit denen an den anderen Untersuchungsstandorten

Köln/Bonn:

- ▶ Kein zusätzliches ereignisbezogenes Kriterium
- ▶ Kein Nachtflugverbot
- ▶ Frachtflugverkehr in den Nachtstunden
- ▶ Anzahl an Nachtflugbewegungen vergleichbar mit denen an den anderen Untersuchungsstandorten

3.1.2 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets an den ausgewählten Flughafenstandorten

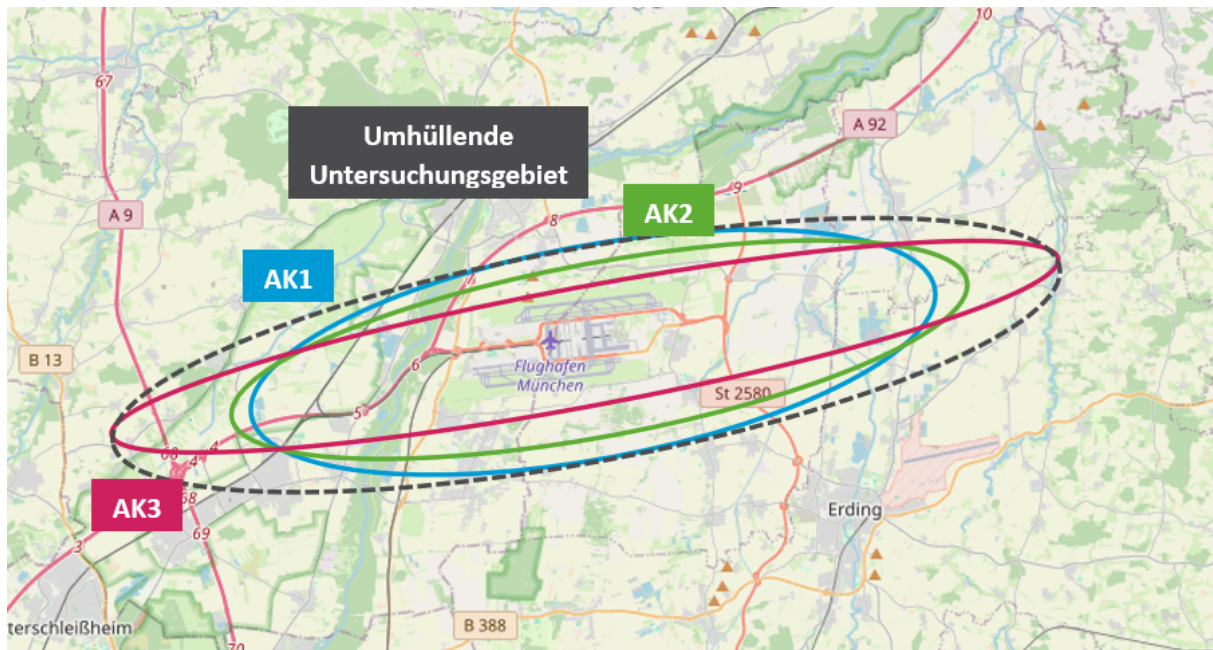
Im nächsten Schritt wurden an den drei ausgewählten Flughäfen Untersuchungsgebiete umgrenzt. Für die Selektion der Gebiete wurden Umgrenzungslinien für alle Abgrenzungskriterien für Nachtschutzgebiete, die dem Grundsatz nach (FluLärmG folgend vs. Hinzunahme zusätzlicher ereignisbezogener Kriterien) an den Flughäfen angewendet werden, berechnet. In Bezug auf die im Weiteren zu vergleichenden Abgrenzungskriterien (AK) sollten die Untersuchungsgebiete teils innerhalb bzw. außerhalb der Umgrenzungslinien für die verschiedenen Kriterien liegen.

Folgende Kriterien wurden berechnet:

- ▶ AK1: Nachtschutzgebiet nach FluLärmG durch die Umhüllende der Konturen 50 dB $L_{Aeq,Nacht}$ und NAT: $L_{Amax,innen} \geq 6*53$ dB („FluLärmG-Kriterium“). Es wurden die gegenüber Bestandsflughäfen niedrigeren Werte für neue und wesentlich geänderte Flugplätze verwendet, zumal die resultierenden Konturen immer noch eine kleinere Fläche umschließt als die Flächen nach Kriterium AK2 und AK3.
- ▶ AK2: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch die Umhüllende der Konturen $AWR \geq 1$ und NAT: $L_{Amax,außen} \geq 1*80$ dB („Leipzig/Halle-Kriterium“)
- ▶ AK3: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch das Gebiet, in dem im Mittel 0,75 oder mehr zusätzlich durch Fluglärm induzierte Aufwachreaktionen ($AWR \geq 0,75$) zu erwarten sind („FNI-Kriterium“)

Abbildung 10 veranschaulicht schematisch beispielhafte Umhüllende der drei gewählten Abgrenzungskriterien eines Untersuchungsgebiets.

Abbildung 10: Schematische und exemplarische Darstellung der räumlichen Abgrenzungen anhand unterschiedlicher Kriterien



Quelle: eigene symbolische Darstellung unter Nutzung von Openstreetmaps am Flughafen München, Möhler + Partner

3.2 Methodik zur Ermittlung der Immissionssituation

Zur Ermittlung der Immissionssituationen wurden Berechnungen nach dem Verfahren der „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen, AzB 2008“ durchgeführt. Zudem erfolgte die Ermittlung von Aufwachreaktionen innerhalb des Gebietes entsprechend der im FNI genutzten Expositions-Wirkungsbeziehungen auf Basis der Maximalschallpegelverteilung sowie nach dem AWR-Kriterium des Flughafens Leipzig/Halle (Basner et al. 2005).

Als Datengrundlage für die Berechnungen wurden für die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle FANOMOS-Daten über die Deutsche Flugsicherung (DFS; 2021) beschafft und verwendet. FANOMOS-Daten sind aufbereitete Radardaten, die den Flugverlauf eines Luftfahrzeugs beschreiben. Für den Flughafen Frankfurt/Main erfolgte keine Fluglärm Berechnung, weil hierfür eine Re-Analyse der umfangreichen Daten der NORAH-Studie vorgesehen war. Bereits in der NORAH-Studie auf der Grundlage von FANOMOS-Daten berechnete Maximalpegelstatistiken und Mittelungspegel standen für die vorliegende Studie zur Verfügung.

FANOMOS-Daten als direkte Eingangsgröße für die Berechnungen bieten den Vorteil, dass diese einen individuellen Zeitbezug für den untersuchten Zeitraum liefern. Die Daten wurden zunächst in das Rechenprogramm Soundplan 8.2 importiert. Um die Datensätze besser verwalten zu können, wurden diese in Datenbanken, die jeweils einen Kalendermonat umfassen, eingelesen. Bei der Selektion der Daten wurden ausschließlich FANOMOS-Daten mit Erfassungsbeginn zwischen 21:00 Uhr und 07:00 Uhr verwendet. Damit sollte sichergestellt werden, dass alle Flugverläufe, die im Nachtzeitraum (22:00 bis 06:00 Uhr) in der Flughafenumgebung erfolgten, berücksichtigt wurden und gleichzeitig die Datenmenge auf nachts relevante Flüge begrenzt ist.

Während in den üblicherweise verwendeten Datenerfassungssystemen (DES) die Flugbahn des Luftfahrzeugs im Regelfall nur zweidimensional beschrieben wird, repräsentieren die FANOMOS-Daten jeweils den dreidimensionalen Flugverlauf eines bestimmten Luftfahrzeugtyps. Davon ausgehend liefert jede Flugbewegung einen Beitrag (Schallexpositionspegel

L_{pAE}) an jedem Immissionsort zum Mittelungspegel. Grundlage hierfür sind die Rechenalgorithmen der AzB. Dabei wird jedem Flug eine AzB-Luftfahrzeugklasse zugeordnet. Die für jede Luftfahrzeugklasse in der AzB angegebenen Emissionsdaten (Quelldaten, Oktavbandpegel und Richtungs faktor) wurden zur Berechnung der Immissionen verwendet. Die Flugleistungsdaten der Luftfahrzeugklasse wurden durch Parameter, die aus den Radardaten ableitbar sind, ersetzt. So werden beispielsweise bei detektierten Horizontalflügen Segmente mit Zusatzpegeln versehen.

Für die Berechnungen wurden aus den Radardaten (FANOMOS) folgende Informationen verwendet:

1. Luftfahrzeugtyp, Einordnung in die jeweilige AzB-Luftfahrzeuggruppe bzw. -klasse
2. x-Koordinaten der Flugbewegungen;
3. y-Koordinaten der Flugbewegungen;
4. z-Koordinate als Funktion der Flugdistanz (Flugprofil);
5. Geschwindigkeitsprofile aus den Radardaten.

Die Höhenangaben in den FANOMOS-Daten wurden ohne barometrische Korrektur als Berechnungsgrundlage übernommen. Die Berechnungen erfolgten mit einem digitalen Geländemodell (DGM50).

Für die Berechnungen wurden aus den Statistiken der Datenbanken die sechs (nachts) verkehrsreichsten Monate des jeweiligen Jahres selektiert. Die Bezugsjahre für den jeweiligen Standort sind 2019 für Köln/Bonn und 2020 für Leipzig/Halle, da es in Leipzig/Halle im Pandemie-Jahr zu einer Steigerung des Nachtflugverkehrs kam. Beim Flughafen Frankfurt/Main wurden die Befragungsdaten der NORAH-Studie aus dem Jahr 2011 zusammen mit Expositionsdaten des Zeitraums 10/2010 – 09/2011 re-analysiert.

Bei den Berechnungen wurden folgende Bewertungskriterien angewendet:

- ▶ Mittelungspegel L_{Aeq} für den Zeitraum Nacht (22:00-06:00 Uhr) entsprechend FluLärmG für eine Abgrenzung nach AK1
- ▶ Anzahl ereignisbezogener Aufwachreaktionen (AWR) für eine Abgrenzung nach AK2 und AK3
- ▶ Inverses NAT-Kriterium (Maximalpegel L_{Amax} , der von einem Ereignis je Nacht überschritten wird) für eine Abgrenzung nach AK2
- ▶ Inverses NAT-Kriterium (Maximalpegel L_{Amax} , der von sechs Ereignissen je Nacht überschritten wird) für eine Abgrenzung nach AK1.

Mit diesen Bewertungsverfahren ergaben sich die Konturen der drei bereits angesprochenen Abgrenzungskriterien AK1 bis 3.

3.2.1 Flughafen Köln/Bonn

Für den Flughafen Köln/Bonn (EDDK) liegen die FANOMOS-Daten für das Jahr 2019, also vor Beginn der Pandemie, vor. Aus dem Datenimport ergaben sich die in Tabelle 8 aufgeführten Flugbewegungszahlen je Monat.

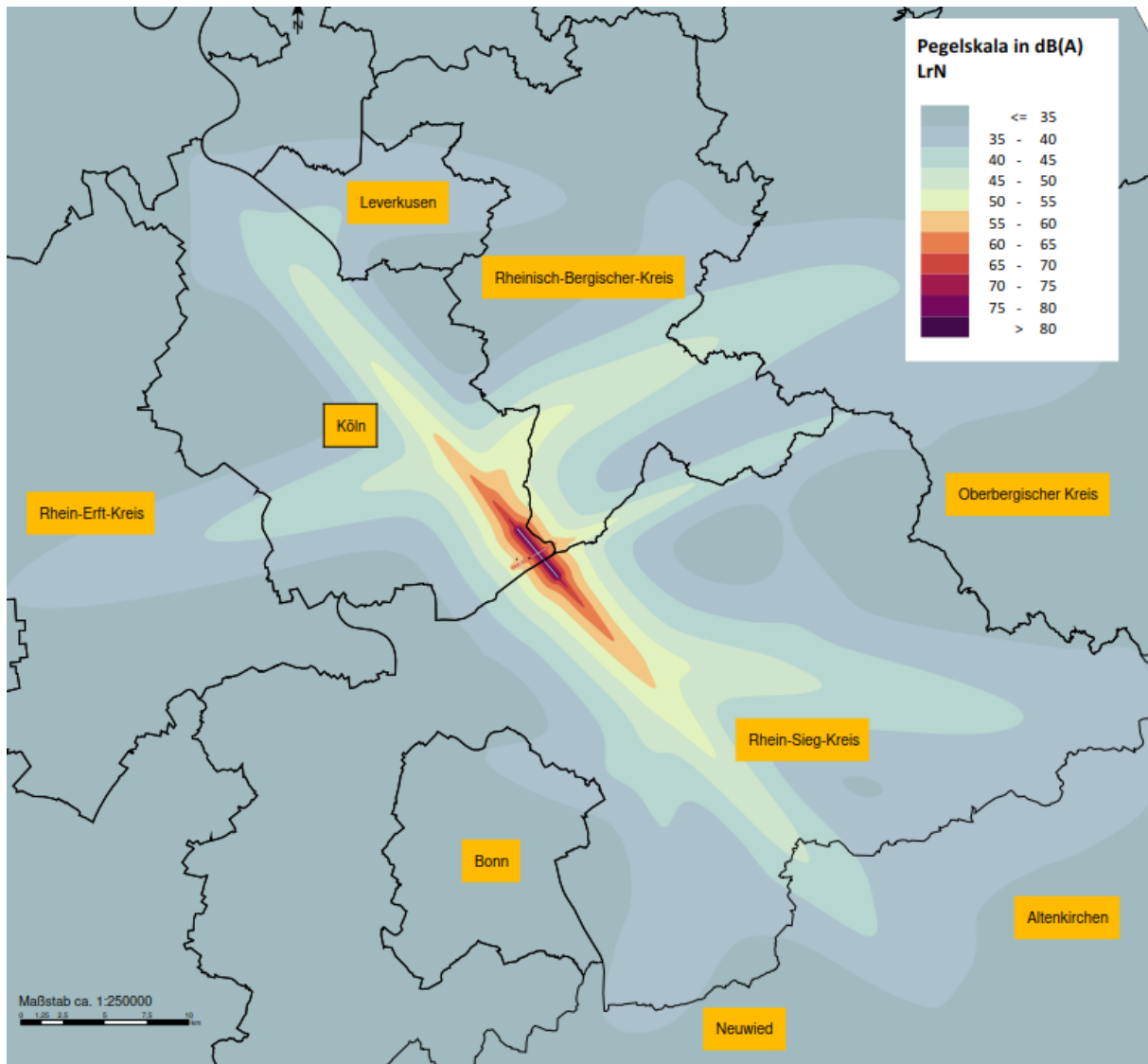
Tabelle 8: Anzahl der Flüge aus den FANOMOS-Daten und Fehlerrate für den Flughafen Köln/Bonn im Jahr 2019

Monat	Anzahl der Flugbewegungen	Fehlerhafte Radarspuren
Januar	10.024	3,76 %
Februar	9.652	4,93 %
März	10.703	3,58 %
April	11.473	4,93 %
Mai	13.089	3,32 %
Juni	13.181	2,42 %
Juli	14.005	2,59 %
August	13.915	2,90 %
September	13.931	3,43 %
Oktober	14.079	3,19 %
November	10.668	3,52 %
Dezember	10.223	2,45 %

Als Ergebnis der Statistik wurden die (üblicherweise) verkehrsreichsten sechs Monate des Jahres 2019 aus den Monaten Mai bis Oktober gebildet. Mit diesen Daten wurden anschließend unter Berücksichtigung der Vorgaben der AzB 2008 die für die drei Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 notwendigen Parameter berechnet.

Für den Flughafen Köln/Bonn ist in Abbildung 11 eine Darstellung der berechneten Mittelungspegel $L_{Aeq,Nacht}$ als Rasterkarte zu entnehmen.

Abbildung 11: Rasterkarte des nächtlichen Mittelungspegels in den verkehrsreichsten 6 Monaten in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten, Farbdarstellung nach DIN 45682

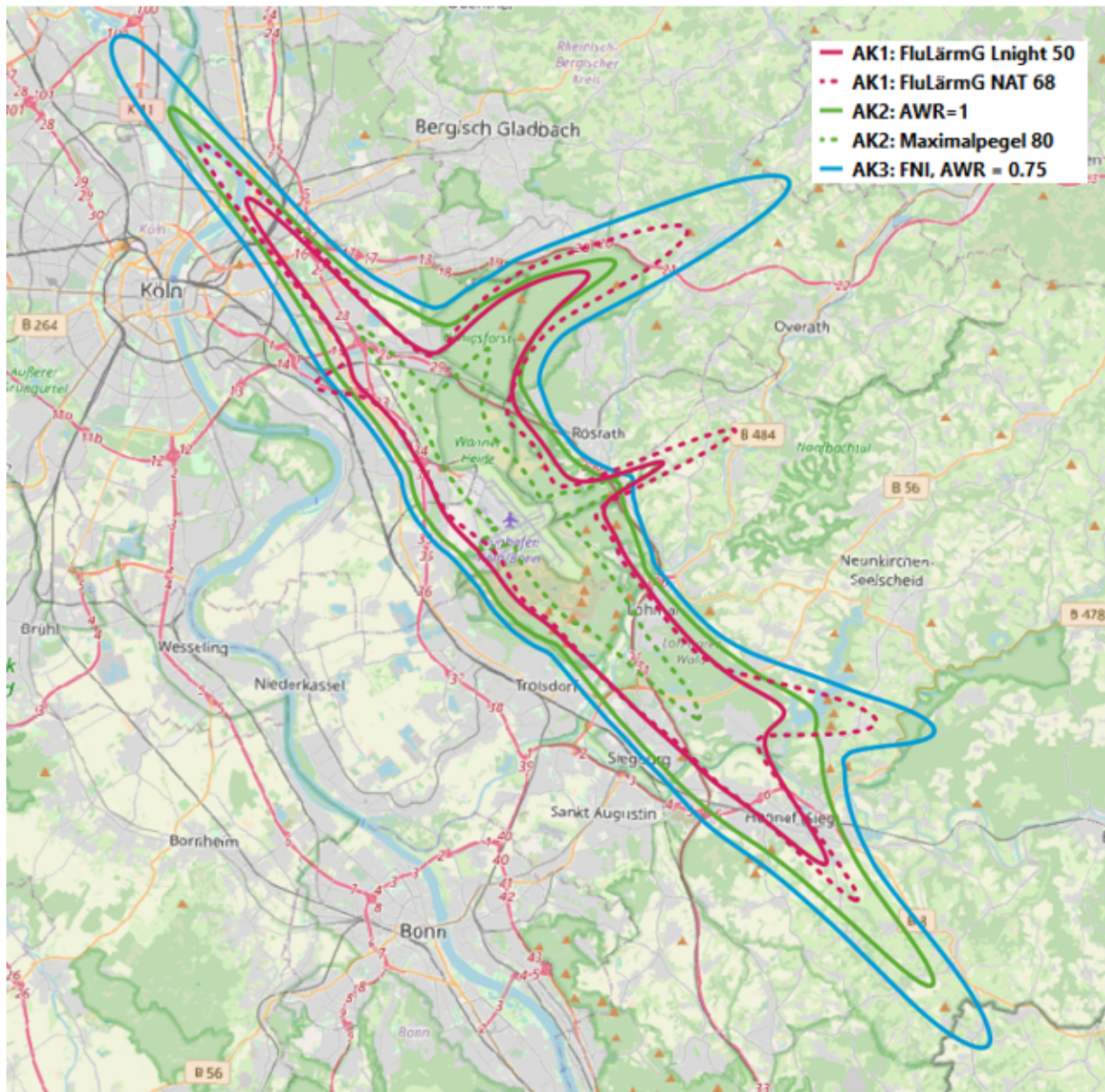


Quelle: eigene Darstellung Möhler + Partner

Mit Hilfe der Beurteilungsparameter können Umgrenzungslinien für die Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 gebildet werden. Die Umgrenzungslinien wurden im Shape-Format zur Auswahl der Untersuchungsgebiete zur Verfügung gestellt und im Weiteren auch zur Identifizierung der innerhalb eines Untersuchungsgebiets verfügbaren Adressen verwendet.

Da die Abgrenzungskriterien AK1 und AK2 jeweils aus der Überlagerung von zwei einzelnen Perimetern gebildet werden, sind in Abbildung 12 jeweils beide Kriterien einzeln (als durchgezogene und gestrichelte Linie derselben Farbe) dargestellt. Das Abgrenzungskriterium selbst wird dann aus der Umhüllenden der durchgezogenen und gestrichelten Linie derselben Farbe gebildet.

Abbildung 12: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten



Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Openstreetmap, Möhler + Partner

3.2.2 Flughafen Leipzig/Halle

Für den Flughafen Leipzig/Halle (EDDP) liegen die FANOMOS-Daten des Jahres 2020 vor, d. h. bereits während der Pandemie. In diesem Jahr kam es jedoch sogar zu einem Anstieg der nächtlichen Flugbewegungszahlen (vgl. Abbildung 9). Aus dem Datenimport ergaben sich für den Nachtzeitraum die in Tabelle 9 aufgeführten monatlichen Flugbewegungszahlen.

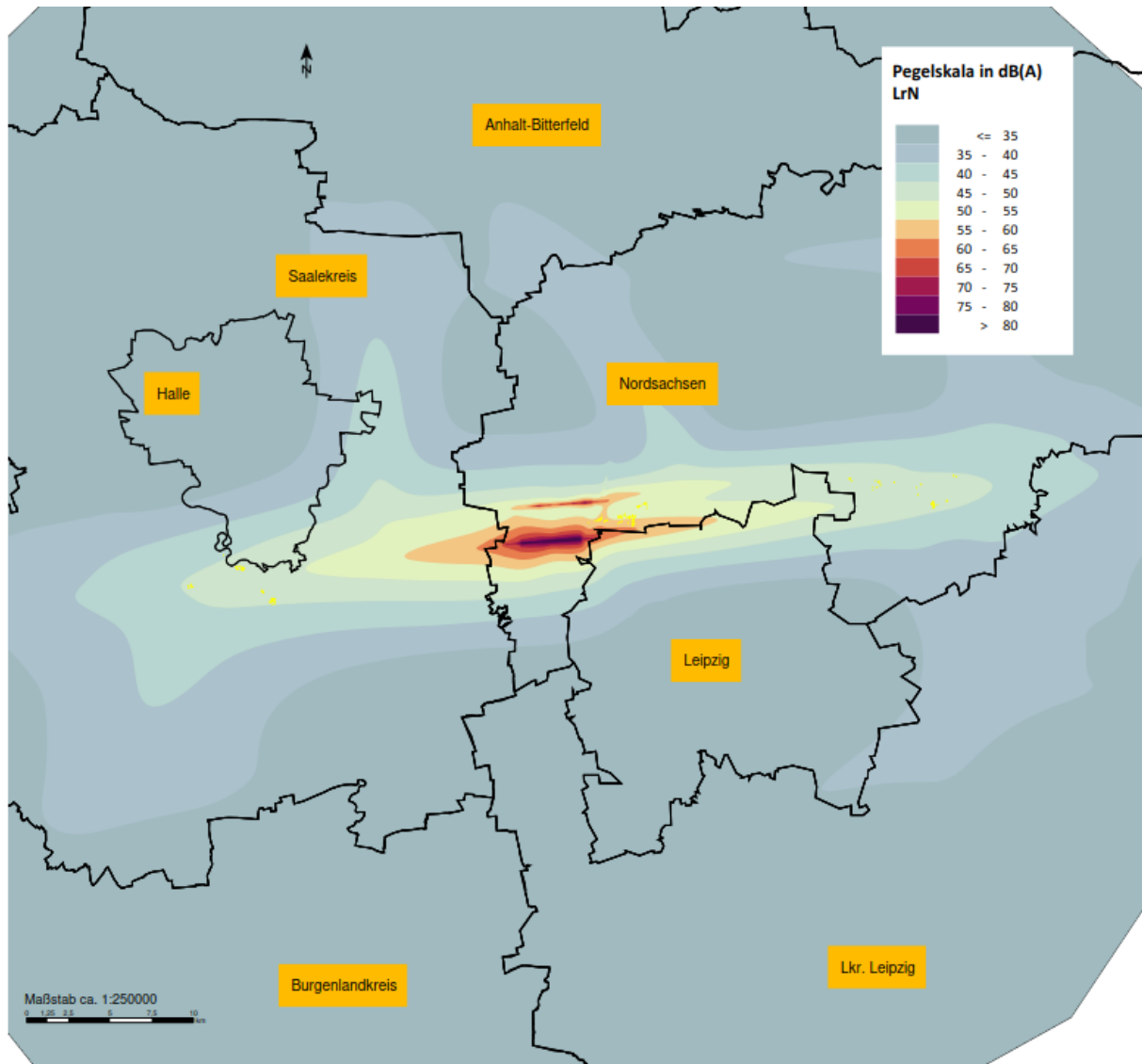
Tabelle 9: Anzahl der Flüge aus den FANOMOS-Daten und Fehlerrate für den Flughafen Leipzig/Halle im Jahr 2020

Monat	Anzahl der Flugbewegungen	Fehlerhafte Radarspuren
Januar	5.689	1,88 %

Monat	Anzahl der Flugbewegungen	Fehlerhafte Radarspuren
Februar	5.807	5,60 %
März	5.716	
April	4.582	
Mai	4.669	
Juni	4.997	2,88 %
Juli	5.395	
August	5.553	
September	5.341	
Oktober	5.456	1,57 %
November	5.579	2,01 %
Dezember	5.778	2,01 %

Als Ergebnis der Statistik wurden die verkehrsreichsten sechs Monate des Jahres 2020 aus den Monaten Januar bis März und Oktober bis Dezember gebildet. Mit diesen Daten wurden anschließend unter Berücksichtigung der Vorgaben der AzB 2008 die für die drei Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 notwendigen Parameter berechnet. Für den Flughafen Leipzig/Halle sind in Abbildung 13 die berechneten Mittelungspegel $L_{Aeq,Nacht}$ als Rasterkarte dargestellt.

Abbildung 13: Rasterkarte des nächtlichen Mittelungspegels in den verkehrsreichsten 6 Monaten in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle im Jahr 2020 auf Basis der FANOMOS-Daten, Farbdarstellung nach DIN 45682

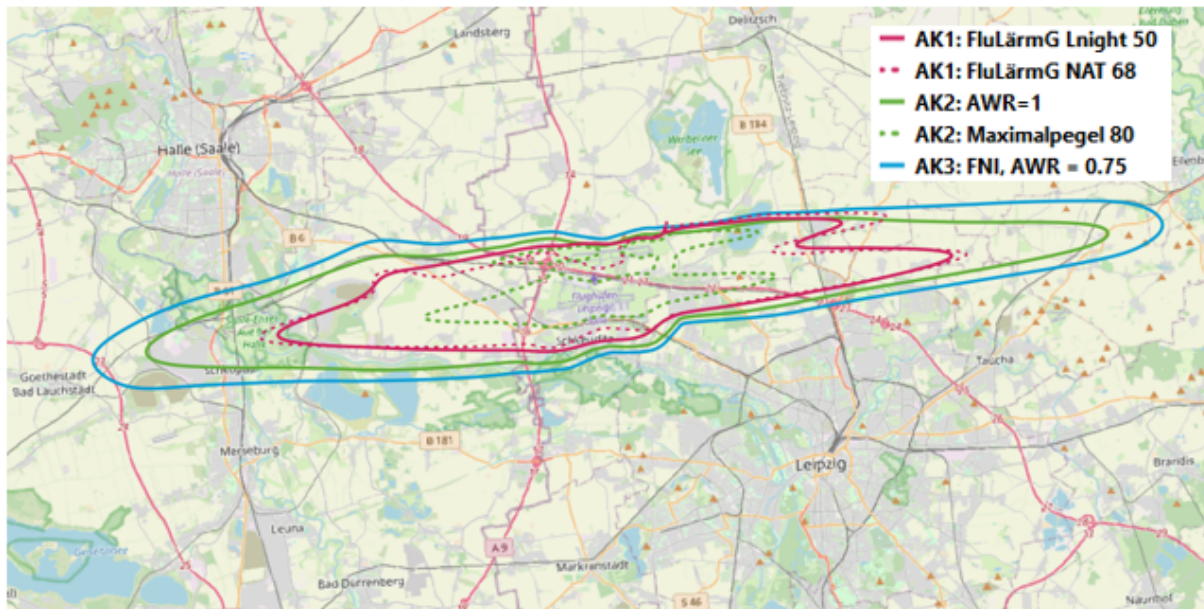


Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Mit Hilfe der Beurteilungsparameter können Umgrenzungslinien für die Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 gebildet werden. Die Umgrenzungslinien wurden im Shape-Format zur Auswahl der Untersuchungsgebiete zur Verfügung gestellt und im Weiteren auch zur Identifizierung der innerhalb eines Untersuchungsgebiets verfügbaren Adressen verwendet.

Da die Abgrenzungskriterien AK1 und AK2 jeweils aus der Überlagerung von zwei einzelnen Perimetern gebildet werden, sind in Abbildung 14 jeweils beide Kriterien einzeln (als durchgezogene und gestrichelte Linie derselben Farbe) dargestellt. Das Abgrenzungskriterium selbst wird dann aus der Umhüllenden der durchgezogenen und gestrichelten Linie derselben Farbe gebildet.

Abbildung 14: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle im Jahr 2020 auf Basis der FANOMOS-Daten



Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Openstreetmap, Möhler + Partner

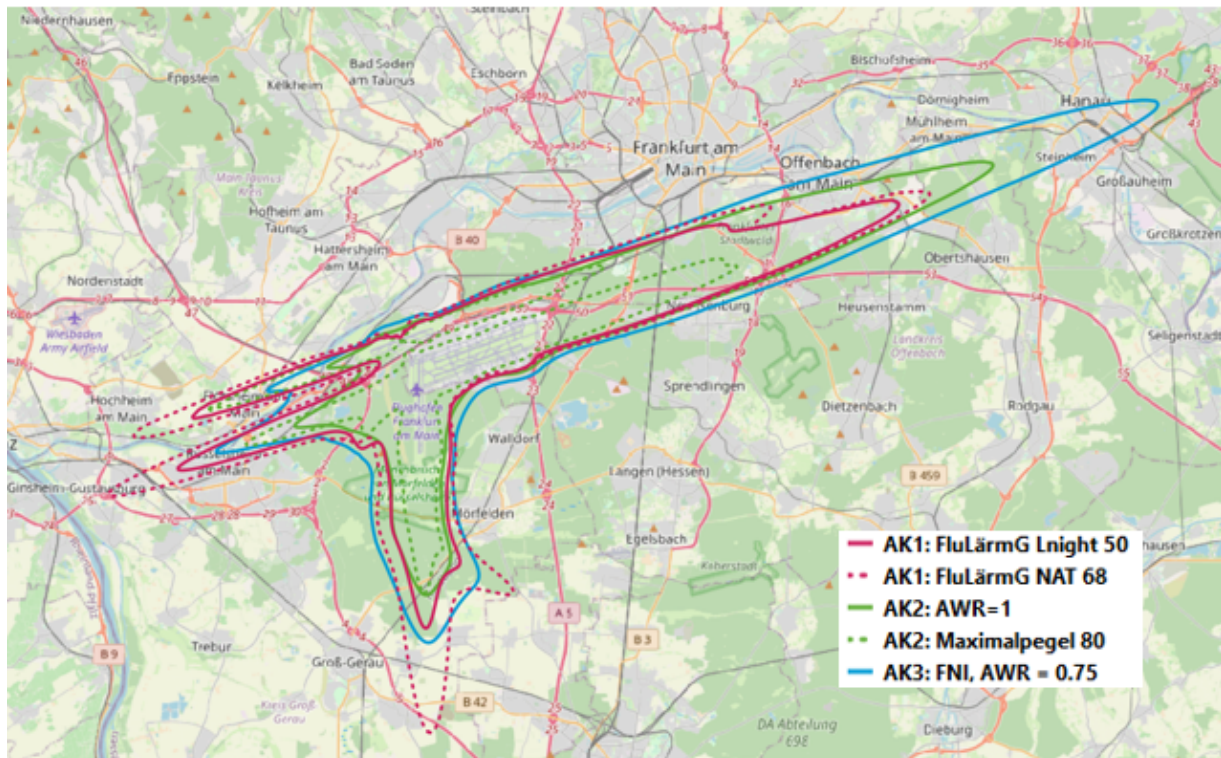
3.2.3 Flughafen Frankfurt/Main

Für den Flughafen Frankfurt/Main (EDDF) wurden zunächst auch die FANOMOS-Daten des Jahres 2019 (vor der Pandemie) aus den Monaten Januar bis Dezember verwendet. Hier bilden die Monaten Mai bis Oktober die verkehrsreichsten sechs Monate des Jahres 2019. Mit diesen Daten wurden dieselben Berechnungen wie für die beiden vorigen Flughäfen durchgeführt. In Abbildung 15 ist eine Darstellung der berechneten Mittelungspegel $L_{Aeq,Nacht}$ als Rasterkarte zu entnehmen.

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojekts zeigte sich jedoch, dass keine ausreichende Besetzung der Klassen für die vorgesehene Befragung möglich ist. Es wurde daher entschieden, für den Flughafen Frankfurt/Main die Daten der NORAH-Studie, Modul 1 Belästigungsstudie, zu re-analysieren. Die Berechnungsmethode dieser Studie ist in Möhler et al. (2015, Kapitel 2) beschrieben und erfolgte analog zu den Berechnungen für die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle. Die Datenquelle sind FANOMOS-Daten unter Berücksichtigung der z-Koordinate und der Geschwindigkeit aus den Radardaten und unter Verwendung der AzB 2008 als Berechnungsvorschrift. Die Berechnungen unterscheiden sich lediglich dadurch, dass anstelle von Rasterberechnungen zur Ermittlung einer Kontur Einzelpunktberechnungen für jede Befragtenadresse durchgeführt wurden.

Der Umfang der Berechnungen in der NORAH-Studie sind derart detailliert, dass für jeden Berechnungspunkt ermittelt werden kann, ob er inner- oder außerhalb des jeweiligen Abgrenzungskriteriums AK1 bis 3 liegt. Die berechneten Parameter sind u. a. Mittelungspegel L_{Aeq} für unterschiedlichste Zeitscheiben (u. a. auch 22:00-06:00 Uhr), Anzahl der Überschreitungen von Maximalpegelwerten L_{Amax} je Tag in Schritten von 1 dB zwischen 50 und 110 dB getrennt nach Tag und Nacht. Aus diesen Werten konnten alle interessierenden Werte wie die Anzahl der Aufwachreaktionen und die Pegel, die durch ein bzw. sechs Ereignisse je Nacht überschritten werden, ermittelt werden. Letztere dienten dazu, den Maximalpegel je Nacht und die Unter- bzw. Überschreitung des NAT6-Kriteriums des FluLärmG festzustellen.

Abbildung 16: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Frankfurt/Main im Jahr 2019 auf Basis der FANOMOS-Daten



Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Openstreetmap, Möhler + Partner

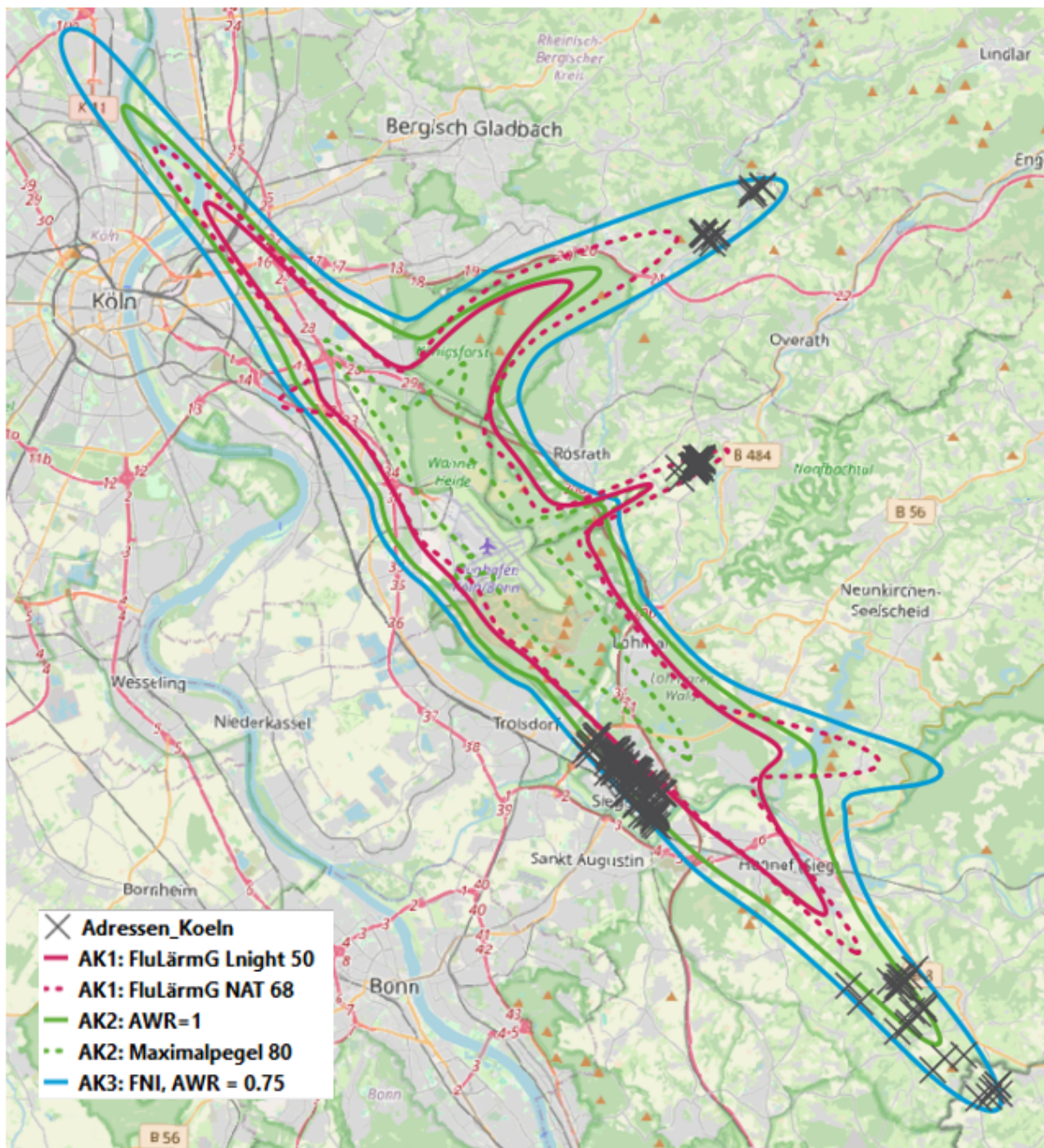
3.3 Darstellung der Immissionssituationen der Befragten

Unter Zugrundelegung von (für die Schallberechnung anonymisierten) Adressdaten wurden für jede Adresse, an der eine Befragung stattgefunden hatte, alle erforderlichen Parameter, die zur Bestimmung des Abgrenzungskriteriums (AK1 bis AK3) notwendig waren, berechnet (siehe Berechnungsmethode in Abschnitt 3.1.2).

3.3.1 Flughafen Köln/Bonn

Im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn wurden insgesamt 196 Personen befragt. Die Lage der Adressen in Bezug auf die Abgrenzungskriterien kann Abbildung 17 entnommen werden.

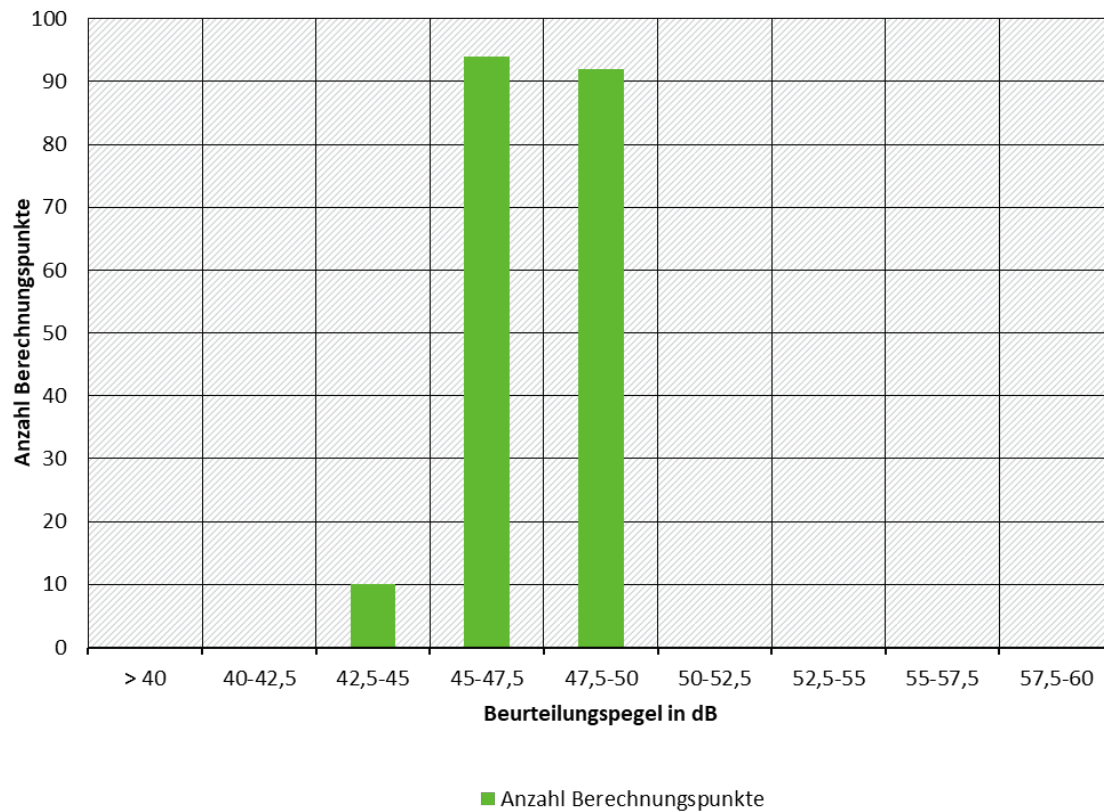
Abbildung 17: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Köln/Bonn und Lage der Befragten-Adressen



Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Openstreetmap, Möhler + Partner

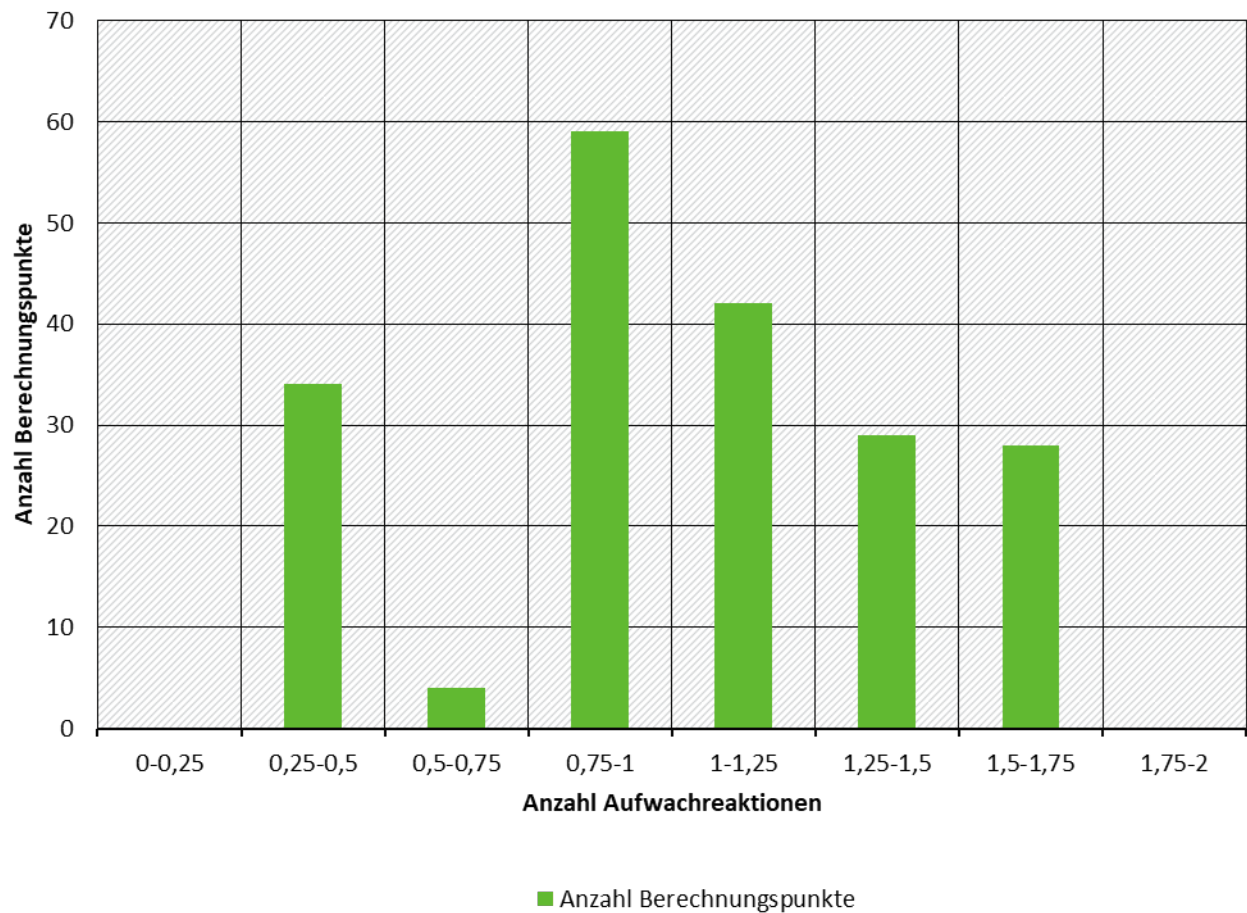
Aus den individuellen Berechnungen für die Teilnehmenden an der Befragung ergeben sich im Umfeld des Flughafens Köln/Bonn die in Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 dargestellten Verteilungen. Dabei kann es im Einzelfall vorkommen, dass an einem Berechnungspunkt mehr als eine Person befragt wurde. Da die Daten jedoch aus Gründen des Datenschutzes nur anonymisiert anhand der Verortung berechnet wurden, kann kein Rückschluss auf die Zahl der Teilnehmenden gezogen werden.

Abbildung 18: Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn



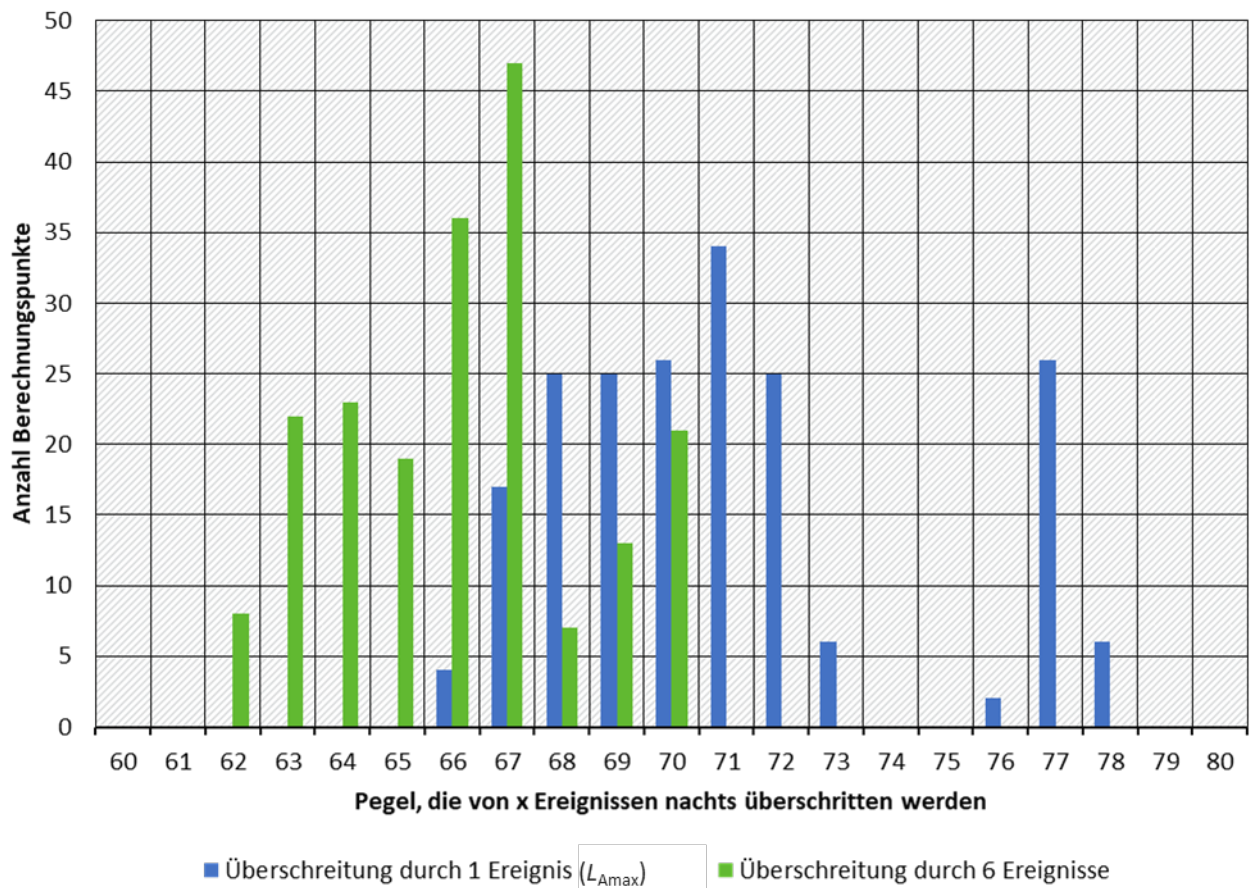
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 19: Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 20: Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15) \text{ dB} = 68 \text{ dB}$; Teilkriterium AK2: $NAT: L_{Amax} = 1 \cdot 80 \text{ dB}$), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Köln/Bonn nachts



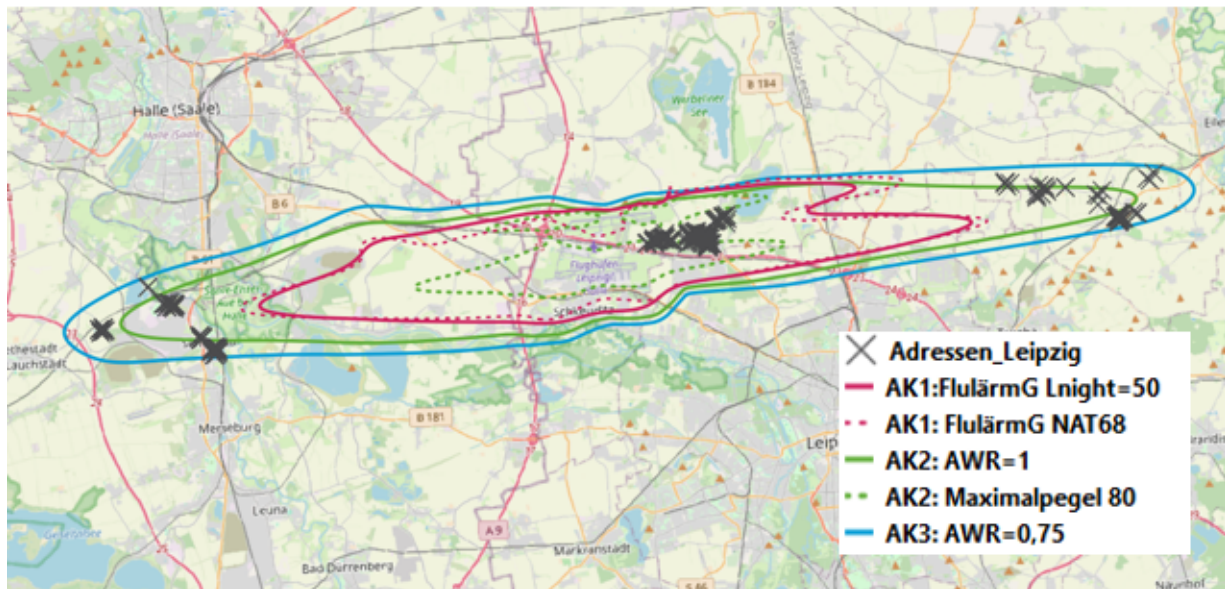
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Aus den Überlagerungen der Darstellungen der Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 ist ersichtlich, dass die Teilnehmenden sowohl innerhalb als auch außerhalb der Umgrenzungslinien der drei Abgrenzungskriterien AK1 bis AK3 ansässig sind.

3.3.2 Flughafen Leipzig/Halle

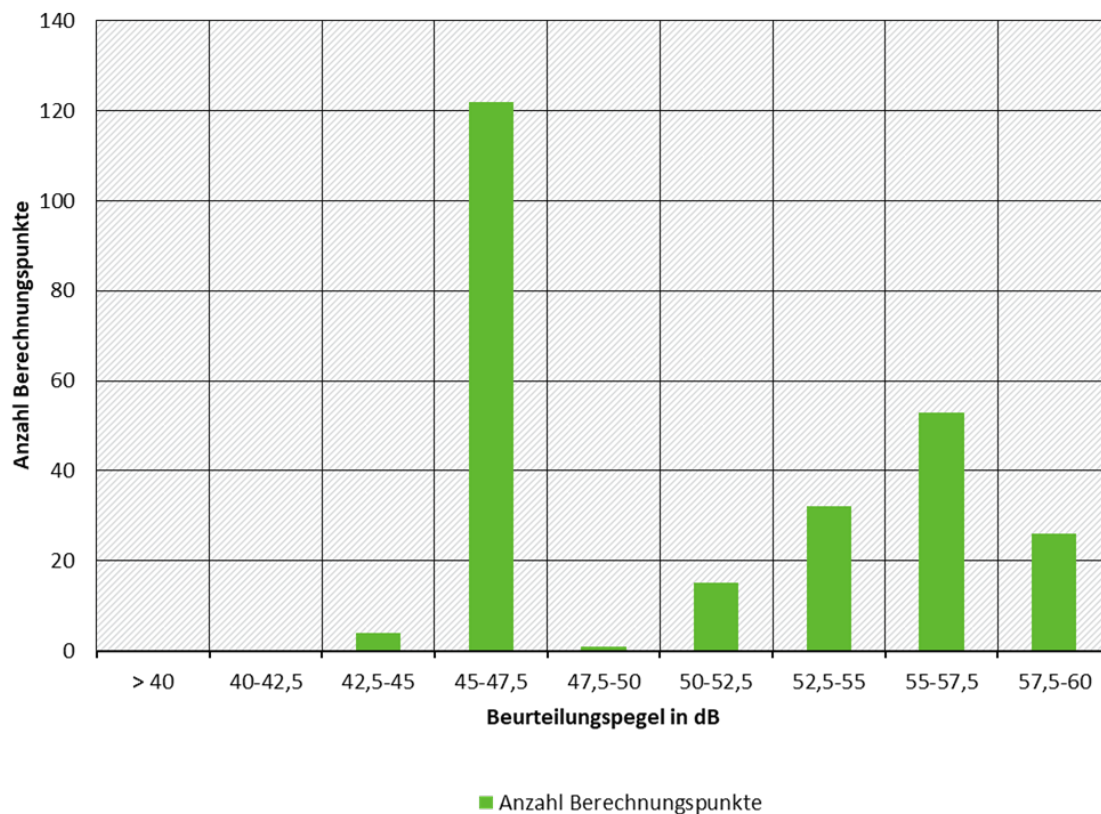
Im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle wurden insgesamt 253 Personen befragt. Die Lage der Adressen in Bezug auf die Abgrenzungskriterien ist in Abbildung 21 dargestellt. Aus den individuellen Berechnungen für die Teilnehmenden an der Befragung ergeben sich im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle die in Abbildung 22, Abbildung 23 und Abbildung 24 dargestellten Verteilungen.

Abbildung 21: Umgrenzungslinien der Abgrenzungskriterien AK1 bis 3 in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle und Lage der Befragten-Adressen



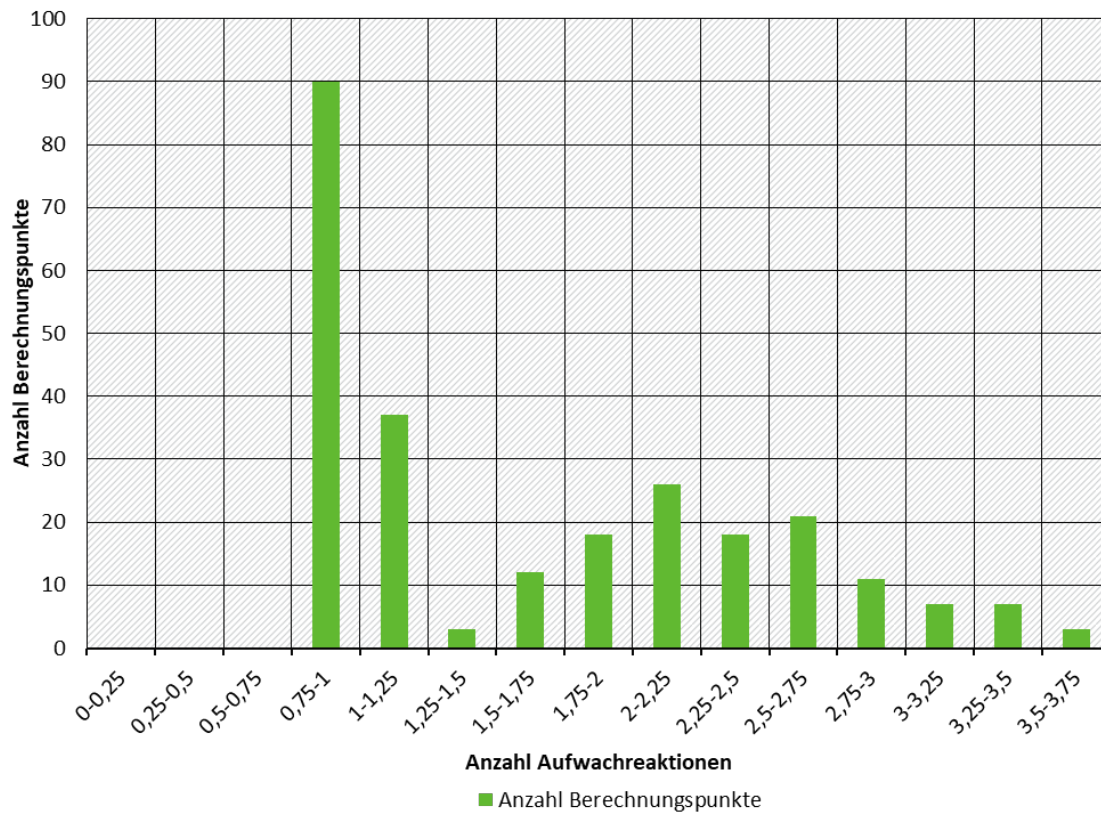
Quelle: eigene Darstellung unter Nutzung von Openstreetmap, Möhler + Partner

Abbildung 22: Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle



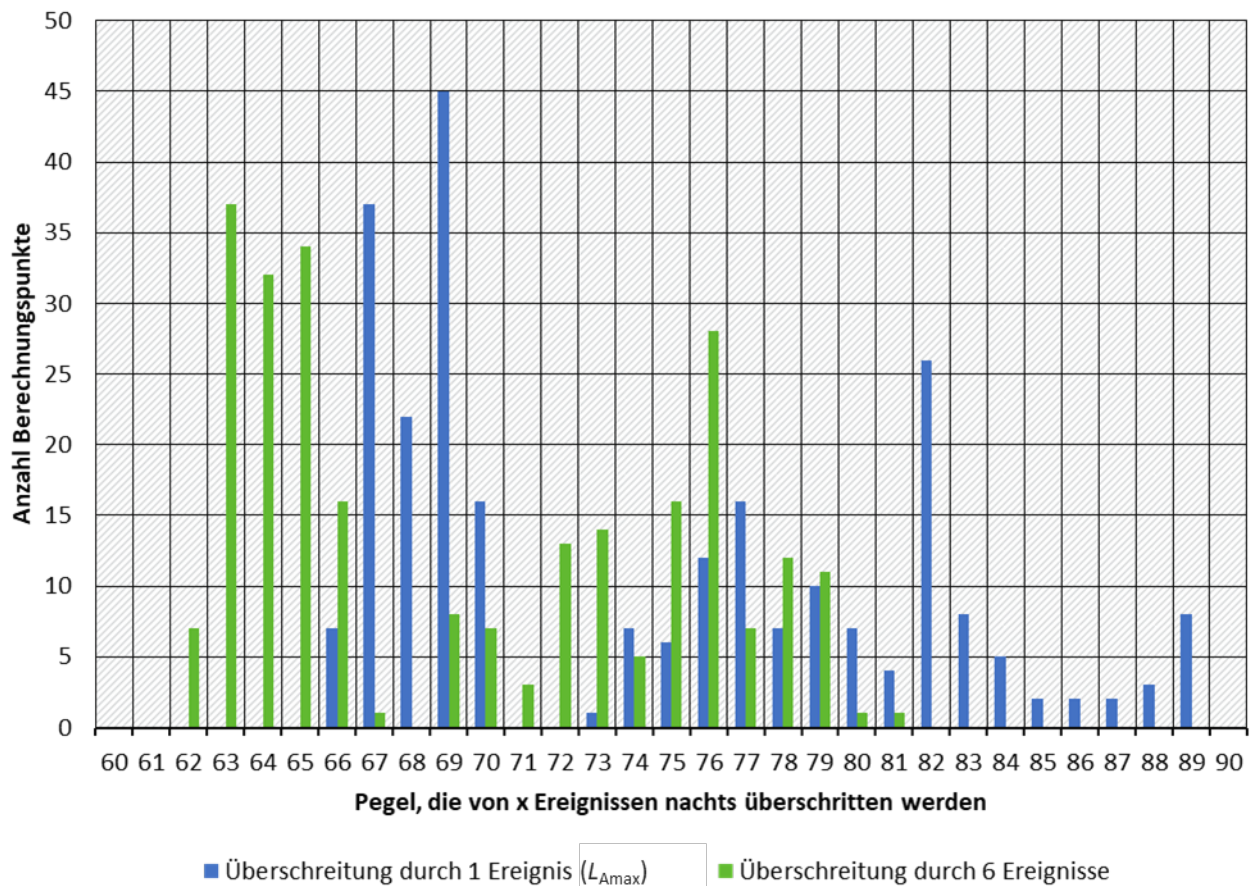
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 23: Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 24: Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15) \text{ dB} = 68 \text{ dB}$; Teilkriterium AK2: NAT: $L_{Amax} = 1*80 \text{ dB}$), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Leipzig/Halle nachts



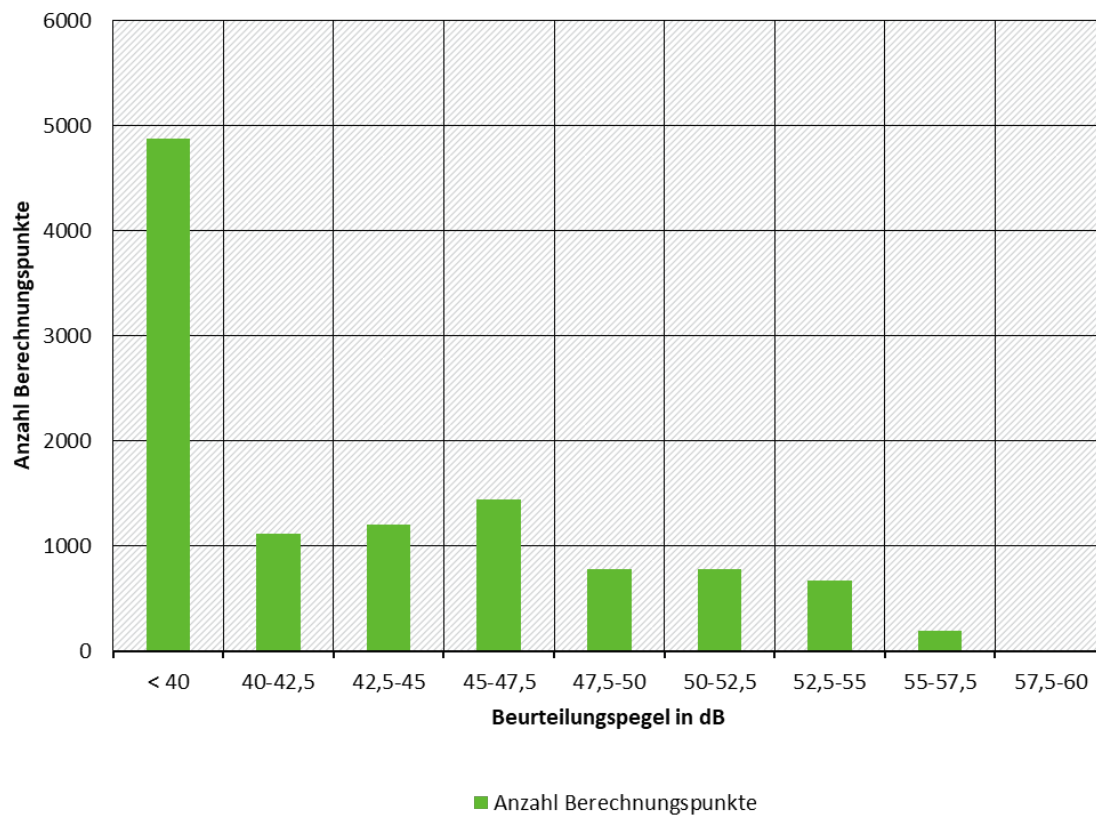
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Aus den Überlagerungen der Darstellungen der Abbildung 22, Abbildung 23 und Abbildung 24 ist ersichtlich, dass die beiden Abgrenzungskriterien AK1 (FluLärmG) und AK2 (Leipzig/Halle-Kriterium) durch Teilnehmende sowohl über- als auch unterschritten werden. Das Kriterium AK3 (FNI-Kriterium) wird jedoch von allen Teilnehmenden überschritten.

3.3.3 Flughafen Frankfurt/Main

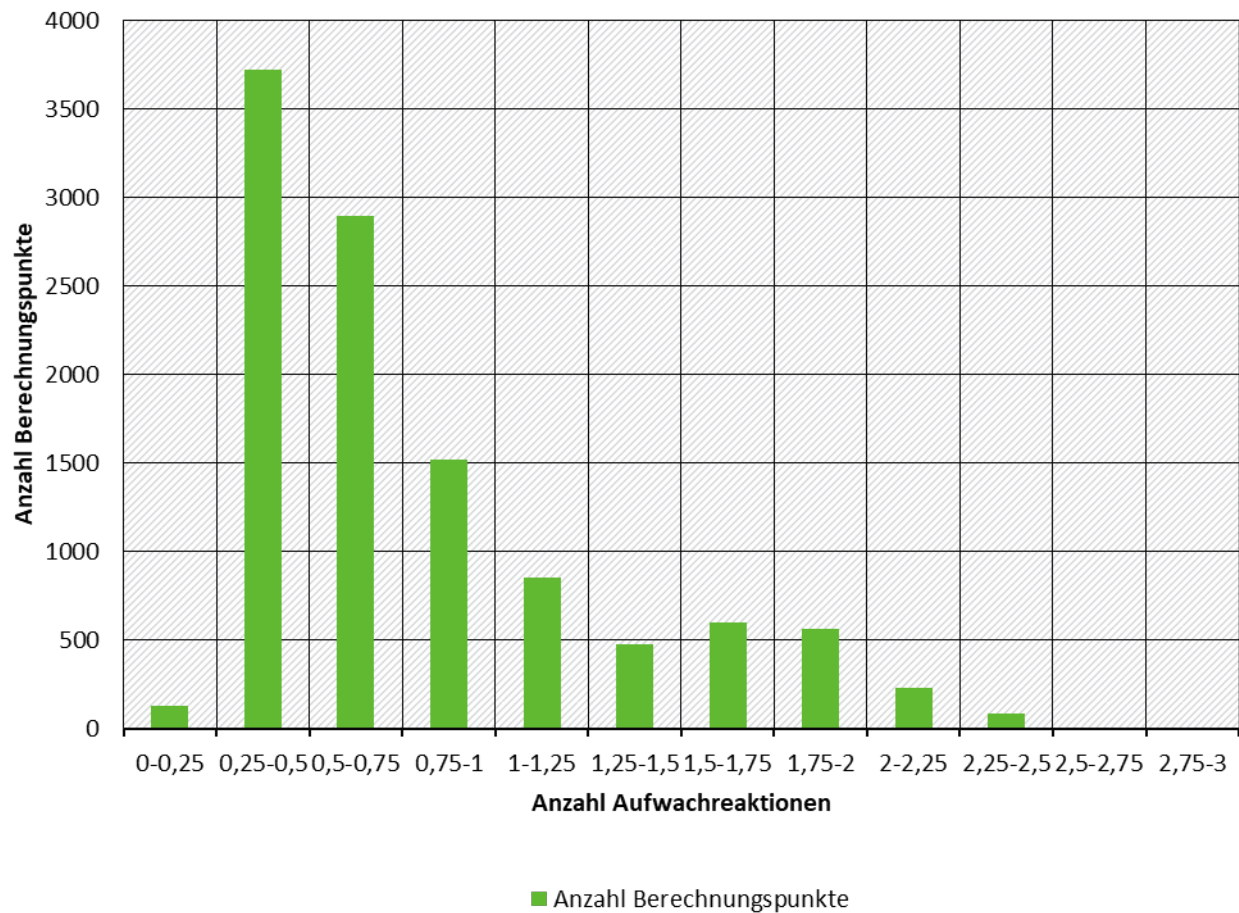
Im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main wurden im Rahmen der NORAH-Studie in drei Befragungswellen anfänglich 9.244 Personen (im Jahr 2011) bis davon schließlich 3.511 Personen (im Jahr 2013) befragt. Da die Befragungsdaten anonymisiert und ohne Adresszuordnung anhand von Identifikationsnummern (ID) den Pegeldata zugeordnet wurden, kann keine Lokalisierung der Adressen der Teilnehmenden dargestellt werden. Aus den individuellen Berechnungen für die Teilnehmenden an der Befragung ergeben sich im Umfeld des Flughafens Frankfurt/Main die in Abbildung 25, Abbildung 26 und Abbildung 27 dargestellten Verteilungen, die für die erste Befragungswelle bis September 2011 dargestellt werden, da die Daten dieser Befragungswelle in die Re-Analyse für dieses Vorhaben einbezogen wurden.

Abbildung 25: Verteilung der nächtlichen Mittelungspegel (Teilkriterium AK1: $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main



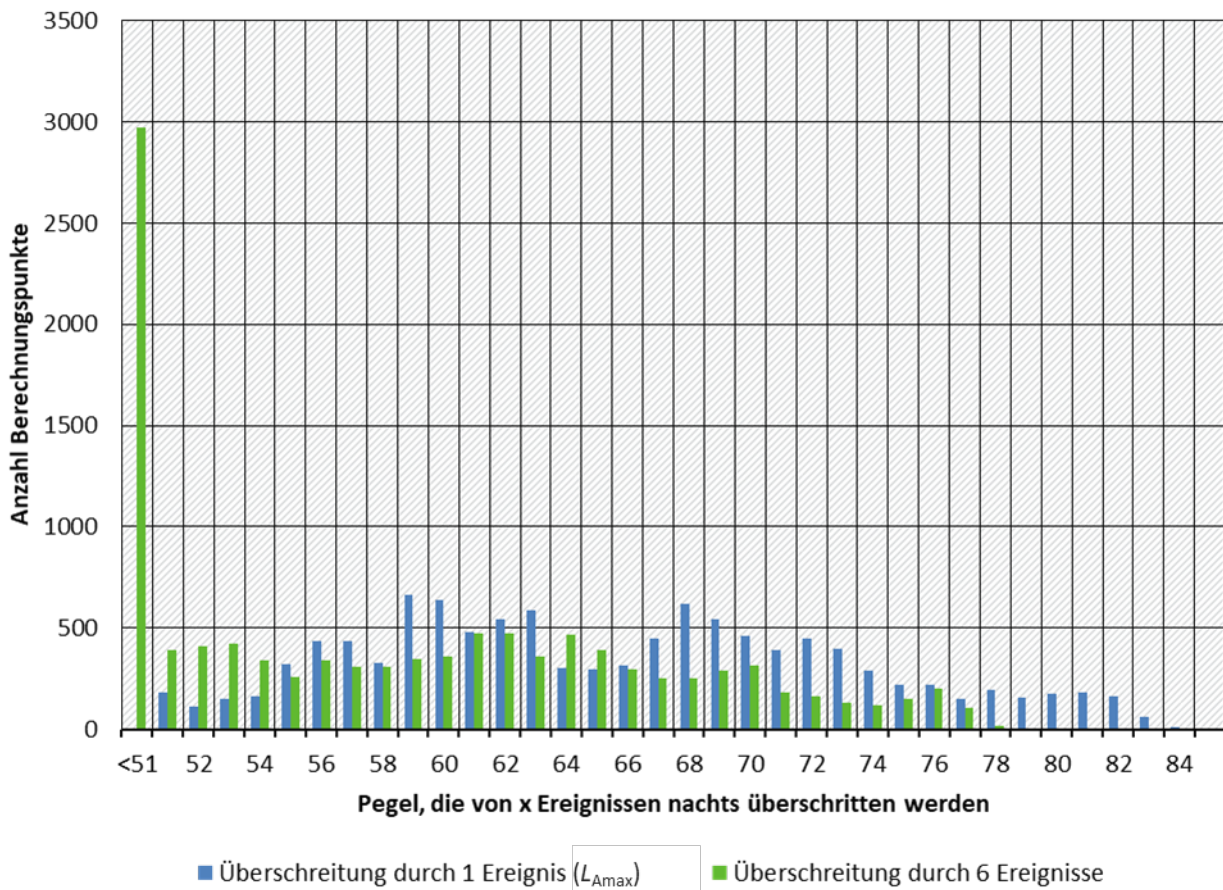
Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 26: Verteilung der nächtlichen Aufwachreaktionen (Teilkriterium AK2: AWR = 1; Teilkriterium AK3: AWR = 0,75) an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Abbildung 27: Verteilung der Außenpegel, die von x Ereignissen überschritten werden (Teilkriterium AK1: $NAT6 = (53+15) \text{ dB} = 68 \text{ dB}$; Teilkriterium AK2: NAT: $L_{Amax} = 1 \cdot 80 \text{ dB}$), an den Berechnungspunkten für die Teilnehmenden an der Befragung um den Flughafen Frankfurt/Main nachts



Quelle: eigene Darstellung, Möhler + Partner

Aus den Überlagerungen der Darstellungen der Abbildung 25, Abbildung 26 und Abbildung 27 ist ersichtlich, dass alle drei Abgrenzungskriterien AK1 bis AK3 durch Teilnehmende sowohl über- als auch unterschritten werden.

4 Befragung von Akteur*innen

Um ein gesamtheitliches Bild bezüglich der verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien abzudecken und Erfahrungen sowie Einschätzungen von Personen zu erhalten, die beruflich bzw. in der Praxis mit den verschiedenen Kriterien in Berührung kommen, wurde eine Befragung mit Akteur*innen durchgeführt. Für die drei ausgewählten Flughäfen (Köln/Bonn, Leipzig/Halle, Frankfurt/Main) sollten jeweils 10 Akteur*innen befragt werden. Weiterhin wurden bundesweite Akteur*innen in die Befragung eingeschlossen. Als Akteur*innen kamen Vertreter*innen der Flughafengesellschaften, Luftverkehrsgesellschaften, Immissionsschutzbehörden, Ministerien, Städte und Kommunen, sowie Kommissionen oder Initiativen zum Schutz vor Fluglärm infrage.

4.1 Stichprobe und Teilnehmendenakquise Befragung von Akteur*innen

Für die Befragung wurden verschiedene Akteur*innen an den drei Flughäfen sowie bundesweite Akteur*innen identifiziert und um Teilnahme gebeten. Die Kontaktaufnahme erfolgte telefonisch und via E-Mail. Insgesamt wurden 40 Akteur*innen für die Befragung kontaktiert. Einige Akteur*innen waren laut eigener Aussage nicht zuständig und verwiesen teilweise auf andere Akteur*innen oder es lag generell kein Interesse an einer Teilnahme vor.

4.2 Befragungsinhalte der Befragung von Akteur*innen

Für die Befragung wurde ein Fragebogen entwickelt und für die drei Flughäfen sowie für die bundesweiten Akteur*innen angepasst. Dies beinhaltete unter anderem den Bezug zum jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriterium für folgende Schutz- bzw. Betrachtungsgebiete: Flughafen Köln/Bonn und das FluLärmG-Kriterium für Bestandsflughäfen ($L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*57$ dB), Flughafen Leipzig/Halle und das Leipzig/Halle-Kriterium ($AWR \geq 1$ und NAT: $L_{Amax,außen} = 1*80$ dB), sowie Flughafen Frankfurt/Main und der FNI ($AWR \geq 0,75$). Der Fragebogen für die Akteur*innen beinhaltete Fragen zu den folgenden Themen:

- ▶ Ereignisbezogene nachfluglärm-bezogene Gebietsabgrenzungskriterien
- ▶ Erfahrung mit ereignisbezogenem Gebietsabgrenzungskriterium für die Nachtzeit
- ▶ Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen (nicht bei bundesweiten Akteur*innen)
- ▶ Akzeptanz der Bevölkerung
- ▶ Veränderungen im Nachtflugverkehr
- ▶ Verbesserungsbedarf

Der gesamte Fragebogen ist in Anhang A.1 zu finden.

4.3 Durchführung der Befragung von Akteur*innen

Die Befragung lief von Juni 2022 bis April 2023. Die Teilnahme war schriftlich mittels eines Word-Dokuments möglich, welches den potenziellen Teilnehmenden via E-Mail geschickt wurde. Die ausgefüllten Fragebögen wurden dem Forschungsteam ebenfalls via E-Mail zurück übermittelt.

4.4 Ergebnisse der Befragung von Akteur*innen

Insgesamt liegen 10 ausgefüllte Fragebögen vor. Da Akteur*innen gleichzeitig verschiedenen Gruppen zugehörig sein können, finden sich in Tabelle 10 für die verschiedenen Gruppen von Akteur*innen mehr als 10 Teilnahmen.

Tabelle 10: Überblick über den Rücklauf der Befragung von Akteur*innen

Akteur*in	Köln/Bonn	Leipzig/Halle	Frankfurt/Main	Bundesweit
Flughafengesellschaft/Betreiber	Teilnahme			Teilnahme
Luftverkehrsgesellschaft			Teilnahme	
Genehmigungsbehörde			Teilnahme	
Immissionsschutzbehörde	Teilnahme	Teilnahme	Teilnahme	
Stadt/Kommune		Teilnahme	Teilnahme	
Initiative/Kommission zum Fluglärm-schutz		Teilnahme	Teilnahme	Teilnahme

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Befragung zu den Themenbereichen (Erfahrung mit ereignisbezogene(n) Gebietsabgrenzungskriterien zum Schutz vor Nachtfluglärm, vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen sowie Verbesserungsbedarfe dargestellt. Ergebnisse zu den weiteren Themen des Fragebogens finden sich in Anhang B.

4.4.1 Ereignisbezogene Gebietsabgrenzungskriterien zum Schutz vor Nachtfluglärm

Der erste inhaltliche Themenblock befasste sich allgemein mit verschiedenen ereignisbezogenen nächtlichen Gebietsabgrenzungskriterien. Zunächst wurden Teilnehmende danach gefragt, was ihrer Meinung nach ein gerechtes Kriterium zur Festlegung eines Nachtschutzgebietes und zur Gewährung von passivem Schallschutz für die Nacht ist. Zur Auswahl standen hier eine akustische Kenngröße sowie eine Wirkungsgröße.

Drei teilnehmende Akteur*innen gaben an, dass sowohl eine akustische Kenngröße als auch eine Wirkungsgröße gerechte Kriterien zur Festlegung eines Nachtschutzgebietes darstellen. Laut fünf Teilnehmenden ist eine akustische Kenngröße und laut zwei Teilnehmenden eine Wirkungsgröße ein gerechtes Kriterium zur Festlegung eines Nachtschutzgebietes. Ein akustisches Kriterium habe laut Teilnehmenden den Vorteil, dass es objektiv sei und keine anderen Störvariablen darauf Einfluss nehmen. Weiterhin würde es auch bei anderen Verkehrslärmarten benutzt und basiere auf umfassenden und bewährten Berechnungsmethoden. Eine teilnehmende Person sah akustische Kenngrößen ebenfalls als etabliert und rechtlich bewährt an, plädierte jedoch für eine Überprüfung der aktuellen Kriterien auf eine etwaig notwendige Modifizierung bzw. Ergänzung. Für ein Wirkungskriterium sprach laut Teilnehmenden, dass dieses Lärmspitzen besser abbilden würde. Eine teilnehmende Person betonte, dass „akustische Kriterien im [FluLärmG] so gewählt werden“ sollten, „dass sie die in der Lärmwirkungsforschung identifizierten Wirkungen ausreichend abdecken“. Dies sei allerdings aktuell in Bezug auf die Bestandsflughäfen nach FluLärmG nicht gegeben.

Im Hinblick auf ein gerechtes Kriterium zur Gewährung von passivem Schallschutz für die Nacht gaben vier Teilnehmende sowohl eine akustische Kenngröße wie auch eine Wirkungsgröße an. Allein eine akustische Größe ist nach vier Teilnehmenden und eine Wirkungsgröße nach zwei Teilnehmenden gerecht.

Insgesamt sind die gewählten Kriterien und Begründungen zur Gewährung von passivem Schallschutz für die Nacht gleich bzw. ähnlich wie in der vorherigen Frage. Eine teilnehmende Person, die für die Festlegung eines Nachtschutzgebiets das akustische Kriterium gewählt hatte, gab als Kriterium zur Gewährung von passivem Schallschutz für die Nacht jedoch beide Kriterien als sinnvoll an. Priorität hätte allerdings laut dieser teilnehmenden Person vielmehr die Vorgabe von „echte[n] Schutzziele[n] für Innenräume [...], auf deren Einhaltung bei angemessenem Lüftungsverhalten sich die Betroffenen berufen können“.

Des Weiteren wurden die verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien im Rahmen von Paarvergleichen gegenübergestellt und Teilnehmende wurden gebeten, sich bei jedem Paarvergleich für eins der Abgrenzungskriterien zu entscheiden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Am häufigsten wurde das FluLärmG für neue oder wesentliche geänderte Flughäfen bei den Paarvergleichen gewählt (16 Mal), gefolgt vom FNI (12 Mal), dem Leipzig/Halle-Kriterium (8 Mal) und dem FluLärmG für Bestandsflughäfen (6 Mal).

Tabelle 11: Gegenüberstellung der verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien

Gegenüberstellung	Kriterium 1	Kriterium 2	Häufigkeit Kriterium 1	Häufigkeit Kriterium 2	Weder noch
1	FNI	FluLärmG Neubau	4	4	
2	FluLärmG Bestand	Leipzig/Halle-Kriterium	3	4	1
3	FluLärmG Neubau	FluLärmG Bestand	7	1	
4	Leipzig/Halle-Kriterium	FNI	1	4	2
5	FNI	FluLärmG Bestand	4	2	2
6	Leipzig/Halle-Kriterium	FluLärmG Neubau	3	5	

4.4.2 Erfahrung mit ereignisbezogenem Gebietsabgrenzungskriterium für die Nachtzeit

Die flughafen-bezogenen Akteur*innen wurden in diesem Abschnitt nach dem jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterium gefragt (siehe auch Abschnitt 4.2); die bundesweiten Akteur*innen wurden gebeten, jenes nachfluglärm-bezogene Abgrenzungskriterium bei den folgenden Fragen im Blick zu haben, welches sie bei den Paarvergleichen am häufigsten präferiert haben. Inhaltlich befasste sich dieser Themenblock mit den Erfahrungen der Befragten zu den nächtlichen ereignisbezogenen Gebietsabgrenzungskriterien, wie Schwierigkeiten bei der Einführung sowie Vor- und Nachteile des nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriteriums.

In Bezug auf Probleme bzw. Schwierigkeiten bei Einführung des jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriteriums berichtete eine teilnehmende Person, dass es auf kommunaler Seite keine Schwierigkeiten gab, lediglich die Kommunikation bzgl. des nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriteriums anspruchsvoller sei (FNI). Bei der Einführung des FNI

gab es nach Angaben von Teilnehmenden zunächst Uneinigkeit über die Schwelle von AWR $\geq 0,75$.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Vor- und Nachteile der verschiedenen nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriteriums. Bei allen drei nächtlichen Abgrenzungskriterien wurden als Vorteile die Gerechtigkeit und der angemessene Schutz vor nächtlichem Fluglärm genannt (jeweils zwei Nennungen). Zwei Personen gaben beim FluLärmG-Kriterium und eine Person beim Leipzig/Halle-Kriterium die Umsetzbarkeit an.

Begründet wurden die genannten Vorteile beispielsweise beim Leipzig/Halle-Kriterium damit, dass Einigkeit über die Eignung des Kriteriums bestünde sowie, dass einzelne Fluglärmereignisse stärker berücksichtigt werden würden als nach FluLärmG. Allerdings wäre es laut einer kommunalen Akteurin für den Flughafen Leipzig/Halle angemessener „die lautesten Nachtstunden [...] oder nur die verkehrsreichsten Wochentage“ zu berücksichtigen, da es zwischen den Wochentagen am Flughafen Leipzig/Halle große Unterschiede im Hinblick auf den Nachtflugverkehr gäbe. Vorteilhaft beim FNI war nach einem teilnehmenden Akteur, dass dieser auch dann einen Schutzanspruch auslöse, wenn das NAT-Kriterium es nicht tun würde: Das NAT-Kriterium würde beispielsweise weder bei „100*52 dB noch 5*70 dB (innen) einen Schutzanspruch auslösen“.

Beim FluLärmG-Kriterium wurden keine Nachteile benannt; beim FNI nannten Teilnehmende die Kosten sowie die Umsetzbarkeit und Ungerechtigkeit als Nachteile. Begründet wurden die Nachteile beispielsweise damit, dass Wirkungsgrößen (wie der FNI einer ist) je nach Flughafenstandort unterschiedlich ausfallen würden – also standortsbezogen seien – und nicht verallgemeinert werden könnten. Ein bundesweiter Akteur führte aus, dass auch kein angemessener bzw. kein ausreichender Schutz vor nächtlichem Fluglärm gewährt wäre, da auch bei niedrigeren AWR-Werten die Gesundheit nur unzureichend geschützt werden würde. Die Kosten wurden auch von zwei Teilnehmenden als Nachteil vom Leipzig/Halle-Kriterium betrachtet. Als Begründung führten letztere die größere Nachtschutzzone an.

Tabelle 12: Vor- und Nachteile der verschiedenen nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien

Vor- und Nachteile	Einzelne Vor- und Nachteile	FluLärmG	FNI	Leipzig/Halle Kriterium
Vorteile	Gerechtigkeit	2	2	2
	Kosten			
	Umsetzbarkeit	2		1
	Angemessener Schutz vor nächtlichem Fluglärm	2	2	2
	Sonstige: Angemessenerer Schutz vor Fluglärm im Vergleich zum Kriterium nach Fluglärmschutzgesetz*			1
	Sonstige: Verständnis und Akzeptanz in Öffentlichkeit (u.	1		

Vor- und Nachteile	Einzelne Vor- und Nachteile	FluLärmG	FNI	Leipzig/Halle Kriterium
	a. bei Anwohnenden)*			
	Sonstige: Hohe Kosten geben Anreiz zur Verlagerung von Nachtflügen*		1	
Nachteile	Ungerechtigkeit		1	
	Kosten		2	2
	Umsetzbarkeit		1	
	Kein angemessener bzw. nicht ausreichender Schutz vor nächtlichem Fluglärm		2	

FluLärmG=Fluglärmschutzgesetz; FNI=Frankfurter Nachtindex; *= bei „Sonstige“ sind Nennungen von Teilnehmenden eingefügt

4.4.3 Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen

Drei Teilnehmende machten Angaben unter anderem zu der Anzahl an Haushalten, die Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen haben, sowie zu den durch bauliche Schallschutzmaßnahmen entstehenden Kosten. In der Flughafenregion Köln/Bonn entstünden laut teilnehmender Person Kosten von insgesamt 40,6 Mio € für gesetzliche und 37,0 Mio € für freiwillige bauliche Schallschutzmaßnahmen. Laut teilnehmender Person für den Flughafen Frankfurt/Main entstünden insgesamt 27,0 Mio € für gesetzliche und 42,5 Mio € für freiwillige bauliche Schallschutzmaßnahmen.

Eine Übersicht zu den gesetzlichen und freiwilligen baulichen Schallschutzmaßnahmen ist in Anhang B.1 Tabelle 45 zu finden. Es zeigt sich eine Diskrepanz zwischen der Anzahl an Haushalten, die grundsätzlich Anspruch auf Schallschutzmaßnahmen haben, und der Anzahl an bislang eingegangenen Anträgen auf bauliche Schallschutzmaßnahmen: Beispielsweise sind laut einer teilnehmenden Person knapp 23.900 Haushalte (Flughafen Köln/Bonn) anspruchsberechtigt; bislang sind jedoch nur 7.400 Anträge gestellt worden. Dies steht im Einklang mit Ergebnissen eines aktuellen Gutachtens (Schütte 2023 *in Veröffentlichung*), wonach eine bundesweite Erhebung zu realisierten baulichen Schallschutzmaßnahmen im Umkreis militärischer und ziviler Flugplätze zeigte, „dass weder die prognostizierte Anzahl der Anträge noch die der Kostenfolgen [...] erreicht wurde“ (Schütte 2023, S. 5 *in Veröffentlichung*).

4.4.4 Verbesserungsbedarf

Der letzte Abschnitt befasste sich thematisch mit etwaig notwendigen Verbesserungsbedarfen und weiteren Anmerkungen oder Ergänzungen zur Thematik.

Sieben Akteur*innen sehen noch weiteren Verbesserungsbedarf im Hinblick auf den Schutz vor nächtlichem Fluglärm. So wäre es beispielsweise wünschenswert, wenn das Leipzig/Halle-Kriterium, insbesondere die AWR, Eingang ins FluLärmG finden würden. Weiterhin sollte die fluktuierende Geräuschbelastung am Flughafen Leipzig/Halle stärkere Berücksichtigung finden: In der Region um den Flughafen Leipzig/Halle ist die Bevölkerung insbesondere in der Kernnachtzeit von montags bis freitags einer hohen Geräuschbelastung ausgesetzt; gemittelte (Halb-)Jahres

Werte würden dies nicht ausreichend abbilden. Drei Teilnehmende hielten die Einführung von Lärmobergrenzen für Flughäfen für sinnvoll.

Drei Teilnehmende (Leipzig/Halle, Köln/Bonn und Frankfurt/Main) nannten die Stärkung des aktiven Schallschutzes als weiteren Verbesserungsvorschlag. Eine teilnehmende Person für den Flughafen Frankfurt/Main sah eine Notwendigkeit nicht in der Vergrößerung der Nachtschutzzone, sondern in einem höheren Schutzniveau innerhalb der Nachtschutzzone. Ebenfalls sei „insbesondere in den warmen Sommermonaten den Anwohnerinnen und Anwohnern das Schließen der Fenster und Einschalten des Lüfters kaum zumutbar“. Stattdessen wird, sofern möglich, unter anderem für Lüftungssysteme oder Klimaanlage plädiert. Ein bundesweit agierender Akteur kritisierte, dass es in Frankfurt nachts zu einer Überschreitung der 2 dB-Grenze käme, die gesetzlich vorgeschriebene Neufestsetzung des Lärmschutzbereichs jedoch ausbliebe. Eine teilnehmende Person war der Ansicht, dass das FluLärmG ausreichend ist.

Verbesserungsbedarf bzgl. des jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriteriums sahen fünf Akteur*innen. Die beiden Akteur*innen für den Flughafen Leipzig/Halle sahen weiteren Forschungsbedarf zum nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriterium, insbesondere mit einer größeren Stichprobe. Eine teilnehmende Person sah Verbesserungsbedarf bzgl. des FluLärmG-Kriteriums für Köln/Bonn (Bestandsflughafen) darin, die Pegel mindestens auf die Werte gemäß FluLärmG für neue bzw. wesentlich geänderte Flughäfen herabzusetzen. Zwei Teilnehmende plädierten dafür, ein weiteres NAT-Kriterium bzw. das vorhandene zu ersetzen mit einem Kriterium, welches in einem höheren Maß die Häufigkeit auch von leiseren Ereignissen, unter den bisherigen Schwellen, berücksichtigt.

4.4.5 Fazit der Befragung von Akteur*innen

Insgesamt gab es nur eine geringe Beteiligung bei dieser Befragung. Hinzu kam, dass bei den kontaktierten Akteur*innen teilweise Unklarheit über die Zuständigkeiten bestand und eine Teilnahme infolgedessen abgelehnt wurde.

Inhaltlich ergeben die Antworten der befragten Akteur*innen ein diverses Bild. Tendenziell wurde bei den Paarvergleichen am häufigsten das Kriterium nach dem FluLärmG für neu bzw. wesentlich geänderte Flughäfen präferiert. Als Vorteile wurden Gerechtigkeit und ein angemessener Schutz vor nächtlichem Fluglärm allen Kriterien zugeschrieben. Die Kosten wurden beispielsweise beim FNI und dem Leipzig/Halle-Kriterium als nachteilig genannt. Anzumerken ist, dass der von teilnehmenden Akteur*innen genannte Nachteil der AWR, AWR müsse für jeden Flughafenstandort separat berechnet werden, da sie nicht übertragbar und allgemeingültig seien, so nicht zutrifft. Richtig ist, dass die AWR auf Basis von Expositions-Wirkungsbeziehungen berechnet werden. Die für die Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt/Main ermittelten fluglärm-assoziierten Aufwachreaktionen unterscheiden sich unter Berücksichtigung der spontanen Aufwachreaktionen statistisch nicht signifikant. Zudem liegt eine generalisierte Expositions-Wirkungsbeziehung zu fluglärmassoziierten AWR vor, die auf Basis einer Re-Analyse gepoolter Daten zu den AWR an den Flughäfen Köln/Bonn und Frankfurt/Main erarbeitet wurde (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) 2021; Hauptvogel et al. 2021a). Daraus lässt sich ableiten, dass eine deutschlandweite Berechnung für AWR möglich ist.

Die vorliegenden Befragungsergebnisse können erste Hinweise darauf geben, wie verschiedene Akteur*innen die hier untersuchten nachfluglärm-bezogenen Abgrenzungskriterien einschätzen. Allerdings lassen sich aufgrund der geringen Stichprobengröße von 10 Teilnahmen keine verallgemeinerbaren Aussagen treffen.

5 Bevölkerungsbefragung an zwei Flughafenstandorten

Anhand einer Bevölkerungsbefragung sollten die Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms und die Zufriedenheit mit vorhandenen baulichen Schallschutzmaßnahmen untersucht werden. Weiterhin wurden die verschiedenen akustischen Kenngrößen zur nachtflyglärm-bezogenen Gebietsabgrenzung untereinander verglichen, um Hinweise für die Handlungsempfehlungen in Bezug auf die Eignung der ausgewählten Kriterien für die Festsetzung eines Nachtschutzgebiets ableiten zu können. Die drei ausgewählten Kriterien sind (vgl. auch Abschnitt 3.1.2):

- ▶ AK1: Nachtschutzgebiet nach FluLärmG an neuen und wesentlich geänderten Flughäfen abgegrenzt durch die Umhüllende der Konturen 50 dB $L_{Aeq,Nacht}$ und NAT mit $L_{Amax,innen} \geq 6*53$ dB dB (FluLärmG)
- ▶ AK2: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch die Umhüllende der Konturen $AWR \geq 1$ und NAT mit $L_{Amax,außen} \geq 1*80$ dB (Leipzig/Halle-Kriterium)
- ▶ AK3: Nachtschutzgebiet abgegrenzt durch das Gebiet, in dem im Mittel 0,75 oder mehr zusätzlich durch Fluglärm induzierte Aufwachreaktionen ($AWR \geq 0,75$) zu erwarten sind (FNI)

Das bedeutet, dass für jede teilnehmende Person die Exposition anhand des AWR-Wertes, des $L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$ und $L_{Amax6,Nacht,innen}$ berechnet wurden. Im Folgenden werden die Rekrutierung und Durchführung der Bevölkerungsbefragung beschrieben sowie die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

5.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete

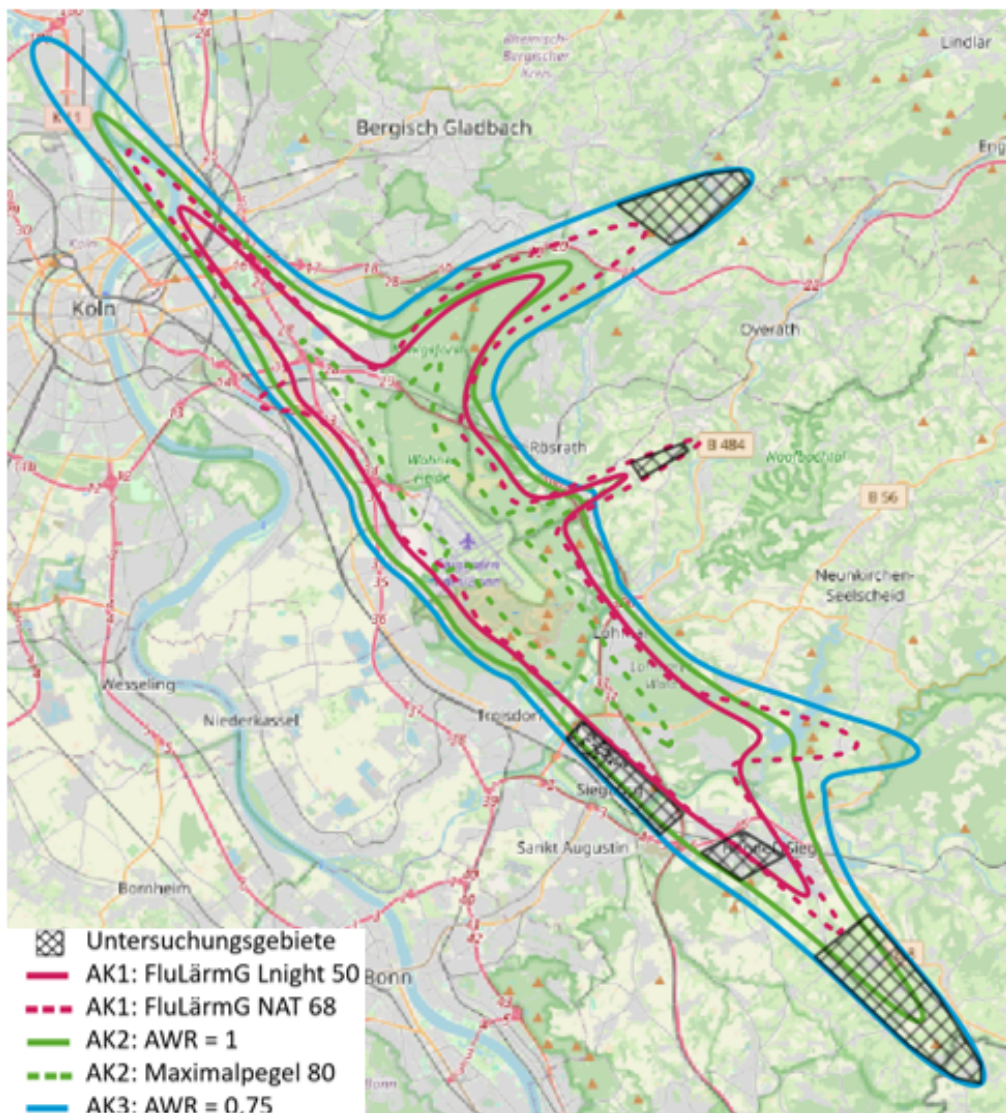
Die ausgewählten Flughafenregionen für die Bevölkerungsbefragung waren Köln/Bonn und Leipzig/Halle (vgl. Kapitel 3). Die Untersuchungsgebiete in der jeweiligen Flughafenregion sind in Abbildung 28 und Abbildung 29 abgebildet. Bei der Auswahl wurde nach solchen Gebieten gesucht, die entweder in der Nachtschutzzone nach FluLärmG (Änderungsflughafen mit $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und NAT: $L_{Amax,innen} = 6*53$ dB) liegen oder in einer auf den lärmwirkungsbezogenen Kriterien (FNI und/oder Leipzig/Halle-Kriterium) beruhenden Zone liegen. So ergaben sich Untersuchungsgebiete, die in einer nach einem oder mehreren Abgrenzungskriterien definierten Zone am Flughafen lagen. Zwei weitere Gebiete wurden für den Pretest ausgewählt.

Abbildung 28: Untersuchungsgebiete um den Flughafen Leipzig/Halle



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Abbildung 29: Untersuchungsgebiete um den Flughafen Köln/Bonn



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

5.2 Vorgehen zu der Bevölkerungsbefragung

- Pretest: Zur Testung des erstellten Fragebogens wurde ein Pretest in beiden Untersuchungsgebieten durchgeführt. Für den Pretest wurde eine Teilnehmendenanzahl von 20 angestrebt (10 je Flughafenstandort).
- Bevölkerungsbefragung: Für die Bevölkerungsbefragung sollten 100 Personen je Flughafenstandort (insgesamt 200 Personen) zum jeweiligen Flughafen, zu den Auswirkungen des nächtlichen Fluglärms und zu baulichen Schallschutzmaßnahmen befragt werden.

5.3 Pretest

Um den Fragebogen für die Bevölkerungsbefragung zu testen, wurde im November 2022 ein Pretest durchgeführt. Dazu wurden um den Flughafen Köln/Bonn und den Flughafen Leipzig/Halle eigene Gebiete ausgewählt, um eine Überlappung mit den Untersuchungsgebieten für die Bevölkerungsbefragung zu vermeiden. In der Flughafenregion Leipzig/Halle wurde der

Pretest in Schkeuditz, südlich vom Flughafen und in Köln/Bonn in einigen Teilen der Stadt Hennef (Sieg) durchgeführt (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29). Für den Pretest wurden insgesamt 250 Personen angeschrieben und um Teilnahme gebeten. Der Fragebogen wurde als Papier-Stift-Version zusammen mit dem Anschreiben verschickt. 43 Personen nahmen an dem Pretest teil: 23 aus dem Untersuchungsgebiet um den Flughafen Leipzig/Halle und 20 aus dem Untersuchungsgebiet um den Flughafen Köln/Bonn. Auf Basis der Ergebnisse des Pretests wurde der Fragebogen für die Bevölkerungsbefragung überarbeitet. Es wurden Fragen gestrichen, um die Befragungsdauer so gering wie möglich zu halten, und unklare Fragen umformuliert.

5.4 Stichprobe und Teilnehmendenakquise für die Bevölkerungsbefragung

Als Grundpopulation für die Bevölkerungsbefragung waren erwachsene, in den ausgewählten Untersuchungsgebieten wohnhafte Personen vorgesehen. Dafür wurden die jeweilige Straße und Hausnummer der in den Untersuchungsgebieten gelegenen Wohnhäuser identifiziert und bei den zuständigen Meldeämtern die Vor- und Nachnamen der in diesen Wohngebäuden wohnhaften Erwachsenen beantragt. Für beide Flughafenregionen wurde jeweils eine Zufallsstichprobe von 1000 Personen gezogen. Die ausgewählten Personen wurden angeschrieben und um Teilnahme an der Bevölkerungsbefragung gebeten. Das Anschreiben enthielt Informationen zum Projekt und zum Datenschutz sowie eine Erläuterung zu den Teilnahmemöglichkeiten.

5.5 Befragungsinhalte der Bevölkerungsbefragung

Der auf Basis des Pretests angepasste Fragebogen für die Bevölkerungsbefragung umfasste unter anderem die folgenden Themen:

- ▶ Wohnumgebung und Wohnbedingungen (z. B. Wohndauer, Fensterstellung in der Nacht); Place Attachment (Ortsverbundenheit, Devine-Wright & Wiersma 2019);
- ▶ Fluglärmbedingte Belästigung nach ICBEN (International Commission on Biological Effects of Noise, Fields et al. 2001) und Schlafstörungen (beim Einschlafen, Durchschlafen, Ausschlafen) orientiert an der Belästigungserfassung nach ICBEN;
- ▶ nicht-akustische Faktoren, wie Einstellung zur Geräuschquelle, Vertrauen in Verantwortliche, Lärmbewältigungsstrategien, Lärmempfindlichkeit, und Wohnzufriedenheit;
- ▶ Psychovegetative Störungen durch Fluglärm (nach Finke et al. 1980; auch verwendet in der NORAH-Studie);
- ▶ Favorisierung eines für nächtlichen Schallschutz ausschlaggebenden Kriteriums (z. B. der Geräuschpegel oder die Häufigkeit eines Überflugs in der Nacht);
- ▶ Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen;
- ▶ Etwaig erwartete zukünftige Veränderungen des Luftverkehrs;
- ▶ Soziodemographische Variablen, wie Alter, Geschlecht, Schul- und Berufsausbildung, Beruf sowie Haushaltseinkommen, aus denen der sozio-ökonomische Status (Scheuch-Winkler-Index, SWI; Winkler & Stolzenberg 1999, 2009) berechnet wird.

Der Fragebogen für die Bevölkerungsbefragung findet sich in Anhang A.2.

5.6 Durchführung der Bevölkerungsbefragung

Die Bevölkerungsbefragung um die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle fand im Januar und Februar 2023 statt. Die Teilnahme war mittels einer Papier-Stift-Version des Fragebogens möglich, der dem Anschreiben beilag, oder alternativ online über einen Link. Jeder Person wurde eine Identifikationsnummer zugeteilt, mit dem sie auch Zugang zum Onlinefragebogen erhielt.

5.7 Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung

Insgesamt nahmen 449 Personen an der Bevölkerungsbefragung teil. Im Untersuchungsgebiet für den Flughafen Leipzig/Halle nahmen 253 Personen und für den Flughafen Köln/Bonn 196 Personen teil. Die Response-Rate liegt bei 22,9 % (siehe Tabelle 13) und damit im Bereich von Response-Raten aus anderen Studien (z. B. Saß et al. 2017). 80,2 % der Teilnehmenden haben die Papier-Stift-Version des Fragebogens genutzt und 19,8 % haben online teilgenommen.

Tabelle 13: Rücklauf der Bevölkerungsbefragung

Standort	Köln/Bonn	Leipzig/Halle	Insgesamt
Anzahl zur Befragung eingeladen	1000	1000	2000
Falsche Adresse	27	15	42
Bereinigte Bruttostichprobe	973	985	1958
Umgezogen	-	-	-
Verstorben	-	-	-
Kein Interesse	-	-	-
Anzahl Teilnahme	196	253	449
Response-Rate in Prozent der bereinigten Bruttostichprobe	20,14	25,69	22,93

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Befragung in der Reihenfolge, wie sie im Fragebogen vorkommen, dargestellt. Neben dem Vergleich der verschiedenen akustischen Kenngrößen wurden Sensitivitätsanalysen für verschiedenen Subgruppen gerechnet, um etwaige Unterschiede zwischen Personen aus den Flughafenregionen Köln/Bonn und Leipzig/Halle, Personen mit und ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen sowie zwischen Personen, die bei geöffnetem oder geschlossenem Fenster schlafen, zu identifizieren. Die Auswertung erfolgte mit den Statistikprogrammen SPSS und R.

5.7.1 Soziodemographische Beschreibung der Stichprobe

Tabelle 14 und Tabelle 15 geben einen Überblick über die soziodemographischen Angaben der Teilnehmenden. Der Anteil an Teilnehmerinnen und Teilnehmern war in etwa gleich hoch (50,1 % männlich, 49,9 % weiblich, 0 % divers). Der Altersdurchschnitt lag bei 57,5 Jahren ($SD = 15,74$) mit einer Altersspanne von 20 bis 93 Jahren. Im Durchschnitt lebten die Teilnehmenden seit etwa 24 Jahren in ihrer aktuellen Wohnung bzw. Haus. Der Großteil der Teilnehmenden lebt im Eigenheim (72 %).

Der sozio-ökonomische Status wurde anhand des Scheuch-Winkler-Index ermittelt (SWI; Winkler & Stolzenberg 1999, 2009). Der SWI umfasst drei Kategorien: 1) niedriger SWI-Status, 2) mittlerer SWI-Status und 3) hoher SWI-Status. Die Hälfte der Teilnehmenden war einem mittleren SWI-Status zuzuordnen (Tabelle 14). Die Geräuschempfindlichkeit wurde auf einer 5er-Skala erfasst (von 1 = *nicht* bis 5 = *sehr*) und lag im Durchschnitt bei 4,03 ($SD = 1,06$).

Tabelle 14: Soziodemographische Angaben der Stichprobe

Variable	Ausprägung	N	Prozente
Geschlecht (n=443)	männlich	222	50,1
	weiblich	221	49,9
	divers	0	0
Eigentumsstatus (n=433)	Eigentum	313	72,3
	Miete	120	27,7
SWI (n=410)	niedriger SWI-Status	40	9,8
	mittlerer SWI-Status	205	50,0
	hoher SWI-Status	165	40,2

N=Anzahl Teilnehmende

Tabelle 15: Mittelwerte und Standardabweichungen zu verschiedenen Variablen

Variable	Minimum	Maximum	N	M	SD
Alter	20	93	441	57,46	15,74
Wohndauer	0,58	83	427	23,79	17,48
Empfindlichkeit gegenüber Gerüchen	1	5	444	3,3	1,16
Empfindlichkeit gegenüber Stress allgemein	1	5	443	3,28	1,09
Empfindlichkeit gegenüber Wetter	1	5	444	2,61	1,03
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	1	5	445	4,03	1,06

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

5.7.2 Geräuschbelastung und Verteilung der Teilnehmenden hinsichtlich der verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien

Die berechnete Geräuschbelastung sowie die berechneten Aufwachreaktionen (AWR) sind in Tabelle 16 dargestellt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die AWR sich hier auf die für dieses Gebäude berechneten Aufwachreaktionen einer Durchschnittsperson pro Nacht beziehen und somit in diesem Kontext als Exposition angesehen werden und nicht als Lärmreaktion.

Tabelle 16: Berechnete Geräuschbelastung der Stichprobe (n=449)

Variable	Minimum	Maximum	N	M	SD
$L_{Aeq,Nacht}$	44,40	59,40	449	49,29	4,18
$L_{Amax1,Nacht}$	65,50	88,80	449	72,37	5,72
AWR	0,39	3,70	449	1,38	0,73
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	46,30	65,30	449	52,53	4,84

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung, AWR=Aufwachreaktionen

Es wurde für die Gesamtstichprobe und für die beiden Flughäfen separat die Anzahl der Teilnehmenden ermittelt, die jeweils unter die verschiedenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien fallen (siehe Tabelle 17). Für das FluLärmG wurde die Anzahl der Teilnehmenden sowohl für den Bestandsflughafen (Bestand) als auch für einen Änderungsflughafen (neu) bestimmt.

Tabelle 17: Kreuztabelle über die Anzahl an Teilnehmenden an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle und das Zutreffen der verschiedenen Kriterien

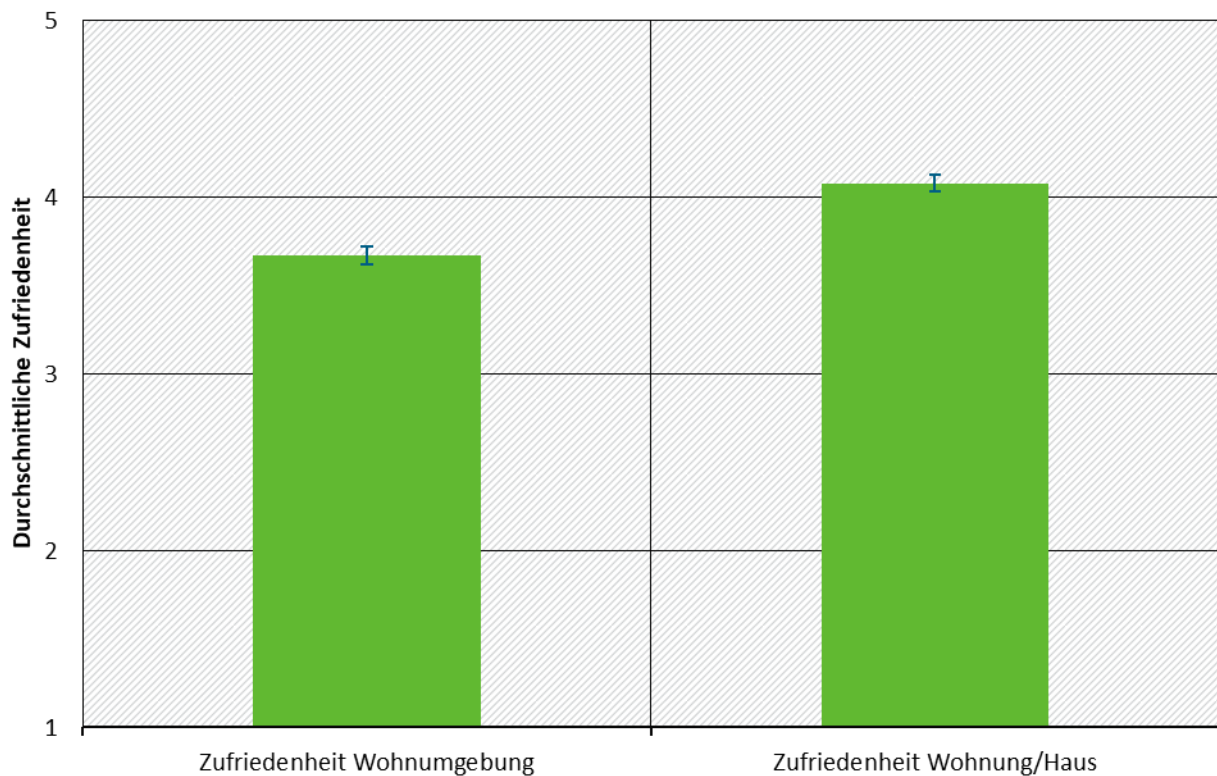
Flughafen	FluLärmG Bestand, Ja	FluLärmG Bestand, Nein	FluLärmG neu, Ja	FluLärmG neu, Nein	Leipzig/Halle, Ja	Leipzig/Halle, Nein	FNI, Ja	FNI, Nein
Köln/Bonn	0	196	34	162	103	93	159	37
Leipzig/Halle	96	157	126	127	164	89	253	0
Insgesamt	96	353	160	289	267	182	412	37

FluLärmG=Fluglärmgesetz; FNI=Frankfurter Nachtindex

5.7.3 Wohn- und Lebensbedingungen im Flughafenumfeld

Die Zufriedenheit sowohl mit der Wohnumgebung als auch mit der Wohnung/ dem Haus, in dem man lebt, wurde mittels einer 5-stufigen Skala erfasst (von 1 = *nicht* bis 5 = *sehr zufrieden*). Insgesamt sind die Teilnehmenden *ziemlich zufrieden* mit der Wohnung bzw. dem Haus, in dem sie leben ($M = 4,08$; $SD = 0,95$; siehe Abbildung 30). Die Zufriedenheit mit der Wohnumgebung fällt etwas geringer aus ($M = 3,67$; $SD = 1,04$, siehe Abbildung 30).

Abbildung 30: Durchschnittliche Zufriedenheit (inkl. Standardfehler) mit der Wohnumgebung und der Wohnung/dem Haus (n=431-442)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

In Anlehnung an Devine-Wright und Wiersma (2019) wurde das *Place Attachement* (Ortsbindung) der Teilnehmenden anhand von 9 Aussage-Items mit einer Antwortskala von 1 (*nicht*) bis 5 (*sehr*) erfasst. Mittels einer Faktorenanalyse (Hauptkomponentenanalyse) mit Promax-Rotation²⁶ wurden insgesamt drei Faktoren ermittelt: Place Attachement traditionell, Place Attachement aktiv und Place Attachement nicht ortsgebunden (Devine-Wright & Wiersma 2019; siehe Tabelle 18). Das Item „Es ist für mich wichtiger, wie ich lebe, als wo ich lebe“ wurde aus der Faktorenbildung aufgrund der geringen Ladung ausgeschlossen. Die Mittelwerte der drei neu gebildeten Faktoren bzw. Variablen sind allesamt im mittleren Bereich (siehe Tabelle 19).

²⁶ Die Promax-Rotation ist Teil einer Faktorenanalyse, bei der die aus Items extrahierten Faktoren so strukturiert werden, dass Faktoren entstehen, die untereinander korrelieren können. Untereinander korrelierte Faktoren sind so zu verstehen, dass sie eingebettet in einer hierarchischen Struktur Subkonzepte eines zugrundeliegenden Gesamtkonzepts (hier: Teilaspekte des *Place Attachments*) darstellen.

Tabelle 18: Gebildete Faktoren zum Place Attachment

Place Attachment traditionell	Place Attachment aktiv	Place Attachment nicht ortsgebunden
- Selbst wenn es bessere Orte gibt, werde ich nicht von hier wegziehen. - Ich kann es mir nicht vorstellen, von hier wegzuziehen. - Ich habe nie darüber nachgedacht, ob es nicht besser wäre, woanders zu leben.	- Ich mag es, meine Gegend zu erkunden und neue Orte zu entdecken. - Ich mache oft Fotos von verschiedenen Orten hier. - Von Zeit zu Zeit entdecke ich meine Gegend neu.	- Es gibt viele Orte in Deutschland und auf der Welt, an denen ich leben könnte. - Es würde mir nichts ausmachen, meinen Wohnort zu verlassen und woanders hinzuziehen.
Cronbachs Alpha = 0,77	Cronbachs Alpha = 0,68	Cronbachs Alpha = 0,57

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichungen der gebildeten Faktoren

Variable	N	M	SD
Place Attachment traditionell	447	2,95	1,18
Place Attachment aktiv	447	3,03	0,92
Place Attachment nicht ortsgebunden	445	2,79	1,15

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

48 Teilnehmende gaben an, dass sie in der nächsten Zeit umziehen. Am häufigsten wurden als Gründe angeführt, in eine größere bzw. kleinere Wohnung ziehen zu wollen oder, dass sich privat etwas verändert habe (17 Personen). 12 Personen gaben Fluglärm als Umzugsgrund an sowie 7 Personen einen altersbedingten Umzug.

5.7.4 Lärmwirkungen des nächtlichen Fluglärms und etwaige Einflussfaktoren

Im nächsten Fragenblock wurden Teilnehmende nach ihrer Wahrnehmung des Flughafens, des Flughafenbetriebs und nach etwaigen Auswirkungen durch nächtlichen Fluglärm, wie Schlafstörungen, gefragt (siehe Tabelle 20).

Im Hinblick auf die wahrgenommenen positiven und negativen Auswirkungen des Flughafenbetriebs fiel die Zustimmung zu den Aussagen, der Flughafen fördere die Weiterentwicklung der Region ($M = 3,33$; $SD = 1,14$) und durch den Flughafenbetrieb entstünden neue Arbeitsplätze in der Region ($M = 3,44$; $SD = 1,13$) im Durchschnitt *mittelmäßig* aus (Tabelle 20). Etwas höher war die Zustimmung dazu, dass es durch den Flughafenbetrieb zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke komme ($M = 3,89$; $SD = 1,20$).

Tabelle 20: Überblick über deskriptive Statistiken zur Wahrnehmung von und Auswirkungen des Flughafenbetriebs

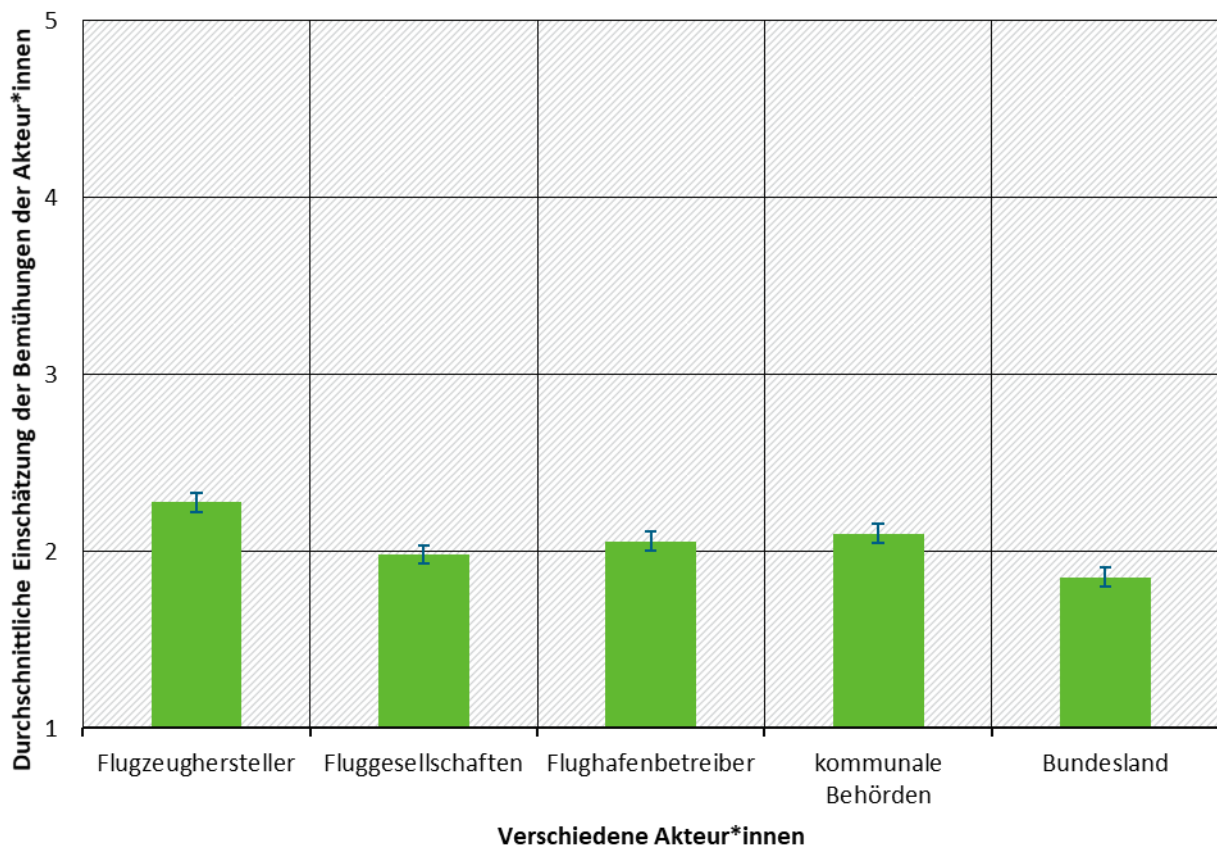
Variable	Items	N	M	SD
Aussagen zum Flughafenbetrieb	Der Flughafen fördert die Weiterentwicklung der Region.	445	3,33	1,14
	Durch den Flughafenbetrieb kommt es zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke.	443	3,89	1,20

Variable	Items	N	M	SD
Bemühungen verschiedener Akteur*innen	Durch den Flughafenbetrieb entstehen neue Arbeitsplätze in der Region.	441	3,44	1,13
	Flugzeughersteller	422	2,28	1,13
	Fluggesellschaften	421	1,98	1,05
	Flughafenbetreiber	422	2,06	1,13
	Kommunale Behörden	424	2,10	1,11
	Bundesland	420	1,85	1,05
Belästigung durch nächtlichen Lärm	insgesamt	443	3,13	1,34
	Straßenverkehr	444	1,99	1,16
	Schienenverkehr	436	1,47	0,84
	Luftverkehr	445	3,65	1,39
Schlafstörungen durch nächtlichen Fluglärm	Beim Einschlafen	443	2,98	1,45
	Während des Nachtschlafs	446	3,17	1,46
	Beim Ausschlafen	439	2,77	1,47
Störende und belästigende Aspekte des nächtlichen Fluglärms	Plötzliches Auftreten	431	2,65	1,38
	Bodengeräusche bei Start/Landung	435	1,90	1,37
	Dauer des Fluggeräuschs beim Vorbei-/Überflug	448	3,42	1,42
	Tieftönendes Brummen	439	3,15	1,44
Auswirkungen des Fluglärms	Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	440	2,31	1,34
	Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	447	2,91	1,49
	Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	438	2,13	1,32

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Teilnehmende wurden weiterhin gefragt, wie sie die Bemühungen von verschiedenen Akteur*innen, die Belästigung und Störungen durch nächtlichen Fluglärm zu verringern, auf einer Skala von 1 (*nicht*) bis 5 (*sehr*) einschätzen. Insgesamt fielen die Einschätzungen der Bemühungen recht gering aus (Abbildung 31). Die Mittelwerte liegen alle im Bereich zwischen *bemühen sich nicht* bis *bemühen sich wenig*. So wurden beispielsweise die Bemühungen der Flugzeughersteller ($M = 2,28$; $SD = 1,13$) und der Fluggesellschaften ($M = 1,98$; $SD = 1,05$) als gering eingeschätzt.

Abbildung 31: Durchschnittliche Einschätzung der Bemühungen (inkl. Standardfehler) verschiedener Akteur*innen (n=420-424)

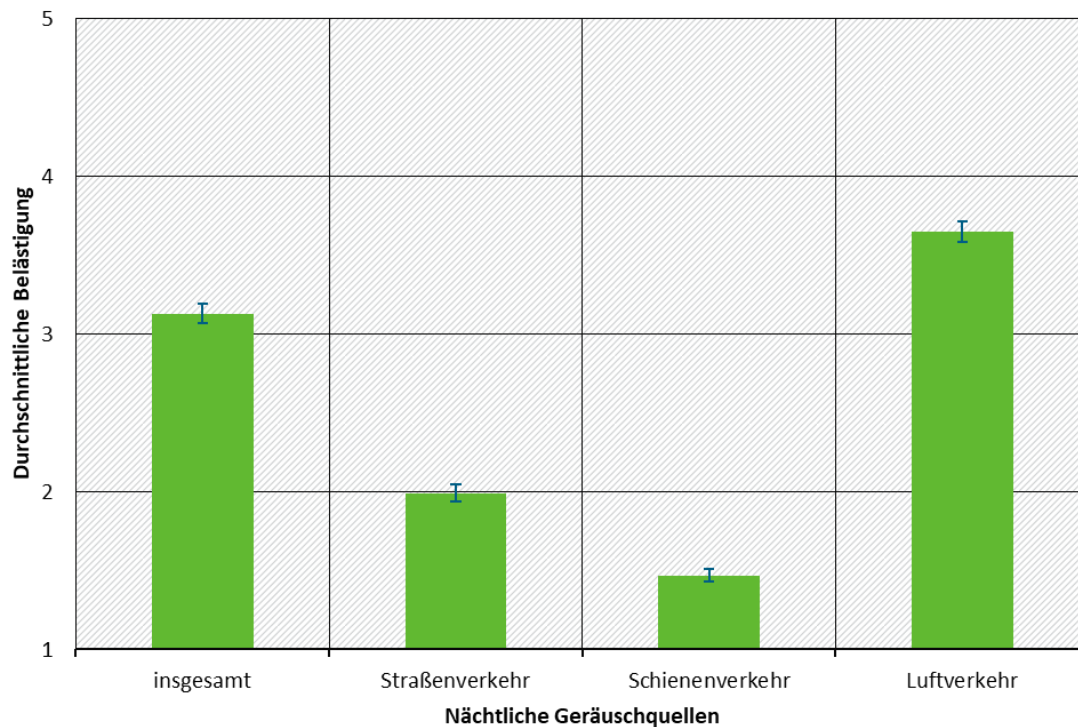


Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Die Hälfte der Teilnehmenden fühlte sich im Hinblick auf den nächtlichen Fluglärm eher unfair behandelt (51,5 %), gefolgt von 29,1 %, die sich weder fair noch unfair behandelt fühlten, und 5,0 %, die angaben, sich eher fair in Bezug auf nächtlichen Fluglärm behandelt zu fühlen (14,4 % antworteten mit *weiß nicht* und 6 Personen machten keine Angabe bei dieser Frage).

Abbildung 32 zeigt die durchschnittliche Belästigung durch verschiedene nächtliche Geräuschquellen. Die Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm fällt am geringsten aus. Die durchschnittliche Lärmbelästigung durch nächtlichen Luftverkehr liegt bei 3,65 ($SD = 1,39$) und scheint maßgeblich die Belästigung insgesamt durch nächtlichen Lärm zu beeinflussen (siehe Abbildung 32).

Abbildung 32: Durchschnittliche Belästigung (inkl. Standardfehler) durch verschiedene nächtliche Geräuschquellen (n=436-445)

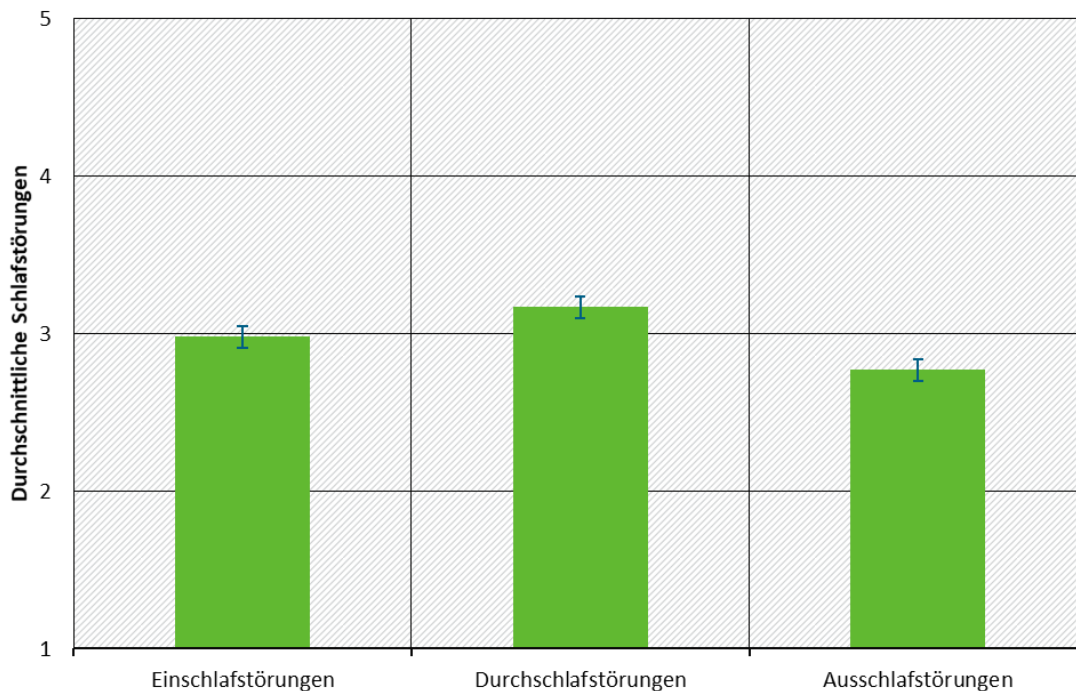


Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Die von Teilnehmenden angegebenen Schlafstörungen durch nächtlichen Fluglärm sind in Abbildung 33 dargestellt. Am höchsten fallen die Schlafstörungen während des Nachtschlafs aus, auch wenn sie mit einem Mittelwert von 3,17 ($SD = 1,46$) *mittelmäßig* sind.

Die Frage, ob sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund des nächtlichen Fluglärms nachts aufgewacht sind, bejahten ca. 61 % der Teilnehmenden. Im Durchschnitt gaben die Teilnehmenden an, etwa 3,5 ($SD = 4,11$; Median = 2,0) Mal in den vergangenen 4 Wochen pro Nacht aufgewacht zu sein. Die angegebene Spanne liegt zwischen 0,25 bis 30 Mal.

Abbildung 33: Durchschnittliche Schlafstörungen (inkl. Standardfehler) durch Fluglärm (n=439-446)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Im Vergleich zu anderen Aspekten des nächtlichen Fluglärms scheint vor allem die Dauer des Fluggeräusches als störend und belästigend wahrgenommen zu werden ($M = 3,42$; $SD = 1,42$), gefolgt von tieftönendem Brummen ($M = 3,15$; $SD = 1,44$; siehe Tabelle 20). Im Durchschnitt gaben die Teilnehmenden an *etwas bis mittelmäßig* (5er-Skala von 1 *überhaupt nicht* bis 5 *äußerst*) von Auswirkungen des Fluglärms betroffen zu sein, wie, dass einen der nächtliche Fluglärm nervös und gereizt mache (Tabelle 20).

Bezüglich verschiedener Arten der Bewältigung des Fluglärms scheinen die meisten Teilnehmenden sich dem nächtlichen Fluglärm ausgeliefert zu fühlen ($M = 3,35$; $SD = 1,59$; Tabelle 21). *Etwas* Zustimmung erfuhren beispielsweise die Aussagen, dass man die Fenster schließe oder man sich generell gegen den nächtlichen Fluglärm ganz gut schützen könne (Tabelle 21).

Tabelle 21: Überblick der deskriptiven Statistiken zu den Variablen der Lärmbewältigung

Variable	N	M	SD
Ich kann mich gegen nächtlichen Fluglärm ganz gut schützen.	443	2,51	1,27
Wenn es mir zu laut wird, mache ich einfach die Fenster zu und dann stört mich der nächtliche Fluglärm nicht mehr.	436	2,58	1,44
Manchmal fühle ich mich dem nächtlichen Fluglärm richtig ausgeliefert.	445	3,35	1,59
Den nächtlichen Fluglärm höre ich schon gar nicht mehr.	427	2,20	1,39
Wenn der nächtliche Fluglärm sehr laut wird, schalte ich einfach ab.	423	1,97	1,31
Ich habe mich damit abgefunden, dass der nächtliche Fluglärm nun mal da ist.	433	2,45	1,44

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

5.7.5 Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen

Der folgende Themenblock behandelte das Vorhandensein baulicher Schallschutzmaßnahmen für die Schlafräume. Zunächst wurden Teilnehmende gefragt, ob sie Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen hätten. 35,5 % bejahten und 28,2 % verneinten dies. 36,4 % der Befragten gaben an, nicht zu wissen, ob ein solcher Anspruch für sie bestünde. Diese Frage diente als sogenannte Filterfrage: Personen, die diese Frage bejahten wurden gebeten, Fragen zum Beantragungsprozess und zur Umsetzung der baulichen Schallschutzmaßnahmen zu beantworten. Tabelle 22 und Tabelle 23 geben eine Übersicht über die Ergebnisse.

Die meisten Teilnehmenden haben die Schallschutzmaßnahmen bereits beantragt (106 Personen, 64,2 %); davon wurde bei 95 Personen der Antrag auf bauliche Schallschutzmaßnahmen genehmigt. 131 Personen haben selbst bauliche Schallschutzmaßnahmen getroffen und finanziert. Insgesamt haben aus der Stichprobe 189 Personen bauliche Schallschutzmaßnahmen.

Tabelle 22: Überblick über Vorhandensein verschiedener baulicher Schallschutzmaßnahmen

Variable	Ausprägung und Items	N	Prozente
Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen (n=440)	Ja	156	35,5
	Nein	124	28,2
	Weiß nicht	160	36,4
Anspruch auf welche Schallschutzmaßnahmen (n=161)	Schallschutzfenster	145	90,1
	Lüfter	128	79,5
	Dach-/Gebäude-dämmung	22	13,7
Schallschutzmaßnahmen bereits beantragt (n=165)	Ja	106	64,2
	Nein	59	35,8
Prozess der Beantragung ändern (n=91)	Ja	40	44,0
	Nein	51	56,0
Antrag auf bauliche Schallschutzmaßnahmen genehmigt (n=101)	Ja	95	94,1
	Nein	6	5,9
Bauliche Schallschutzmaßnahmen umgesetzt (n=115)	Ja	106	92,2
	Nein	9	7,8
Schallschutzmaßnahmen selbst finanziert (n=435)	Ja	131	30,1
	Nein	301	69,9

N=Anzahl Teilnehmende

Die Zufriedenheit mit dem Bearbeitungsprozess wurde ebenfalls auf einer 5er-Skala erfasst und lag im Durchschnitt bei 3,35 ($SD = 1,17$). 40 Personen gaben an, den Beantragungsprozess ändern zu wollen. Die Zufriedenheit mit den Schallschutzfenstern fiel im Vergleich zu den anderen Schallschutzmaßnahmen mit einem Mittelwert von 3,31 ($SD = 1,17$) am höchsten aus (siehe Tabelle 23).

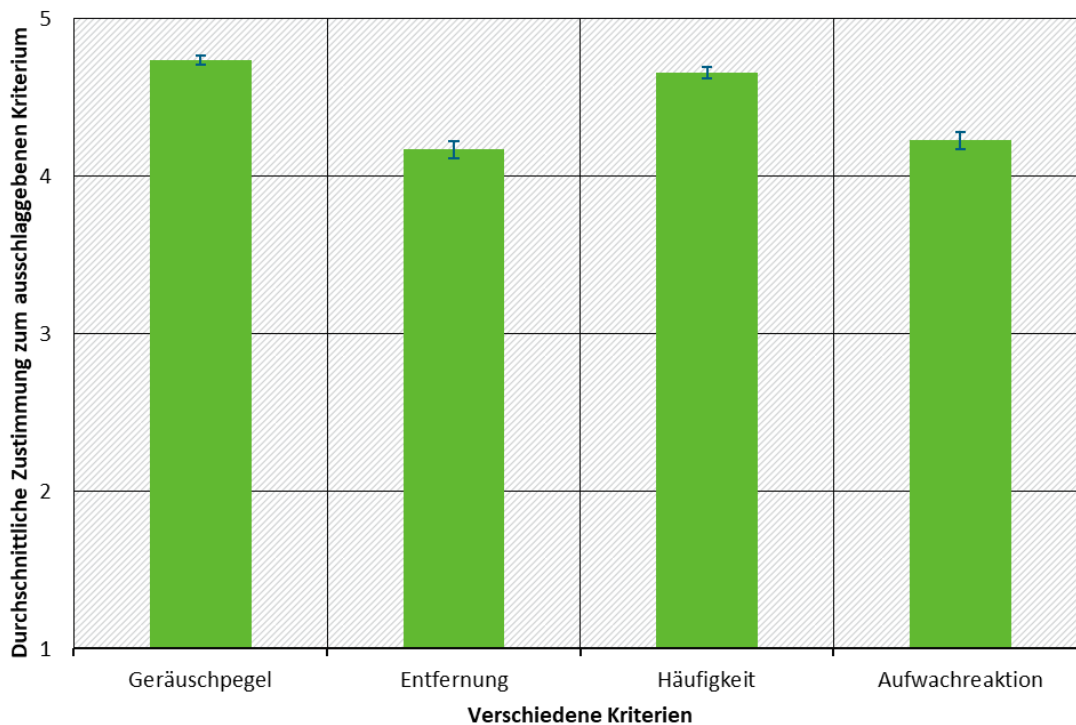
Tabelle 23: Deskriptive Statistiken zur Zufriedenheit mit Beantragungsprozess und den baulichen Schallschutzmaßnahmen

Variable	Minimum	Maximum	N	M	SD
Zufriedenheit mit Ablauf des Beantragungsprozesses	1	5	106	3,35	1,17
Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen insgesamt	1	5	220	2,91	1,15
Zufriedenheit mit Schallschutzfenster	1	5	229	3,31	1,17
Zufriedenheit mit Lüfter	1	5	193	2,17	1,30
Zufriedenheit mit Dach-/Gebäudedämmung	1	5	173	2,32	1,35

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Um zu erfassen, welches Kriterium laut Teilnehmenden ausschlaggebend dafür sein sollte, ob ein Haushalt Anspruch auf baulichen Schallschutz gegen Fluglärm für die Schlafräume hat, wurde ihre Zustimmung zu verschiedenen den Kriterien zugehörigen Aussagen auf einer 5er-Skala erfragt (Abbildung 34). Die höchste durchschnittliche Zustimmung erhielt der Geräuschpegel ($M = 4,74$; $SD = 0,65$; „Je höher der Geräuschpegel der überfliegenden Flugzeuge ist, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen“), gefolgt von der Häufigkeit der Überflüge ($M = 4,66$; $SD = 0,76$; „Je häufiger das Wohnhaus von Flugzeugen überflogen wird, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen“). Der Grad der Zustimmung zu den verschiedenen Kriterien spiegelt sich auch in der darauffolgenden Frage wider. Auf die Frage, welcher der vier Aspekte der wichtigste zur Bewilligung von baulichem Schallschutz in den Schlafräumen sei, gaben insgesamt 391 Personen eine Antwort: 210 Personen nannten den Geräuschpegel, 53 die Entfernung, 130 die Anzahl der Überflüge, und 97 die Aufwachreaktionen.

Abbildung 34: Durchschnittliche Zustimmung (inkl. Standardfehler) zu den Kriterien zugehörigen Aussagen (n=428-435)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Es wurden Gruppenvergleiche und Sensitivitätsanalysen zu berichteten Schlafstörungen (beim Ausschlafen) durchgeführt, um etwaige Unterschiede beispielsweise zwischen den beiden Flughafenregionen identifizieren zu können. Die Ergebnisse zu den Mittelwertvergleichen (Kovarianzanalysen; *analysis of covariance*, ANCOVA) verschiedener Subgruppen sind in Anhang C.1.1 und C.1.2 dargestellt.

Zusammengefasst verdeutlichen die Kovarianzanalysen statistisch signifikante Unterschiede im Grad der Ausschlafstörungen zwischen

- ▶ den Flughäfen (geringere Ausschlafstörungen am Flughafen Köln/Bonn);
- ▶ Teilnehmenden mit und ohne baulichen Schallschutzmaßnahmen (höhere Ausschlafstörungen berichten Teilnehmende mit baulichen Schallschutzmaßnahmen, was vermutlich eher durch eine höhere Fluglärmbelastung bedingt ist, welche die Schallschutzmaßnahmen ausgelöst hat) und
- ▶ zwischen Teilnehmenden mit überwiegend geöffneter/gekippter vs. geschlossener Fensterstellung im Schlafzimmer (höhere Ausschlafstörungen bei überwiegend geschlossenem Schlafzimmerfenster, was auf das Fensterschließen als Lärmbewältigungsmaßnahme schließen lässt).

5.7.6 Korrelationen zwischen Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen

Um die Zusammenhänge zwischen den Variablen zu untersuchen, wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Wie zu erwarten korrelieren die akustischen Kenngrößen alle sehr hoch miteinander (siehe Tabelle 24). Zwischen den akustischen Kenngrößen und den Lärmwirkungsvariablen (hier Schlafstörungen) fallen die Korrelationen deutlich geringer aus. Die Schlafstörungen beim

Ausschlafen korrelieren noch am höchsten mit den akustischen Kenngrößen; so liegt die Korrelation zwischen Ausschlafen und AWR bei $r = 0,27$ ($p < 0,01$) und zwischen Durchschlafen und AWR bei $r = 0,14$ ($p < 0,01$). Weiterhin korrelieren die AWR insgesamt am besten mit den verschiedenen Schlafstörungsvariablen, wobei die Unterschiede zwischen der Korrelation von der Störungsvariable Ausschlafen mit den vier verschiedenen akustischen Kenngrößen statistisch nicht signifikant sind (siehe Tabelle 65). Die Signifikanzprüfung erfolgte mit Meng, Rosenthal und Rubin's z (1992), welches die Korrelationen zwischen einer abhängigen Variable (hier: Ausschlafstörungen) und einem Set von verschiedenen unabhängigen Variablen (hier: die akustischen Kenngrößen) untersucht.

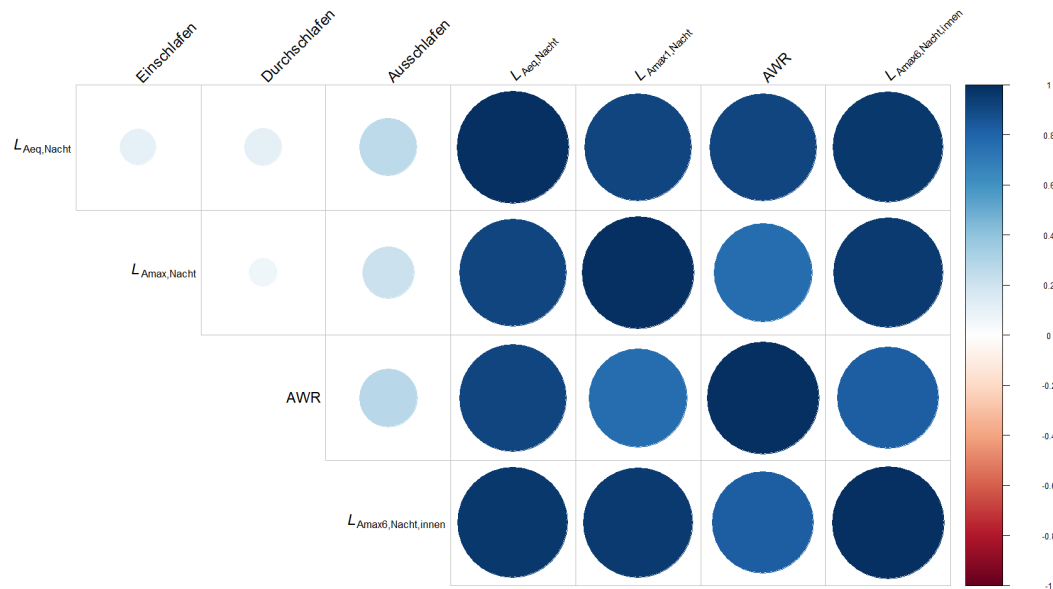
Tabelle 24: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen (n=439-449)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,105*	0,112*	0,267**	1	0,915**	0,915**	0,968**
	N	443	446	439	449	449	449	449
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,090	0,066	0,215**	0,915**	1	0,766**	0,956**
	N	443	446	439	449	449	449	449
AWR	Pearson-Korrelation	0,114*	0,139**	0,270**	0,915**	0,766**	1	0,822**
	N	443	446	439	449	449	449	449
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	0,111*	0,091	0,243**	0,968**	0,956**	0,822**	1
	N	443	446	439	449	449	449	449

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Abbildung 35 zeigt die Korrelationen zwischen den Variablen in graphischer Form. Die Farbe Blau steht für eine positive Korrelation zwischen den beiden Variablen und die Farbe Rot für eine negative Korrelation. Je kleiner der Kreis und je heller die Farbe, desto niedriger ist die Korrelation zwischen diesen beiden Variablen und umgekehrt.

Abbildung 35: Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Die Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen mit anderen relevanten Variablen sind in Anhang C.2 Tabelle 62, Tabelle 63 und Tabelle 64 zu finden. Alle drei Schlafstörungsvariablen (Einschlafen, Durchschlafen und Ausschlafen) korrelieren beispielsweise signifikant negativ mit der Zufriedenheit mit der Wohnumgebung. Das bedeutet, je höher die Schlafstörung, desto weniger zufrieden sind die Teilnehmenden mit ihrer Wohnumgebung. Höhere Schlafstörungen sind ebenfalls mit den Einstellungen zum Flughafen assoziiert (Flughafenbetrieb fördert die Weiterentwicklung, bietet neue Arbeitsplätze und führt zu einer Wertminderung der Grundstücke). Je höher die Schlafstörungen, desto negativer sind die Einstellungen zum Flughafen. Dies gilt auch im Hinblick auf das Vertrauen in Verantwortliche: Das Vertrauen fällt geringer aus bei Teilnehmenden, die schlafgestörter sind. Die Zufriedenheit mit den baulichen Schallschutzmaßnahmen insgesamt zeigt ähnliche Korrelationen. Eine Ausnahme sind die Korrelationen mit den Vertrauensvariablen: Je höher die Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen, desto höher fällt das Vertrauen in Verantwortliche aus.

Vergleichend wurden ebenfalls Korrelationsanalysen für die verschiedenen Subgruppen (z. B. Flughafen Köln/Bonn und Leipzig/Halle) gerechnet. Die Ergebnisse sind in Anhang C.1.3 dargestellt.

5.7.7 Multiple Regressionsanalyse zum Vergleich des Einflusses der vier akustischen Kenngrößen auf die Ausschlafstörungen

Um für etwaige andere Faktoren, die Einfluss auf die Ausschlafstörungen nehmen können, zu kontrollieren, wurden Regressionsanalysen gerechnet. Es wurden somit vier multiple Regressionsanalysen (Modelle) gerechnet, jeweils mit einem der vier akustischen Kenngrößen sowie weiteren Prädiktoren als unabhängige Variablen und den Ausschlafstörungen als abhängige Variable. Mit diesen Regressionsanalysen wurde der Frage nachgegangen, welche akustische Kenngröße bzw. welches Modell, kontrolliert um weitere Faktoren, die höchste Gesamtvarianz aufklärt.

Für die multiple Regressionsanalysen wurden auf Basis der Korrelationen (siehe Anhang C.2) neben den vier akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR, $L_{Amax6,Nacht,innen}$) das Geschlecht, das Alter, das Alter zum Quadrat, und die Lärmempfindlichkeit als Prädiktoren in die Analyse aufgenommen. Das Alter wurde zusätzlich als quadrierte Variable aufgenommen, da sich bei den vorliegenden Daten die Tendenz einer umgekehrt U-förmigen Beziehung zwischen Alter und Ausschlafstörung zeigte. Das heißt, die Ausschlafstörungen nehmen mit dem Alter zunächst zu und dann wieder ab. Mit dem Einfügen von Alter und dem Quadrat des Alters in das Regressionsmodell entsteht mathematisch ein quadratischer Ausdruck, mit dem die nichtlineare, umgekehrt U-förmige Beziehung des Alters zu den Ausschlafstörungen abgebildet wird.

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen finden sich in Tabelle 25, Tabelle 26, Tabelle 27 und Tabelle 28. Alle vier akustischen Kenngrößen haben einen signifikanten Einfluss auf die Ausschlafstörungen, wobei AWR den größten Einfluss zu haben scheinen (siehe Tabelle 27). Ein Anstieg um eine AWR ist mit einem Anstieg von 0,389 Punkten ($p < 0,001$) bezogen auf die Ausschlafstörungen assoziiert. Die Regressionskoeffizienten der anderen akustischen Kenngrößen fallen deutlich geringer aus: Bei einem Anstieg von 1 dB im $L_{Aeq,Nacht}$ beispielsweise steigen die Ausschlafstörungen um 0,075 ($p < 0,001$, Tabelle 25), ein 1-dB-Anstieg von $L_{Amax1,Nacht}$ geht mit einer Erhöhung der Ausschlafstörungen um 0,048 einher ($p < 0,001$, Tabelle 26) und steigt der $L_{Amax6,Nacht,innen}$ um 1 dB erhöhen sich die Ausschlafstörungen um 0,063 ($p < 0,001$, Tabelle 28).

Einen weiteren signifikanten Effekt auf die Ausschlafstörungen scheint die Lärmempfindlichkeit in allen vier Regressionen zu haben ($p < 0,001$). Das Alter (mit dem Ausdruck Alter und Alter zum Quadrat) hat einen kleinen Einfluss auf die Ausschlafstörungen ($p < 0,05$), wobei auch hier die Regressionskoeffizienten sehr gering ausfallen (vgl. Tabelle 25, Tabelle 26, Tabelle 27, Tabelle 28). Das Geschlecht hingegen zeigt keinen signifikanten Einfluss auf die Ausschlafstörungen.

Die Varianzaufklärung (R^2) liegt bei allen vier Modellen in einem sehr ähnlichen Bereich (siehe Tabelle 29).

Tabelle 25: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Aeq,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=425)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-4,847	0,859	0,000		-6,535	-3,160
$L_{Aeq,Nacht}$	0,075	0,014	0,000	0,214	0,048	0,102
Geschlecht	-0,097	0,112	0,386	-0,033	-0,318	0,123
Alter	0,042	0,022	0,055	0,446	-0,001	0,084
Alter ²	0,000	0,000	0,044	-0,467	-0,001	0,000
Lärmempfindlichkeit	0,752	0,054	0,000	0,549	0,645	0,859

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 26: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax1,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=425)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-4,765	0,915	0,000		-6,563	-2,967
$L_{Amax1,Nacht}$	0,048	0,010	0,000	0,187	0,029	0,068
Geschlecht	-0,089	0,113	0,435	-0,030	-0,311	0,134
Alter	0,044	0,022	0,047	0,467	0,001	0,087
Alter ²	0,000	0,000	0,039	-0,482	-0,001	0,000
Lärmempfindlichkeit	0,766	0,055	0,000	0,558	0,658	0,873

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 27: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren AWR, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=425)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-1,730	0,616	0,005		-2,940	-0,519
AWR	0,389	0,078	0,000	0,194	0,235	0,543
Geschlecht	-0,100	0,113	0,379	-0,034	-0,322	0,123
Alter	0,046	0,022	0,037	0,489	0,003	0,089
Alter ²	0,000	0,000	0,028	-0,513	-0,001	0,000
Lärmempfindlichkeit	0,742	0,055	0,000	0,541	0,634	0,850

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 28: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax6,Nacht,innen}$, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=425)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-4,459	0,825	0,000		-6,080	-2,837
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,063	0,012	0,000	0,207	0,040	0,086
Geschlecht	-0,099	0,113	0,378	-0,034	-0,321	0,122
Alter	0,041	0,022	0,059	0,440	-0,002	0,084
Alter ²	0,000	0,000	0,050	-0,456	-0,001	0,000
Lärmempfindlichkeit	0,759	0,054	0,000	0,554	0,652	0,866

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 29: Varianzaufklärung der vier gerechneten Modelle

Regressionsanalyse mit...	Korrigiertes R ²	AIC
$L_{Aeq,Nacht}$	0,377	128,655
$L_{Amax1,Nacht}$	0,367	135,730
AWR	0,369	134,448
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,374	130,669

R²= Determinationskoeffizient (Varianzaufklärung), AIC=Akaikes Informationskriterium

5.8 Fazit der Bevölkerungsbefragung

Insgesamt gab die Stichprobe der Bevölkerungsbefragung eine vergleichsweise höhere Lärmempfindlichkeit (siehe Tabelle 15) und ein geringes Vertrauen in das Bemühen von Verantwortlichen an (siehe Abbildung 31). Die Belästigung durch nächtlichen Fluglärm fiel im Vergleich zu Straßen- und Schienenverkehrslärm am höchsten aus und schien auch insbesondere das Gesamturteil zur Lärmbelästigung zu beeinflussen (Abbildung 32). Dies geht aus den Korrelationen hervor: Das Lärmbelastigungsurteil insgesamt korreliert deutlich am stärksten mit der Fluglärmelastigung (siehe Anhang C.1 Tabelle 62). Teilnehmende gaben weiterhin im Durchschnitt *mittelmäßige* Schlafstörungen durch Fluglärm an, wobei die Schlafstörungen während des Schlafs (Durchschlafstörungen) am höchsten ausfallen (Abbildung 33). Laut den meisten Teilnehmenden sollte der Geräuschpegel an einem Wohnhaus darüber entscheiden, ob die dort wohnhaften Haushalte Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen haben.

Die Korrelationen zwischen AWR und den Schlafstörungsvariablen fallen im Vergleich zu den Korrelationen der anderen drei akustischen Kenngrößen mit den Schlafstörungsvariablen am höchsten aus, wobei die Unterschiede allerdings statistisch nicht signifikant sind.

Bei den Korrelationen und den multiplen Regressionen zeigt sich ein stärkerer Zusammenhang zwischen den AWR und den Schlafstörungen, insbesondere den Ausschlafstörungen, im Vergleich zu den übrigen drei akustischen Kenngrößen. Die multiplen Regressionsanalysen zeigen jedoch auch, dass die vier Modelle mit jeweils einer akustischen Kenngröße in etwa die gleiche Varianz aufklären. Als weiterer relevanter Prädiktor für Ausschlafstörungen wurden im Rahmen der multiplen Regressionsanalysen die Lärmempfindlichkeit identifiziert.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist die relativ kleine Stichprobe von 449 Teilnehmenden zu berücksichtigen.

6 Re-Analyse der NORAH-Befragungsdaten für den Flughafen Frankfurt/Main 2011

Mit der Kombination von Neubefragungen und der NORAH-Re-Analyse konnte ein schrittweiser Vergleich der ereignisbezogenen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien erfolgen. Die neu-durchgeführte Bevölkerungsbefragung an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle griff die ausgewählten nächtlichen Abgrenzungskriterien explizit auf, und erlaubte einen Vergleich der Kriterien und dem damit verbundenen baulichen Schallschutz. Daneben wurde die Sichtweise der Teilnehmenden zur wahrgenommenen Gerechtigkeit der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien erfasst. Im nächsten Schritt wurde mit Hinzunahme der NORAH-Re-Analyse von Daten aus der Region am Flughafen Frankfurt/Main die Generalisierbarkeit des vorläufigen Vergleichs der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien auf einen größeren Flughafen mit (bewegter) Ausbaugeschichte untersucht.

6.1 Beschreibung der genutzten NORAH-Daten

Die NORAH-Studie wurde hauptsächlich im Rhein-Main-Gebiet (Umkreis Flughafen Frankfurt/Main) durchgeführt sowie in einem kleineren Umfang im Umkreis der Flughäfen Berlin Brandenburg, Köln/Bonn und Stuttgart. Die NORAH-Studie bestand aus fünf Teilstudien (Lebensqualitätsstudie, Studie zu Krankheitsrisiken, Schlafstudie, Blutdruckstudie und Kinderstudie). Es gab insgesamt drei Panelwellen: 2011, 2012, und 2013. Die Re-Analyse erfolgte mit Daten der Stichprobe der Lebensqualitätsstudie aus der 1. Panelwelle von 2011 mit 9.244 Personen aus dem Rhein-Main-Gebiet. Zum Zeitpunkt dieser Befragungswelle gab es die später eingeführte Nachtflugbeschränkung am Flughafen Frankfurt/Main noch nicht und im Laufe der Nacht fand Luftverkehr statt. Für die Untersuchung wurden die Personen ausgewählt, bei denen mindestens eins der ausgewählten nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien zutraf. Daraus ergab sich eine Stichprobengröße von 3.436 Fällen.

6.2 Befragungsinhalte der NORAH-Daten

Aus den NORAH-Daten wurden für dieses Projekt die folgenden relevanten Variablen ausgewählt:

- ▶ Wohnumgebung und Wohnbedingungen (z. B. Wohndauer, Fensterstellung in der Nacht);
- ▶ Belästigung durch Fluglärm insgesamt und zu verschiedenen Tageszeiten sowie Schlafstörungen nach ICBEN (Fields et al. 2001);
- ▶ Nicht-akustische Faktoren wie Einstellungen zum Luftverkehr, Vertrauen in Verantwortliche sowie Lärmempfindlichkeit;
- ▶ Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen;
- ▶ Soziodemographische Angaben wie Alter, Geschlecht, sozio-ökonomischer Status.

Der gesamte Fragebogen der NORAH-Studie ist online verfügbar (Schreckenberget al. 2015).

6.3 Stichprobenbeschreibung

Tabelle 30 und Tabelle 31 beschreiben die soziodemographischen Merkmale der Teilnehmenden. Das Verhältnis von männlichen und weiblichen Teilnehmenden war nahezu ausgeglichen (50,9 % männlich, 49,1 % weiblich, 0 % divers). Das Durchschnittsalter betrug 50,9 Jahre ($SD =$

15,9) und lag in einem Intervall von 18 bis 94 Jahren. Die Teilnehmenden hatten durchschnittlich etwa 28 Jahre in ihrer aktuellen Wohnung oder ihrem aktuellen Haus gewohnt. Die Mehrheit der Teilnehmenden lebte in einem Eigenheim (69 %). 46 % der Teilnehmenden wiesen nach dem Scheuch-Winkler-Index (SWI) einen mittleren sozialen Status auf und 38 % einen hohen sozialen Status. Die durchschnittliche Empfindlichkeit gegenüber Geräuschen auf einer Skala von 1 bis 4 betrug 2,6 ($SD = 1,05$).

Tabelle 30: Soziodemographische Angaben der Stichprobe

Variable	Ausprägung	N	Prozente
Geschlecht (n= 3436)	männlich	1687	49,1
	weiblich	1749	50,9
	divers	0	0
Eigentumsstatus (n= 2548)	Eigentum	1750	68,7
	Miete	798	31,3
SWI (n=3373)	niedriger SWI-Status	549	16,3
	mittlerer SWI-Status	1536	45,5
	hoher SWI-Status	1288	38,2

N=Anzahl Teilnehmende

Tabelle 31: Mittelwerte und Standardabweichungen zu verschiedenen Variablen

Variable	Minimum	Maximum	N	M	SD
Alter	18	94	3436	50,85	15,94
Wohndauer	0	88	2872	27,62	19,23
Geräuschempfindlichkeit	1	4	1360	2,55	1,05

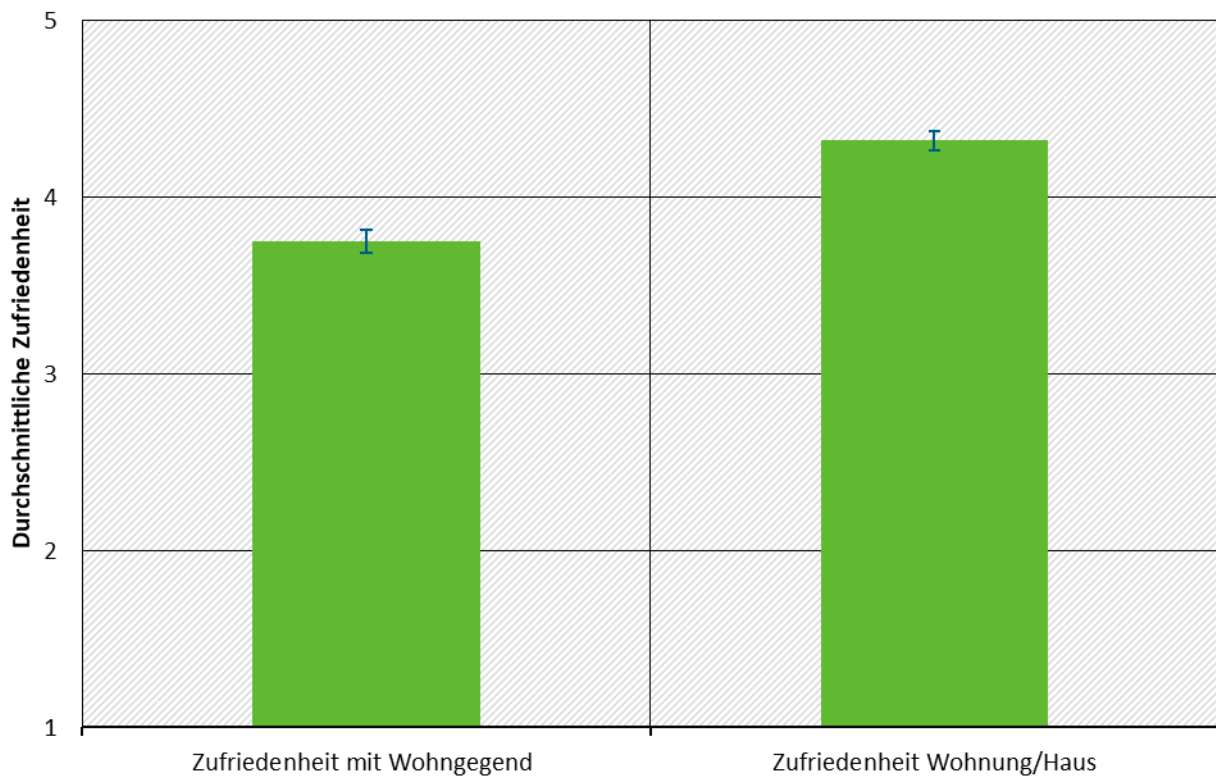
N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

6.4 Ergebnisse der Re-Analyse der NORAH-Daten

6.4.1 Wohn- und Lebensbedingungen im Flughafenumfeld sowie Lärmwirkungen des nächtlichen Fluglärms

Auf einer 5-stufigen Skala (von 1 = *nicht* bis 5 = *sehr zufrieden*) betrug die durchschnittliche Zufriedenheit mit der Wohnumgebung 3,75 ($SD = 1,06$) und die durchschnittliche Zufriedenheit mit der Wohnung/dem Haus 4,32 ($SD = 0,88$; siehe Abbildung 36).

Abbildung 36: Durchschnittliche Zufriedenheit (inkl. Standardfehler) mit der Wohnumgebung und der Wohnung/dem Haus (n= 3428- 3432)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Tabelle 32 liefert einen Überblick über die Wahrnehmung der Teilnehmenden bezüglich des Flughafens, des Flughafenbetriebs sowie Auswirkungen durch nächtlichen Fluglärm, wie Schlafstörungen. Die positiven Eigenschaften des Flughafens, *nützlich* ($M = 3,76$; $SD = 1,11$) und *bequem* ($M = 4,16$; $SD = 0,96$), erhielten eine höhere Zustimmung als die negativen Eigenschaften *gefährlich* ($M = 2,59$; $SD = 1,43$) und *umweltschädigend* ($M = 2,57$; $SD = 1,27$).

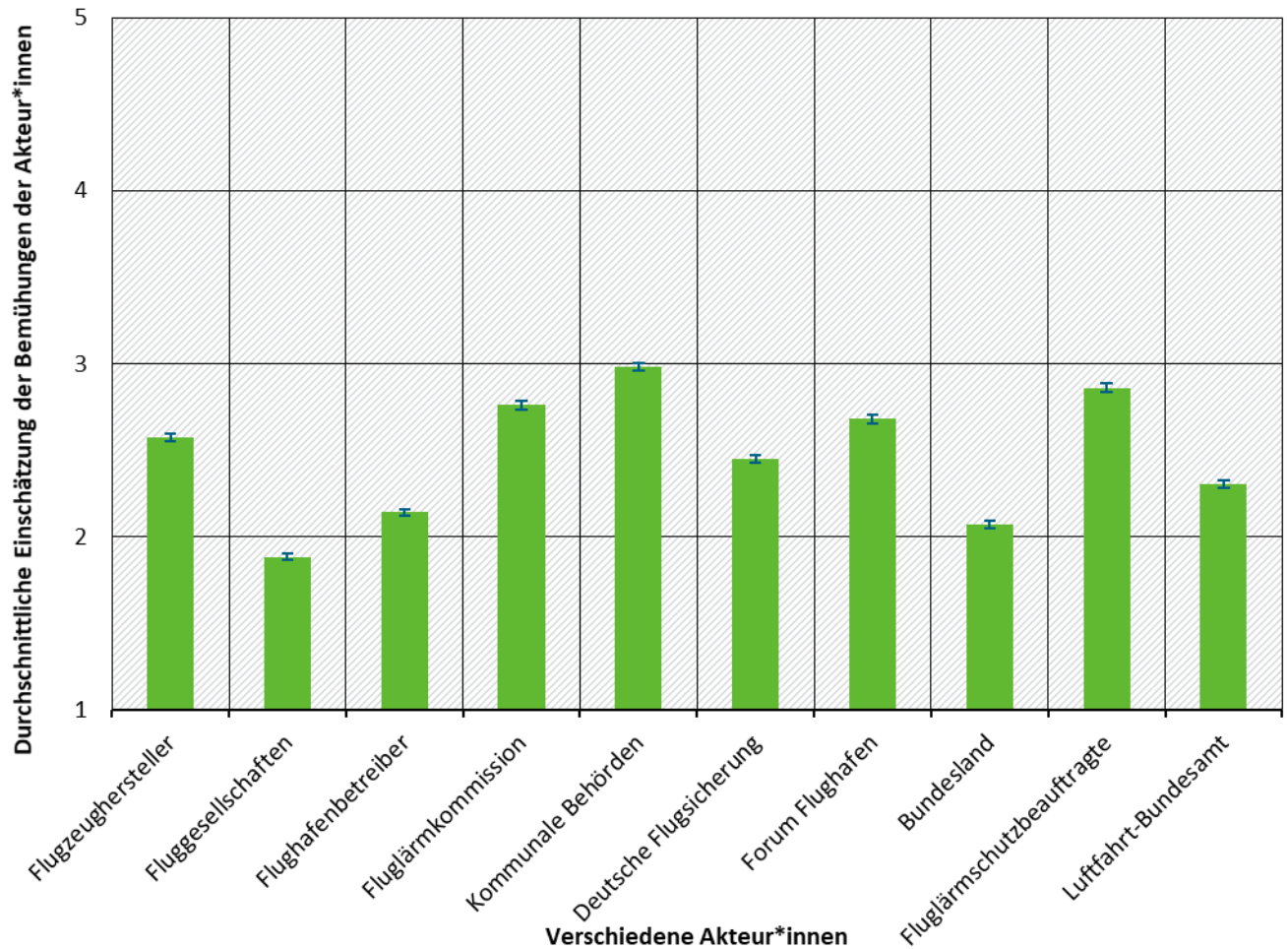
Tabelle 32: Überblick über deskriptive Statistiken zur Wahrnehmung von und Auswirkungen des Flughafenbetriebs

Variable	Items	N	M	SD
Aussagen zum Flughafenbetrieb	Nützlich	3412	3,76	1,11
	Gefährlich	3409	2,59	1,43
	Bequem	3377	4,16	0,96
	Umweltschädigend	3389	2,57	1,27
Bemühungen verschiedener Akteur*innen	Flugzeughersteller	3110	1,98	1,27
	Fluggesellschaften	3195	2,57	1,04
	Flughafenbetreiber	3289	1,88	1,15
	Fluglärmkommission	2680	2,14	1,22
	Kommunale Behörden	3233	2,76	1,27
	Deutsche Flugsicherung	2820	2,98	1,22
	Forum Flughafen	2317	2,45	1,20
	Bundesland	3249	2,68	1,12
	Fluglärmschutzbeauftragte	2564	2,07	1,28
	Luftfahrt-Bundesamt	2688	2,86	1,15
Belästigung letzte 12 Monate	insgesamt	3431	3,47	1,10
	Straßenverkehr	3433	2,08	1,12
	Schienenverkehr	3429	1,56	0,92
	Luftverkehr	3436	3,79	1,19
	Verkehr insgesamt	3425	3,50	1,10
	Industrie- und Gewerbe	3427	1,26	0,66
	Nachbar*innen	3434	1,53	0,87
Schlafstörungen durch nächtlichen Fluglärm	Beim Einschlafen	443	2,96	1,44
	Während des Nachtschlafs	446	2,59	1,44
	Beim Ausschlafen	439	2,93	1,50
Auswirkungen des Fluglärms	Fluglärm führt dazu, dass man sich erschrickt	3425	1,90	1,21
	Fluglärm macht einen nervös und gereizt	3415	3,02	1,50
	Fluglärm führt zu Kopfschmerzen	3368	1,99	1,30

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung.

Zusätzlich wurden die Teilnehmenden gefragt, wie sie die Bemühungen verschiedener Personen oder Gruppen, die Belästigung und Störungen durch Fluglärm in der Nacht zu reduzieren, auf einer Skala von 1 (*nicht*) bis 5 (*sehr*) einschätzen (Abbildung 37). Die Mittelwerte liegen hier im geringeren Bereich zwischen 1,88 für die Fluggesellschaften ($SD = 1,15$) und 2,98 für kommunale Behörden ($SD = 1,22$).

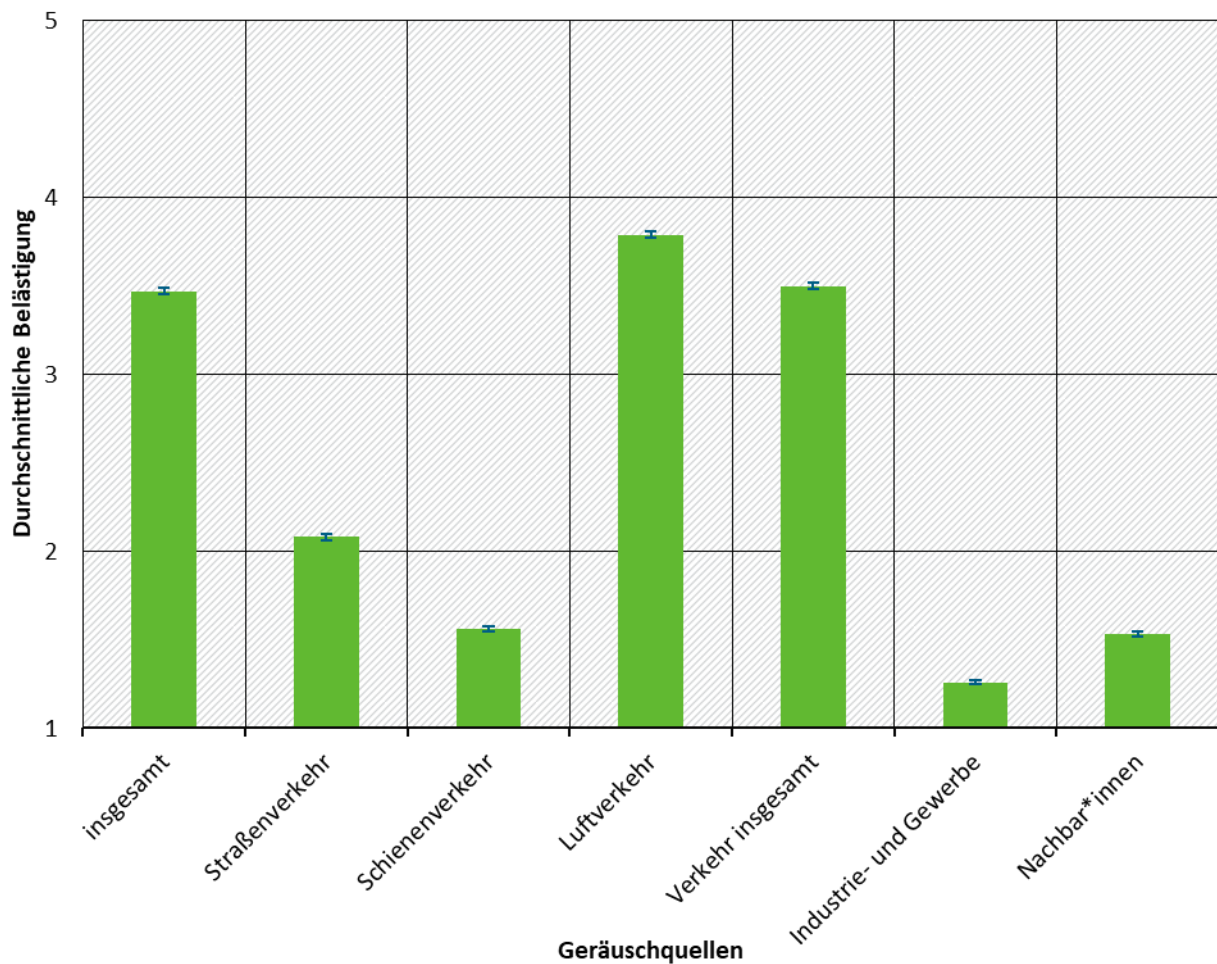
Abbildung 37: Durchschnittliche Einschätzung der Bemühungen (inkl. Standardfehler) verschiedener Akteur*innen (n=3425-3289)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Abbildung 38 veranschaulicht die durchschnittliche Belästigung durch verschiedene Geräuschquellen für die letzten 12 Monate zum Befragungszeitraum. Hierbei zeigen der Industrie- und Gewerbelärm ($M = 1,26$; $SD = 0,66$), Lärm von Nachbar*innen ($M = 1,53$; $SD = 0,87$) sowie der Schienenverkehrslärm ($M = 1,56$; $SD = 0,92$) die geringsten Beeinträchtigungen. Deutlich höher fallen die Belästigungen durch den Luftverkehr ($M = 3,79$; $SD = 1,19$) und den Verkehrslärm im Ganzen ($M = 3,50$; $SD = 1,10$) aus. Die Lärmbelastung insgesamt lag durchschnittlich bei 3,47 ($SD = 1,10$).

Abbildung 38: Durchschnittliche Belästigung (inkl. Standardfehler) durch verschiedene Geräuschquellen in den letzten 12 Monaten (n=436-3436)

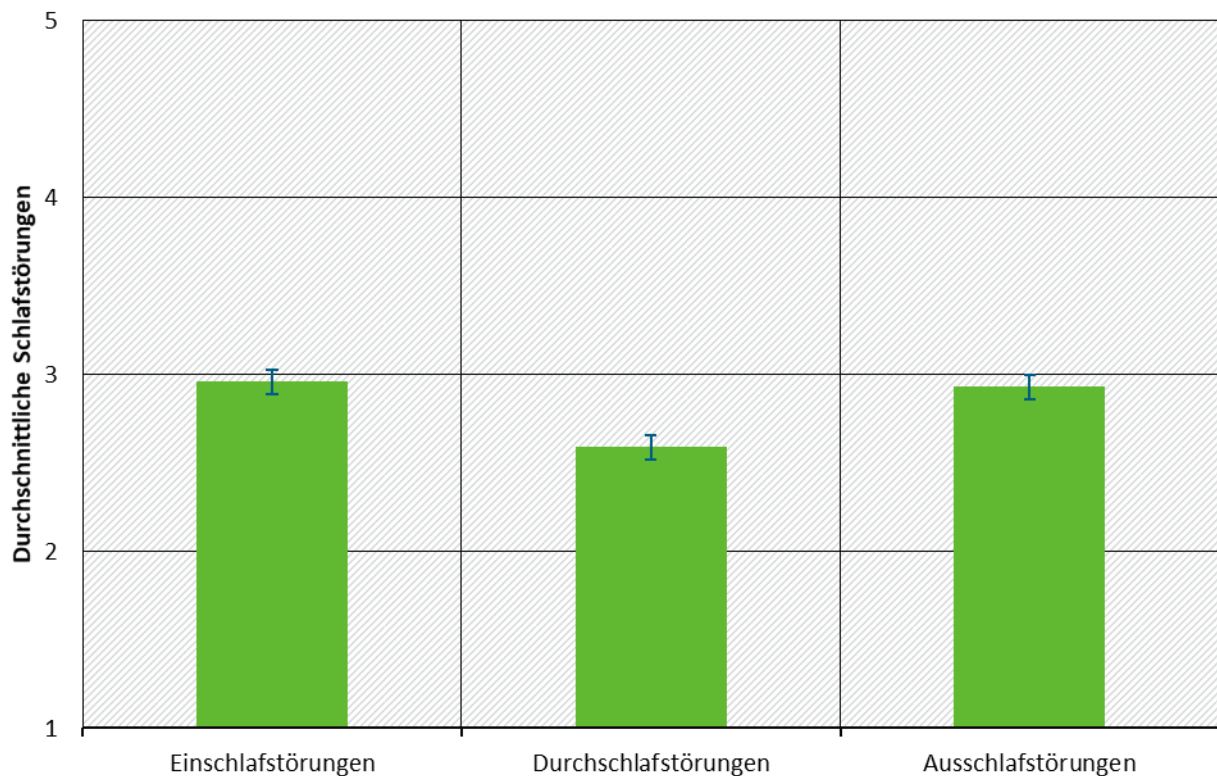


Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Die Darstellung in Abbildung 39 zeigt die angegebenen Schlafstörungen durch nächtlichen Fluglärm. Ein- und Ausschlafstörungen ($M = 2,96$; $SD = 1,44$ / $M = 2,93$; $SD = 1,50$) fallen sehr ähnlich und höher als die Durchschlafstörungen ($M = 2,59$; $SD = 1,44$) aus.

Verglichen mit anderen Aspekten des nächtlichen Fluglärms scheint vor allem die Länge des Fluggeräusches als besonders störend und belästigend empfunden zu werden ($M = 3,42$; $SD = 1,42$), gefolgt von dem tieftönenden Brummen ($M = 3,15$; $SD = 1,44$; siehe Tabelle 32). Als Auswirkung des Fluglärms gaben die Teilnehmenden im Durchschnitt an, im mittelmäßigen Bereich gereizt oder nervös zu sein ($M = 3,02$; $SD = 1,50$), Kopfschmerzen oder Erschrecken sind etwas seltenere Auswirkungen (Tabelle 32).

Abbildung 39: Durchschnittliche Schlafstörungen (inkl. Standardfehler) durch Fluglärm (n= 3423-3430)



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Hinsichtlich der Lärmbewältigung, gaben die meisten Teilnehmenden an, dass sie die Fenster schließen ($M = 2,78$; $SD = 1,47$), sich gegen den nächtlichen Fluglärm generell ganz gut schützen könnten ($M = 2,59$; $SD = 1,30$; Tabelle 33) oder sie sich mit dem nächtlichen Fluglärm abgefunden hätten ($M = 2,63$; $SD = 1,52$).

Tabelle 33: Überblick der deskriptiven Statistiken zu den Variablen der Lärmbewältigung

Variable	N	M	SD
Ich kann mich gegen nächtlichen Fluglärm ganz gut schützen.	3434	2,59	1,30
Wenn es mir zu laut wird, mache ich einfach die Fenster zu und dann stört mich der nächtliche Fluglärm nicht mehr.	3434	2,78	1,47
Manchmal fühle ich mich dem nächtlichen Fluglärm richtig ausgeliefert.	3427	2,34	1,51
Den nächtlichen Fluglärm höre ich schon gar nicht mehr.	3434	2,09	1,33
Wenn der nächtliche Fluglärm sehr laut wird, schalte ich einfach ab.	3434	1,83	1,24
Ich habe mich damit abgefunden, dass der nächtliche Fluglärm nun mal da ist.	3434	2,63	1,52

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

6.4.2 Vorhandensein und Zufriedenheit mit baulichen Schallschutzmaßnahmen

Im Folgenden werden die baulichen Schallschutzmaßnahmen thematisiert (Tabelle 34 und Tabelle 35). Die Teilnehmenden gaben zunächst an, ob Lärmschutzmaßnahmen am Wohngebäude vorhanden sind, was bei 46,1 % der Befragten zutraf. Von diesen 46,1 % gaben 49,9 % an, die Lärmschutzmaßnahmen seien fremd finanziert worden, 40,9 % hätten es selbst finanziert, und bei 9,2 % war die Finanzierung unbekannt. 84 % der Befragten haben das „Passiver Schallschutz-Programm“ nicht in Anspruch genommen. Als häufigste Verglasung sowohl im Wohnraum als auch im Schlafzimmer wurde Doppelverglasung bzw. Doppelfenster genannt (77 %/ 71 %). Dreifachverglasung bzw. Schallschutzfenster waren in 15,3 % der Wohnzimmer und 16 % der Schlafzimmer vorhanden. Die durchschnittliche Zufriedenheit mit den Schallschutzmaßnahmen am Wohngebäude lag bei 3,61 ($SD = 1,13$).

Tabelle 34: Überblick über Vorhandensein verschiedener baulicher Schallschutzmaßnahmen

Variable	Ausprägung und Items	N	Prozente
Lärmschutzmaßnahmen am Wohngebäude (n= 3313)	Ja, selbst finanziert	625	18,9
	Ja, fremd finanziert	762	23,0
	Ja, durchgeführt, unbekannte Finanzierung	141	4,3
	Nein	1785	53,9
Lärmschutzmaßnahmen am Wohngebäude vorhanden (n = 3313)	Nein	1785	53,9
	Ja	1528	46,1
„Passiver Schallschutz-Programm“ in Anspruch genommen? (n= 3285)	Ja	525	16,0
	Nein	2760	84,0
Welche Verglasung haben die Fenster im Wohnraum Ihrer derzeitigen Wohnung bzw. Ihres derzeitigen Hauses (Hauptwohnraum)? (n= 2830)	einfache Fensterscheiben	104	3,7
	Doppelverglasung oder Doppelfenster	2179	77,0
	Schallschutzfenster, Dreifachverglasung	434	15,3
	Schallschutzfenster in Verbindung mit Lüftern	113	4,0
Und welche Verglasung haben die Fenster in Ihrem Schlafzimmer? (n= 2832)	einfache Fensterscheiben	102	3,6
	Doppelverglasung oder Doppelfenster	2012	71,0
	Schallschutzfenster, Dreifachverglasung	453	16,0
	Schallschutzfenster in Verbindung mit Lüftern	265	9,4

N=Anzahl Teilnehmende

Tabelle 35: Deskriptive Statistik zur Zufriedenheit mit dem Beantragungsprozess und den baulichen Schallschutzmaßnahmen

Variable	Minimum	Maximum	N	M	SD
Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen am Wohngebäude	1	5	1515	3,61	1,13

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Um etwaige Unterschiede beispielsweise zwischen Personen mit und ohne Schallschutzmaßnahmen identifizieren zu können, wurden auch mit den NORAH-Daten Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse zu den Mittelwertvergleichen verschiedener Subgruppen sind in Anhang D.1.1 und D.1.2 dargestellt.

6.4.3 Korrelationen zwischen Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen

Korrelationsanalysen wurden gerechnet, um weitere Zusammenhänge zwischen den Variablen zu verdeutlichen. Auch bei den NORAH-Daten korrelieren die akustischen Kenngrößen stark untereinander (siehe Tabelle 36). Die Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungen hingegen sind zwar alle statistisch signifikant, fallen jedoch in ihrer Effektstärke (Enge des Zusammenhangs) alle sehr gering aus. Die höchste Korrelation liegt hier zwischen dem $L_{Amax6,Nacht,innen}$ und dem Ausschlafen mit $r = 0,21$ ($p < 0,01$). Grundsätzlich korrelieren die Ausschlafstörungen noch am höchsten mit den akustischen Kenngrößen. Die Korrelationskoeffizienten legen nahe, dass die Schlafstörungen mit dem $L_{Aeq,Nacht}$ höher korrelieren als mit anderen akustischen Kenngrößen. Am Beispiel der Ausschlafstörungen wurde dies inferenzstatistisch geprüft (vgl. Anhang D.3). Zwar waren die Korrelationsunterschiede statistisch signifikant, aber – bei Ausschlafstörungen – mit Korrelationen zwischen 0,15 und 0,19 von geringen Unterschieden in der Effektstärke.

Tabelle 36: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen (n=3423-3436)

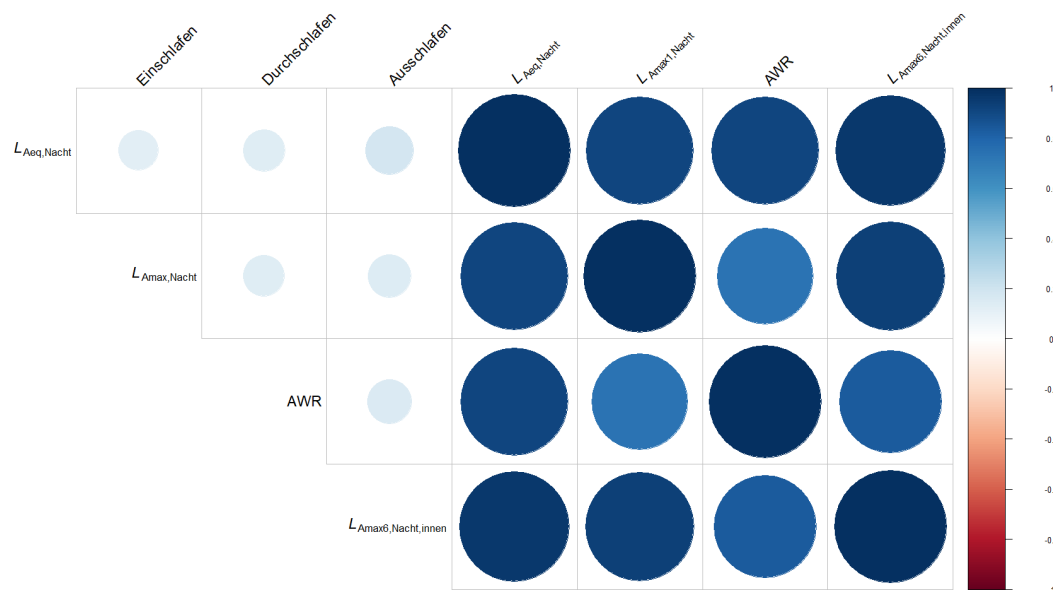
Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	,127**	,140**	,187**	1	,917**	,916**	,961**
	N	3430	3423	3423	3436	3436	3436	3436
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	,123**	,136**	,150**	,917**	1	,733**	,931**
	N	3430	3423	3423	3436	3436	3436	3436
AWR	Pearson-Korrelation	,090**	,106**	,159**	,916**	,733**	1	,833**
	N	3430	3423	3423	3436	3436	3436	3436

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	,141**	,145**	,207**	,961**	,931**	,833**	1
	N	3430	3423	3423	3436	3436	3436	3436

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

In Abbildung 40 sind die Zusammenhänge zwischen den Variablen als Grafik dargestellt.

Abbildung 40: Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und den Schlafstörungsvariablen



Quelle: eigene Darstellung, ZEUS GmbH

Die Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen mit anderen relevanten Variablen sind in Anhang D.2 in Tabelle 79 und Tabelle 80 zu finden. Ebenfalls wurden anhand von Sensitivitätsanalysen (Kovarianz- und Korrelationsanalysen) Subgruppenunterschiede untersucht. Die Ergebnisse finden sich in den Anhängen D.1.2 und D.1.3. Zusammenfassend zeigt sich wie auch bei den Befragungen an den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle, dass die überwiegend geschlossene Fensterstellung im Schlafzimmer mit höherer Ausschlafstörung einhergeht und damit vermutlich Ausdruck eines Bewältigungsverhaltens aufgrund der Gestörtheit durch eine höhere Fluglärmbelastung ist. Unterschiede in den Ausschlafstörungen in Abhängigkeit vom Vorhandensein baulicher Schallschutzmaßnahmen zeigten sich in den NORAH-Daten nicht.

6.4.4 Multiple Regressionsanalyse zum Vergleich des Einflusses der vier akustischen Kenngrößen auf die Ausschlafstörungen

Um den Einfluss der akustischen Kenngrößen auf die Ausschlafstörungen im Kontext von bzw. adjustiert nach weiteren Einflussgrößen zu untersuchen, wurden multiple Regressionsanalysen

durchgeführt. Insgesamt wurden vier Modelle mittels multipler Regressionsanalysen erstellt. Jedes Modell berücksichtigte eine der vier akustischen Kenngrößen und zusätzliche Variablen als Prädiktoren, wobei die Ausschlafstörungen als abhängige Kriteriumsvariable dienten. Ziel war es zu ermitteln, welche akustische Kenngröße, unter Berücksichtigung weiterer Faktoren, die größte Gesamtvarianz aufklärte.

Für die Regressionen wurden, basierend auf den Korrelationen (siehe Anhang D.2), neben den vier akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR , $L_{Amax6,Nacht,innen}$) wie bei der neu durchgeführten Bevölkerungsbefragung auch die Lärmempfindlichkeit, das Geschlecht, das Alter und das Alter zum Quadrat in die Analyse mit aufgenommen.

Die Resultate dieser multiplen Regressionsanalysen sind in Tabelle 37, Tabelle 38, Tabelle 39 und Tabelle 40 dargestellt. Alle akustischen Kennwerte haben einen signifikanten Einfluss auf die Ausschlafstörungen. Die Regressionskoeffizienten lassen sich dabei aufgrund der unterschiedlichen Merkmalsausprägungen kaum miteinander vergleichen. Die weiteren einheitlichen signifikanten Regressionskoeffizienten unterscheiden sich in ihrer Effektstärke unterhalb der vier Regressionen nur marginal. Der Effekt der Lärmempfindlichkeit ist ebenfalls in allen Regressionen signifikant, die Stärke des Effekts liegt bei einer Zunahme der Ausschlafstörungen zwischen 0,775 und 0,789 bei der Erhöhung der Lärmempfindlichkeit um 1 Punkt. Zu beachten ist, dass der Regressionskoeffizient des Alters stets positiv ausfällt (zwischen 0,80 und 0,82), der des Alters zum Quadrat jedoch negativ (-0,001). Dies weist auf eine nichtlineare Beziehung zwischen dem Alter und Ausschlafstörungen hin. Es zeigt die erwähnte, annähernd U-förmige Beziehung an, d. h., dass der Effekt des Alters auf die Ausschlafstörungen zuerst verstärkt wird, bis er einen Höhepunkt erreicht, und danach abflacht oder abnimmt. Beide Koeffizienten sind signifikant. Lediglich das Geschlecht schien keinen Einfluss auf die Ausschlafstörungen zu haben.

Die Varianzaufklärung der vier Modelle fällt recht ähnlich aus und liegt zwischen etwa 16 % und 19 % (Tabelle 41).

Tabelle 37: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Aeq,Nacht}$, Lärmempfindlichkeit, Alter, Alter², SWI und Geschlecht (n=1344)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-4,862	0,635	0,000		-6,109	-3,616
$L_{Aeq,Nacht}$	0,094	0,010	0,000	0,222	0,073	0,114
Geschlecht	-0,022	0,074	0,768	-0,007	-0,166	0,123
Alter	0,081	0,014	0,000	0,832	0,054	0,108
Alter ²	-0,001	0,000	0,000	-0,852	-0,001	-0,001
Lärmempfindlichkeit	0,787	0,057	0,000	0,338	0,674	0,900

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 38: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax1,Nacht}$, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=1344)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-4,960	0,690	0,000		-6,315	-3,606

$L_{Amax1,Nacht}$	0,064	0,008	0,000	0,202	0,048	0,079
Geschlecht	-0,008	0,074	0,911	-0,003	-0,154	0,137
Alter	0,082	0,014	0,000	0,838	0,054	0,109
Alter ²	-0,001	0,000	0,000	-0,852	-0,001	-0,001
Lärmempfindlichkeit	0,789	0,058	0,000	0,339	0,675	0,902

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 39: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren AWR, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=1344)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-0,981	0,396	0,013		-1,759	-0,204
AWR	0,579	0,084	0,000	0,172	0,415	0,744
Geschlecht	-0,016	0,075	0,827	-0,005	-0,163	0,130
Alter	0,080	0,014	0,000	0,821	0,052	0,108
Alter ²	-0,001	0,000	0,000	-0,841	-0,001	-0,001
Lärmempfindlichkeit	0,775	0,058	0,000	0,333	0,661	0,889

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 40: Multiple Regression mit Ausschlafstörungen als abhängige Variable und den Prädiktoren $L_{Amax6,Nacht,innen}$, Geschlecht, Alter, Alter², Lärmempfindlichkeit (n=1344)

Parameter	B	SE	p	Beta	Unteres 95 % KI	Oberes 95 % KI
(Konstanter Term)	-5,361	0,633	0,000		-6,602	-4,120
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,076	0,008	0,000	0,245	0,061	0,091
Geschlecht	-0,017	0,073	0,812	-0,006	-0,161	0,126
Alter	0,080	0,014	0,000	0,818	0,053	0,107
Alter ²	-0,001	0,000	0,000	-0,836	-0,001	-0,001
Lärmempfindlichkeit	0,789	0,057	0,000	0,339	0,677	0,901

B= Regressionskoeffizient, SE=Standardfehler, p= Signifikanzniveau, 95 % KI= 95 % Konfidenzintervall.

Tabelle 41: Varianzaufklärung der vier gerechneten Modelle

Regressionsanalyse mit...	Korrigiertes R ²	AIC
$L_{Aeq,Nacht}$	0,183	4657,099
$L_{Amax1,Nacht}$	0,175	4671,054

Regressionsanalyse mit...	Korrigiertes R ²	AIC
AWR	0,164	4689,127
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,194	4639,054

R²= Determinationskoeffizient (Varianzaufklärung), AIC=Akaikes Informationskriterium

6.5 Fazit der Re-Analyse der NORAH-Daten

Insgesamt zeigt die Untersuchung bei den Teilnehmenden ausgeprägte Belastungs- und Störungsreaktionen auf den Fluglärm (siehe Tabelle 32) und ein geringes bis mittleres Vertrauen in die Bemühungen von Verantwortlichen (siehe Abbildung 37). Der Luftverkehr wurde von den Befragten insgesamt als positiv bewertet (siehe Tabelle 32). Allerdings war die Belästigung durch Fluglärm im Vergleich zu Straßen- und Schienenverkehrslärm am stärksten und schien auch das allgemeine Urteil über Lärmbelästigung stark zu beeinflussen (Abbildung 38). Die Befragten gaben durchschnittlich mittelmäßige Schlafstörungen durch Fluglärm an, wobei die Störungen beim Ein- und Ausschlafen am stärksten ausgeprägt waren (Abbildung 39).

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zeigen, dass die Gesamtzahl der akustischen Kenngrößen am höchsten mit den Ausschlafproblemen korreliert. Die verschiedenen akustischen Kenngrößen unterschieden sich zwar in der Korrelationshöhe mit den Schlafstörungen, die Unterschiede waren allerdings in der Effektstärke marginal.

Multiple Regressionsanalysen zeigen, dass die vier Modelle mit den jeweiligen akustischen Kenngrößen im Vergleich eine sehr ähnliche Varianzaufklärung vorweisen; wobei diese Varianzaufklärung geringer ausfällt als bei den Daten der Bevölkerungsbefragung. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass neben anderen Faktoren die Lärmempfindlichkeit ein wichtiger Vorhersagefaktor für Schlafprobleme beim Ausschlafen ist. Auch ein nicht-linearer Alterseffekt wurde festgestellt (siehe Tabelle 37).

7 Beurteilung der nachtfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien und Handlungsempfehlungen

7.1 Bewertungskriterien

Insgesamt wurden drei verschiedene maximalpegelbezogene Abgrenzungskriterien betrachtet, die jeweils stellvertretend für unterschiedliche Arten von Kriterien stehen: Das Abgrenzungskriterium des Fluglärmschutzgesetzes steht für NAT-Kriterien, die eine bestimmte Anzahl an hinzunehmenden Maximalpegelereignissen festlegen; das Abgrenzungskriterium des Frankfurter Fluglärmindex steht für Kriterien, die sich an Aufwachreaktionen bzw. Aufwachwahrscheinlichkeiten orientieren; das Abgrenzungskriterium des Flughafen Leipzig/Halle stellt eine Kombination aus beidem dar (Aufwachreaktionen und NAT-Kriterium). Für die Bewertung wird zunächst nur zwischen den grundlegenden Arten der Kriterien (NAT vs. AWR) unterschieden, bevor im zweiten Schritt auf konkrete Schwellenwerte eingegangen wird.

Vor der Bewertung sind zunächst Kriterien festzulegen, auf deren Basis der Vergleich objektiv durchgeführt werden kann. Der Vergleich im Rahmen dieses Projektes sollte wirkungsbasiert sein und die Auswahlgerechtigkeit berücksichtigt werden. Lärmwirkung und Gerechtigkeit sind somit die zwei grundlegenden Vergleichskategorien. Zusätzlich wird die Umsetzbarkeit als Bewertungskriterium genutzt, um auch die praktische Dimension der Anwendbarkeit in der Praxis einzubeziehen.

7.1.1 Lärmwirkung

Der Stand der Lärmwirkungsforschung in Bezug auf Fluglärm wurde im UBA-Vorhaben „Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen zum Schutz vor Fluglärm – Gutachten zur Evaluation des Fluglärmschutzgesetzes“ im Jahr 2018 zusammengefasst (Schütte et al. 2018). Die für nächtlichen Fluglärm wesentlichen Erkenntnisse waren u. a.:

- ▶ Aufwachreaktionen, und damit verbunden eine Verminderung der Schlafqualität, sind bereits bei Maximalpegeln von knapp über 30 dB festzustellen.
- ▶ Potenziell negative Gesundheitseffekte, z. B. erhöhte Schlaganfallrisiken, sind - trotz niedriger Dauerschallpegel < 40 dB – bei Maximalpegeln über 50 dB festzustellen.
- ▶ Wichtige Einflussfaktoren auf die Wirkung der Geräuschimmissionen sind u. a. die hohen Frequenzanteile sowie die Anstiegssteilheit der Pegel.
- ▶ Die stärksten störenden Effekte in Bezug auf nächtlichen Fluglärm finden in den frühen Morgenstunden statt (was nicht unbedingt gleichzusetzen ist mit den größten negativen Gesundheitseffekten).
- ▶ Die gesetzliche Nachtzeit von 22:00 bis 06:00 Uhr entspricht nicht (mehr) dem durchschnittlichen Schlafverhalten der Allgemeinbevölkerung. Ein späteres zu Bett gehen (nach 23:00 Uhr) korrespondiert mit einem späteren Aufstehen am Morgen, so dass die gesetzliche Nacht keinen ausreichenden Schutz vor Lärm am Morgen bietet. Allerdings bleibt hierbei das Verhalten vulnerabler Gruppen unberücksichtigt, das vom durchschnittlichen Schlafverhalten abweichen kann (z. B. im Fall von Kindern).

Bereits im genannten Projekt wurde daher der Schluss gezogen, „im Hinblick auf Störungen und Einschränkungen des Nachtschlafs ist anzumerken, dass – trotz Gültigkeit des NAT-Kriteriums –

die aktuellen Schwellenwerte und ihre Herleitung keinen ausreichenden Schutz vor den besonders schlafstörenden Wirkungen [...] darstellen.“ (Schütte et al. 2018, S. 109). Als Empfehlung hieß es: „Folgerichtig wären hier einerseits die Einführung von wirkungsbezogenen definierten Schutzkonzepten [...] sowie den Dauerschallpegel ergänzende Expositionsfaktoren wie Anzahl der Geräuscheignisse, Pausen, Pegelstrukturen (z. B. Geräuschspitzen).“ (Schütte et al. 2018, S. 108).

Diese Ergebnisse werden gestützt durch die WHO Noise Guidelines aus den Jahren 2009 und 2018:

- ▶ EEG-Aufwachreaktionen sind laut WHO Night Noise Guidelines for Europe bereits bei Maximalpegeln ab 35 dB zu verzeichnen (WHO 2009, S. 103);
- ▶ Die WHO empfiehlt in ihren WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region (2018, S. 75) die Fluglärmbelastung in der Nacht auf unter 40 dB (L_{night}) abzusenken – führt hierzu allerdings aus, dass ein solches Konzept keinen vollständigen Schutz gewährleisten kann, weil selbst dann noch 11 % der Bevölkerung als stark schlafgestört („highly sleep disturbed“) einzustufen wären. Ein akzeptables Risiko wäre laut WHO eigentlich ein Wert von nur 3 %.
- ▶ Zusätzlich schlussfolgert die WHO (2018, S. 75), dass Lärmindikatoren basierend auf der Anzahl der Lärmereignisse besser geeignet wären, da diese den Zusammenhang zwischen Fluglärm und gesundheitlicher Wirkung besser abbilden.

Zusätzlich zu den genannten Überblicksarbeiten wurde nach relevanten neuen Erkenntnissen in Publikationen seit 2018 recherchiert. Hierfür wurde eine Literaturrecherche über PubMed durchgeführt. Die Ergebnisse geben den Stand zum Juni 2023 wieder.

Eine erste Suche mit Hilfe der Begriffe „sleep disturbance; noise“ ergab 319 Treffer. Der Großteil dieser Studien befasste sich allerdings mit den Auswirkungen von Windkraftanlagen und Arbeitsplatzlärm. Die Suchbegriffe wurden daraufhin noch einmal weiter eingegrenzt, um bessere Ergebnisse zu erzielen. Eine zweite Suche mit den Begriffen „sleep disturbance; traffic noise“ ergab noch 48 Treffer. Ergänzende Recherchen mit den gleichen Begriffen im Deutschen Ärzteblatt und über Molecular Diversity Preservation International (MDPI) ergaben keine zusätzlichen thematisch relevanten Beiträge. Mit den Suchbegriffen „nocturnal traffic noise; sleep“, konnte über MDPI eine weitere Arbeit identifiziert werden, so dass insgesamt 49 Treffer verzeichnet werden konnten.

Von den 49 identifizierten Studien wurden einige aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen, da sie sich zum Beispiel mit neuen Erhebungs- oder Messinstrumenten befassten oder anderweitig thematisch nicht relevant waren. Insgesamt verblieben noch 28 Publikationen für die genauere inhaltliche Analyse, die sich mit den Auswirkungen nächtlichen Verkehrslärms beschäftigten. Diese wurden gezielt daraufhin untersucht, ob sie neue Erkenntnisse zu den bereits dargestellten auf Basis des Jahres 2018 enthielten. Im Folgenden werden nur die wichtigsten zusätzlichen Erkenntnisse in chronologischer Reihenfolge nach Veröffentlichungsdatum der Publikation dargestellt:

- ▶ Eine Meta-Analyse u. a. von polysomnographischen Studien ergab eine um 35 % erhöhte Aufwachwahrscheinlichkeit für einen Anstieg der Maximalpegel im Innenraum um 10 dB für Fluglärm (Basner & McGuire 2018). Ähnliche Werte wurden auch für Straßenverkehrs- und Bahnlärm verzeichnet (36 % und 35 %).

- ▶ Eine Laborstudie an Mäusen kam 2018 zu dem Ergebnis, dass bereits Fluglärmpegel im durchschnittlichen Bereich von 47 dB(A) während der Schlafphase u. a. einen Anstieg von Stresshormonen, endotheliale Dysfunktion, vermehrte Entzündungsprozesse, sowie oxidativen Stress in Plasma, Herz, Gefäßsystem und Frontalkortex auslöst (Kröller-Schön et al. 2018). Für die Wachphase konnten diese Befunde nicht bestätigt werden. Ergebnisse aus Tierversuchen sind nicht direkt auf den Menschen übertragbar. Dennoch zeigen sie mögliche Wirkzusammenhänge auf und weisen auf die besondere Bedeutung des Schlafs für die Gesundheit hin.
- ▶ In einer gepoolten Auswertung von drei Laborstudien wurde bei einem Schalldruckpegel von jeweils 70 dB (A) eine um 7 % geringere Aufwachwahrscheinlichkeit für Fluglärm im Vergleich zu Bahn- und Straßenverkehrslärm festgestellt (Elmenhorst et al. 2019). Die geringere Aufwachwahrscheinlichkeit für Fluglärm wird auf die unterschiedlichen Charakteristika der Lärmereignisse zurückgeführt (hohe Frequenzanteile, Pegelanstieg, Vibration). Die Ergebnisse bzgl. der Aufwachwahrscheinlichkeit stehen damit im Widerspruch zum Belästigungsempfinden durch Lärm: Hier dominiert sowohl am Tag als auch in der Nacht der Fluglärm (siehe auch andere der hier dargestellten Studienergebnisse).
- ▶ Eine Auswertung auf Basis von Längsschnittdaten der Gutenberg-Kohortenstudie für die Stadt Mainz und den Landkreis Mainz-Bingen kam zu dem Ergebnis, dass die Lärmbelastigung durch Fluglärm sowohl am Tag als auch in der Nacht über den betrachteten Fünfjahreszeitraum (2007-2012) signifikant zurückging (Beutel et al. 2020). Dennoch blieb Fluglärm die am meisten belästigende Geräuschquelle. Gleichzeitig blieb die Belästigung durch Flug-, Nachbarschafts- und Gewerbelärm auch ein signifikanter Faktor für die Vorhersage von Depressionen und Angstzuständen.
- ▶ 2022 konnte eine Studie geschlechtsspezifische Reaktionen auf nächtlichen Bahnlärm aufzeigen: Während für Männer und Frauen bei Bahnlärm sowohl die selbstberichtete Schlafqualität als auch die Endothelfunktion durch den Lärm gleichermaßen beeinträchtigt wurden, konnte die Gabe von Vitamin C – zur Reduktion von oxidativem Stress und Entzündungsprozessen – die Situation nur für Frauen signifikant verbessern (Hahad et al. 2022). Zwar handelt es sich hier nicht um Ergebnisse in Bezug auf Fluglärm, und die Studienpopulation bestand lediglich aus siebzig Freiwilligen. Dennoch weist die Studie auf geschlechtsspezifische Zusammenhänge bei der Wirkung nächtlichen Lärms hin.
- ▶ Eine aktualisierte Meta-Analyse, basierend auf insgesamt 36 Studien, bestätigte die WHO-Erkenntnisse und -Empfehlungen in Bezug auf niedrige Lärmpegel und deren Zusammenhang mit Schlafstörungen (40 dB L_{night}) (Smith et al. 2022). Für hohe Fluglärmpegel zeigte sich allerdings ein höheres Risiko von Schlafstörungen als zuvor angenommen (> 40 % Highly Sleep Disturbed bei Fluglärmpegeln von 65 dB L_{night}).
- ▶ Eine aktuelle Studie aus dem Jahr 2023 kommt zu dem Schluss, dass Fluglärm im Vergleich mit den anderen Verkehrsarten besonders gesundheitsschädlich ist (Schubert et al. 2023). Die Anteile stark schlafgestörter Personen für einen bestimmten Pegelwert, lagen für Fluglärm zum Teil deutlich über den durch die WHO angenommenen Werten (z. B. 32 % statt 15 % Highly Sleep Disturbed bei einem Fluglärmpegel von 45 dB L_{night}). Daher empfehlen die Autor*innen, die Schwellenwerte für nächtlichen Fluglärm zu überdenken.
- ▶ Ebenfalls im Jahr 2023 untersuchte eine weitere Studie den Zusammenhang zwischen Verkehrslärm und Darmkrebs (Roswall et al. 2023). Der Bezug zu nächtlichem Lärm bzw. Schlaf liegt darin begründet, dass Schlafstörungen als indirekte Ursache von Darmkrebs vermutet werden – unter anderem, weil sie bekannte Risikofaktoren wie Übergewicht, Diabetes etc.

auslösen können. Unter Nutzung einer gepoolten Studienpopulation aus elf Kohortenstudien, mit insgesamt über 150.000 Personen, konnten Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Straßenverkehrslärm und Darmkrebs gefunden werden. Für Flug- und Schienenverkehrslärm ergaben sich hingegen keine entsprechenden Hinweise.

Im Rahmen des hier vorliegenden Projekts wurden zudem zusätzliche Befragungen und Auswertungen durchgeführt (Kapitel 5 und 6). Die Ergebnisse der Re-Analyse der NORAH-Daten deuten darauf hin, dass die vier akustischen Kenngrößen ($L_{Aeq,Nacht}$, $L_{Amax1,Nacht}$, AWR, $L_{Amax6,Nacht,innen}$) ähnliche Zusammenhänge zu den Schlafstörungen aufweisen. In der Bevölkerungsbefragung sind die AWR etwas stärker mit den fluglärmbedingten Schlafstörungen assoziiert als die anderen drei akustischen Kenngrößen. Die Varianzaufklärung der Modelle mit den verschiedenen akustischen Kenngrößen fällt innerhalb der Bevölkerungsbefragung und innerhalb der NORAH-Daten sehr ähnlich aus, wobei die Varianzaufklärung bei der Bevölkerungsbefragung höher ist als bei den NORAH-Daten.

Zusammengenommen zeigen die Ergebnisse aus der Lärmwirkungsforschung größere Gesundheitsrisiken durch Störungen des Schlafs als zum Stand der Wissenschaft im Jahr 2018 (wie oben dargestellt) angenommen. Erste Aufwachreaktionen erfolgen schon bei Maximalpegeln knapp über 30 dB und die Aufwachwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmenden Pegelwerten an. Die Anzahl der Ereignisse erscheint als wichtige Größe zur Beurteilung insbesondere akuter Risiken. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Quellen sprechen darüber hinaus für quellspezifische wirkungsbezogene Beurteilungsgrößen, da sich die Lärmpegel hinsichtlich Eigenschaften wie hohe Frequenzanteile, Anstiegssteilheit etc. voneinander unterscheiden und das für die Aufwachwahrscheinlichkeit relevant ist.

Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse aber auch die Bedeutung der Lärmbelastigung und der (hochgradigen) selbstberichteten Schlafgestörtheit (High Sleep Disturbance), da diese mit langfristigen Gesundheitswirkungen wie psychischen Erkrankungen und mangelnder Schlafqualität in Zusammenhang steht – siehe hierzu auch Osborne et al. (2020), die in einer Kohortenstudie zeigen konnten, dass höhere durchschnittliche Verkehrslärmpegel über vierundzwanzig Stunden mit einem höheren Risiko schwerer kardiovaskulärer Erkrankungen einhergehen. Dieser Effekt wird den Ergebnissen zufolge vermittelt über eine erhöhte Aktivität der Amygdala, die wiederum mit wahrgenommenem psychischen Stress assoziiert ist. Auch andere Autor*innen (u. a. Argyropoulos et al. 2003; Hiller et al. 2015) berichten von kognitiven und affektiven Prozessen, die mit Selbstberichten zur Schlafqualität bzw. Schlafstörungen assoziiert sind, sich aber nicht bzw. nicht vollständig in den polysomnographischen Messungen der Schlafqualität abbilden, und mit langfristigen Gesundheitsfolgen wie Depression verbunden sind. Unter anderem scheinen Selbstberichte zur Schlafqualität und zu Schlafstörungen Veränderungen in der Mikrostruktur des Schlafs (Mikroarousal, Glukosestoffwechsel in Hirnarealen, die mit sensorischer Verarbeitung und dem Bewusstsein assoziiert sind) besser beschreiben zu können als "klassische" objektive Verfahren wie die Polysomnographie (Rezaie et al. 2018). Das spricht für die Notwendigkeit bei lärmbedingten Schlafstörungen weiterhin auf die Kombination von physiologischen Messungen und die Erfassung von Selbstberichten zu setzen und bezogen auf die akustischen Kenngrößen sowohl ereignisbezogene Kriterien, die eher mit physiologischen AWR assoziiert sind, als auch auf die gesamte Nacht bezogene Expositionsmetriken wie den nächtlichen Dauerschallpegel $L_{Aeq,Nacht}$ in Betracht zu ziehen.

Zu guter Letzt werfen die Erkenntnisse die Frage auf, ob die gesetzliche Nacht einen ausreichenden Schutz des Schlafs darstellt. Das Schlafverhalten der Allgemeinbevölkerung entspricht nicht (mehr) dem durch die gesetzliche Nacht besonders geschützten Zeitraum (22:00-6:00 Uhr). Durchschnittlich gehen Menschen später zu Bett und stehen später auf, als die gesetzliche Nacht

es unterstellt. Insbesondere am Morgen werden Lärmereignisse als besonders störend empfunden.

Wandelt man die hier zusammengetragenen Erkenntnisse in objektive Kriterien zur Beurteilung von nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien um, erscheinen folgende Punkte wesentlich:

1. *Berücksichtigen die Schutzkriterien die bereits in niedrigen Maximalpegelbereichen²⁷ ausgelösten physiologischen Reaktionen?*
Dieses Kriterium trägt dem Umstand Rechnung, dass die bisherigen Schutzniveaus als unzureichend zu betrachten sind. Erkenntnisse der Lärmwirkungsforschung zeigen, dass bereits in niedrigen Maximalpegelbereichen von höheren Gesundheitsrisiken auszugehen ist.
2. *Berücksichtigen die Schutzkriterien die Anzahl der Ereignisse?*
Dieses Kriterium nimmt Hinweise auf, dass Kriterien mit Bezug auf die Anzahl von Lärmereignissen besser geeignet erscheinen, akute gesundheitliche Wirkungen abzubilden.
3. *Berücksichtigen die Kriterien die Uhrzeit, zu der ein Lärmereignis stattfindet?*
Insbesondere das Belästigungsempfinden ist in den frühen Morgenstunden höher, so dass Lärmereignisse in dieser Zeit als störender empfunden werden. Aufgrund des niedrigeren Schlafdrucks ist auch die Aufwachwahrscheinlichkeit am Morgen höher und es ist schwieriger, nach einer spontanen oder lärmbedingten AWR wieder einzuschlafen.
4. *Werden langfristige Gesundheitswirkungen ausreichend berücksichtigt?*
Die Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung zeigen, dass das Schlafgestörtheits- und Belästigungsempfinden in der Nacht mit langfristigen gesundheitlichen Folgen zusammenhängt. Fluglärm wird dabei als besonders störend und belästigend empfunden. Auch epidemiologische Studien, die Gesundheitseffekte als Studienendpunkte betrachten, verwenden überwiegend Dauerschallpegel als Expositionsmaß. Insofern sind Dauerschallpegel derzeit besser geeignet, die langfristigen Gesundheitsbeeinträchtigungen abzubilden.

7.1.2 Verteilungsgerechtigkeit

Neben der Lärmwirkung bildet die Verteilungsgerechtigkeit das zweite leitende Beurteilungsprinzip. Analog zum Vorgehen hinsichtlich der Lärmwirkung, ist auch in Bezug auf Gerechtigkeit zunächst zu klären, welche Kriterien zur Beurteilung genau herangezogen werden sollen – insbesondere da die Gerechtigkeit als solche ein abstraktes und unterschiedlich interpretierbares Konzept ist.

Der wissenschaftliche Diskurs zu Gerechtigkeit in Bezug auf Umweltwirkungen wurde in den letzten Jahren verstärkt mit Bezug auf die gerechte Transformation („just transition“) geführt, insbesondere im Hinblick auf die notwendigen Veränderungsprozesse zur Erreichung der internationalen Klimaziele (siehe hierzu u. a. Patterson et al. 2018, Williams & Doyon 2019, Wang & Lo 2021). Dabei sind mehrere Stränge der Diskussion zu unterscheiden, die einander inhaltlich allerdings überlappen (etwa gerechte Transformation im Allgemeinen, Umweltgerechtigkeit, Klimagerechtigkeit, Energiegerechtigkeit, Generationengerechtigkeit²⁸ etc.). Je nach Diskussionsgegenstand und Autor*in werden unterschiedliche Aspekte von Gerechtigkeit betont. In neuerer Forschung zum Fluglärmmanagement werden verschiedene Fairness- und Gerechtigkeitsaspekte bei der Flughafen- und -verkehrsplanung in einer Flughafenregion diskutiert und dabei folgende Fairnessbereiche behandelt und deren Auswirkungen auf die Fluglärmbelästigung von Anwohnenden untersucht: Verteilungsgerechtigkeit (*distributive fairness*), prozedurale Fairness,

²⁷ Die Kriterien werden über die Unterkapitel hinweg durchgehend nummeriert, um eine bessere Zuordnung zu gewährleisten.

²⁸ Das Bundesverfassungsgericht hat in seinem Beschluss vom 24.03.2021 (1 BvR 2656/18) festgehalten, dass Art. 2 Abs. 2 S. 1 GG den Staat verpflichtet, Leben und Gesundheit vor den Gefahren des Klimawandels zu schützen und dass eine objektivrechtliche Schutzverpflichtung auch in Bezug auf künftige Generationen begründet wird (1. Leitsatz; Rn. 147).

informatorische Fairness und interpersonale Fairness (Hauptvogel et al. 2021b, 2023). Für die Definition von Lärmschutzzonen spielt zunächst die distributive Fairness oder Verteilungsgerechtigkeit eine Rolle. Die übrigen Fairnessbereiche beziehen sich dann mehr auf die Art der Umsetzung von Maßnahmen und dabei auf die Interaktion zwischen Planenden, entscheidungstragenden Personen und den Anwohnenden. Heyen (2022) schlägt eine Kategorisierung und Typologisierung von Verteilungsdimensionen und Gerechtigkeitsprinzipien vor, um eine systematische Bewertung vornehmen zu können. Diese Typologisierung soll hier als Grundlage dienen, auf der die unterschiedlichen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien miteinander verglichen werden.

Hinsichtlich der Verteilungseffekte von Umweltwirkungen unterscheidet Heyen zwischen drei Dimensionen (Heyen 2022, S. 5): Der zeitlichen, räumlichen und sozio-strukturellen bzw. -demographischen Verteilung. Alle drei Dimensionen können unmittelbar als Beurteilungskriterien genutzt werden. Zu prüfen wäre, inwiefern die untersuchten nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien jeweils die zeitlichen, räumlichen oder sozio-strukturellen Effekte berücksichtigen – und inwiefern diese überhaupt relevant sind. Hier ist der Rückschluss zur Lärmwirkung (s. o.) zu suchen, mit der die Relevanz der jeweiligen Dimension beantwortet werden kann. So zeigte die Recherche zur Lärmwirkung etwa hinsichtlich der zeitlichen Dimension, dass die zeitliche Verteilung des Lärms einen relevanten Einfluss hat (größere Störwirkung nächtlichen Fluglärms in den frühen Morgenstunden). Zu prüfen wäre im Hinblick auf unterschiedliche Kriterien also, inwiefern solche zeitlichen Zusammenhänge in einem nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterium abgebildet werden. Analog ist für die beiden anderen Dimensionen vorzugehen.

In Bezug auf die Gerechtigkeitsprinzipien ist die Typologisierung weniger eindeutig (Heyen 2022, S. 10-12): Neben den drei Grundprinzipien Gleichheit, Proportionalität und Grundbedarf, sind innerhalb dieser Prinzipien noch einmal Unterscheidungen zu machen:

Wann das Prinzip der Gleichheit erreicht ist, hängt unmittelbar vom Bezugspunkt ab (Heyen 2022, S. 10). So kann Gleichheit im Hinblick auf die gleiche Behandlung aller Betroffenen erreicht werden („equal treatment“), aber auch dadurch, dass alle am Ende das gleiche Ergebnis erhalten („equal outcome“). Letzteres ließe sich noch einmal abwandeln, indem alle die gleichen Möglichkeiten erhalten, um gleiche Ergebnisse zu schaffen – ob und wie das erreicht wird, bliebe dann aber den Betroffenen überlassen („equal opportunities“). Wendet man die drei unterschiedlichen Kriterien des Gerechtigkeitsprinzips Gleichheit jeweils auf den Schutz vor nächtlichem Fluglärm an, könnte equal treatment bedeuten, dass alle Betroffenen (ggf. ab einer zu definierenden Schwelle) den gleichen Anspruch auf Schallschutzmaßnahmen erhalten, unabhängig von ihrer aktuellen Wohnsituation und Ausgangslage. Equal outcome würde hingegen bedeuten, durch Umsetzung der Schallschutzmaßnahmen eine vergleichbare Situation zu schaffen. Demnach erhielten Betroffene in einem weniger gut schallisolierten und/ oder stärker lärmbeeinträchtigten Gebäude zusätzlichen Schallschutz im Vergleich zu Betroffenen in gut isolierten und/ oder weniger stark betroffenen Gebäuden. Equal opportunities wiederum könnte zum Beispiel bedeuten, Betroffenen – nach dem Prinzip equal outcome – finanzielle Mittel zur Verfügung zu stellen. Ob und wie diese genutzt werden, läge aber in der Verantwortung der Betroffenen selbst. Die Ausführungen sind nur beispielhaft zu verstehen. Grundsätzlich gäbe es auch andere Möglichkeiten, die jeweiligen Kriterien umzusetzen.

Auch das Prinzip der Proportionalität hängt vom gewählten, normativ zu begründenden, Bezugspunkt ab (Heyen 2022, S. 11), wobei hier noch mehr unterschiedliche Kriterien denkbar sind als hinsichtlich der Gleichheit. Zu nennen wären hier laut Heyen u. a. das Verursacherprinzip, die Problemlösefähigkeit, das Bedürfnigkeitsprinzip, historische Ansprüche bzw. die historische Verteilung, oder aber auch die Kompensation erlittener Beeinträchtigungen. Auch diese

Kriterien lassen sich grundsätzlich alle auf den Schutz vor nächtlichem Fluglärm anwenden, auch wenn die praktische Umsetzung wohl nicht in allen Fällen realistisch erscheint:

- ▶ Verursacherprinzip: Wer Flugreisen in Anspruch nimmt oder diese anbietet, erhält keinen Anspruch auf Schallschutz; denkbar ist auch die Erweiterung um eine moralische Komponente, im Hinblick darauf, ob die Entscheidung freiwillig getätigt wurde.
- ▶ Problemlösefähigkeit: Betroffene mit größeren – in diesem Fall wohl finanziellen – Ressourcen, erhalten keinen oder geringeren Anspruch auf Schallschutz und müssen mehr selbst übernehmen;
- ▶ Bedürftigkeitsprinzip: Betroffene mit geringeren Ressourcen, erhalten Anspruch auf (mehr) Schallschutz oder größere finanzielle Unterstützung;
- ▶ Historische Verteilung: Nach diesem Prinzip wäre es denkbar, dass die Ansprüche (auch) danach unterschieden werden, wie lange Betroffene bereits mit Fluglärm leben; andererseits wäre in Bezug auf die Verteilung von Fluglärm denkbar, die historische Verteilung nicht zu verändern und Lärmverlagerungen auszuschließen.
- ▶ Kompensation erlittener Beeinträchtigungen: Ansprüche ergeben sich nach dem Ausmaß der Beeinträchtigung. Wer stärker belastet ist, erhält auch besseren Schutz.

Das Gerechtigkeitsprinzip Grundbedarf wiederum ist eindeutig zu verstehen (Heyen 2022, S. 11-12): Es wird eine Grenze/ Schwelle definiert, alles außerhalb der definierten Schwelle wird als nicht schutzbedürftig bzw. in diesem Sinne als gerecht betrachtet. Im Fall von Fluglärm könnte diese Schwelle zum Beispiel ein Höchstmaß an Fluglärm oder auch Lärmwirkung sein. Alle Betroffenen oberhalb der definierten Grenze erhalten Anspruch auf zusätzlichen Schallschutz, alles darunter wird als gerecht betrachtet.

Dieser Darstellung ist zu entnehmen, dass es nicht die eine Gerechtigkeit gibt – selbst dann nicht, wenn man sich auf Ebene der übergeordneten Gerechtigkeitsprinzipien bewegt. Denn auch für die einzelnen Prinzipien sind verschiedene Konzepte bzw. Kriterien voneinander zu unterscheiden, die nicht immer miteinander vereinbar sind. Um Gerechtigkeit beurteilen zu können, ist somit zunächst klar zu benennen, welches Gerechtigkeitsprinzip mit welchem Kriterium erreicht werden soll. Die Erfüllung eines Prinzips bzw. Kriteriums kann gleichzeitig aber auch bedeuten, andere gerade nicht zu erfüllen. Auch deshalb ist das Gerechtigkeitsempfinden von Betroffenen nicht (immer) gleichbedeutend mit der Erfüllung vorab festgelegter Gerechtigkeitsprinzipien, da für das Gerechtigkeitsempfinden die subjektive Einstellung hinsichtlich der Gerechtigkeitsprinzipien ausschlaggebend ist. Diese wiederum kann sich von den – meist durch andere Akteur*innen – festgelegten Prinzipien unterscheiden.

Für die Bewertung von nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien wirft dies wiederum die Frage auf, welches Gerechtigkeitsprinzip mit welchem Kriterium zur Beurteilung herangezogen werden soll. Da sich die Auswahl je nach Zielgruppe unterscheiden kann und es sinnvolle Argumente für alle Kriterien gibt, wird hier vorgeschlagen, den im Fluglärmschutzgesetz vom Gesetzgeber – als demokratisch legitimierte Institution – angelegten Gerechtigkeitsprinzipien zu folgen. Wichtig ist hierbei im Blick zu behalten, dass es bei der Beurteilung ausschließlich um Kriterien geht, welche festlegen wer in den Schutzbereich fällt und wer nicht – die anschließend folgende Bemessung des Schutzanspruchs, also dessen Höhe, ist ausdrücklich nicht Gegenstand dieses Vorhabens. Dementsprechend sind für die Auswahl der zugrundeliegenden Gerechtigkeitsprinzipien auch nur die hierfür relevanten Abschnitte des Fluglärmschutzgesetzes heranzuziehen.

Das im Fluglärmschutzgesetz genutzte Kernprinzip im Hinblick auf Gerechtigkeit ist das des Grundbedarfs, bezogen auf den Gesundheitsschutz: In § 2 FluLärmG wird die Einrichtung von Lärmschutzbereichen sowohl für den Tag als auch die Nacht festgelegt. Diese werden akustisch definiert. Sobald die festgelegten Pegelwerte (rechnerisch) überschritten werden, fällt ein Gebiet in den definierten Schutzbereich. Somit entspricht das definierte Nachtschutzgebiet der Schwelle, ab der gemäß dem Prinzip des Grundbedarfs ein zusätzlicher Schutzanspruch besteht. Alles unterhalb der definierten Werte, wird als nicht schutzbedürftig (bezogen auf den Anspruch auf passiven Schallschutz) und somit gerecht betrachtet.

Dieses Vorgehen entspricht vom Gerechtigkeitsprinzip her betrachtet, dem allgemeinen Ansatz im deutschen Immissionsschutzrecht: bei anderen Anlagentypen als Flugplätze werden dort entsprechende Grundbedarfe, also Höchstgrenzen hinsichtlich der zulässigen Immissionen festgesetzt. Werden diese Werte überschritten, überwiegt der Gesundheitsschutz und entsprechende Maßnahmen können von der zuständigen Behörde angeordnet werden (§ 17 Abs. 1 BImSchG) bis hin zur Entziehung der Genehmigung (§ 25 Abs. 1 BImSchG). Das FluLärmG unterscheidet sich in diesem Fall jedoch in der daraus resultierenden Konsequenz: während in den vergleichbaren Regularien des Immissionsschutzrechts meist Höchstgrenzen einer Belastung vorgegeben werden, ab der eine Tätigkeit nicht oder nur noch unter Auflagen möglich ist, regelt das FluLärmG lediglich Schutzansprüche, die bei Überschreitung gewährt werden und am Immissionsort ansetzen (passiven Schallschutz).

In Verbindung mit den weiteren Regelungen, nutzt das FluLärmG aber auch andere Gerechtigkeitsprinzipien: Gemäß § 9 Abs. 2 werden Aufwendungen für bauliche Schallschutzmaßnahmen für zum Schlafen genutzte Wohnräume im Sinne des o. g. § 2 FluLärmG erstattet, soweit die Grundstücke bzw. Wohngebäude innerhalb der definierten Nachtschutzzone liegen. Dieser Ansatz folgt dem Gerechtigkeitsprinzip „equal outcome“, mit der zusätzlichen Bedingung, dass zunächst im Sinne des Grundbedarfs eine Schutzbedürftigkeit erkannt wurde: Die Regelungen des § 9 Abs. 2 in Verbindung mit § 2 Abs. 2 zielen darauf ab, einen vergleichbaren Schutzstandard innerhalb der zuvor definierten Nachtschutzzone (Grundbedarf) zu erreichen. Hierzu ist vom Prinzip her vorgesehen, dass entsprechende Aufwendungen für baulichen Schallschutz erstattet werden. Das heißt im Umkehrschluss, nicht alle Betroffenen innerhalb der Nachtschutzzone erhalten den gleichen Schutzanspruch („equal treatment“) und es werden auch nicht pauschal Mittel ausgezahlt, die dann von Betroffenen für Maßnahmen ihrer Wahl genutzt werden können („equal opportunities“).

Hinsichtlich des Gerechtigkeitsprinzips der Proportionalität, folgt das FluLärmG demnach dem Ansatz der Kompensation erlittener Beeinträchtigungen. Auch das lässt sich u. a. aus § 9 Abs. 2 FluLärmG ableiten: So entstehen Ansprüche auf Erstattung baulichen Schallschutzes zum Teil erst sechs Jahre nach Festlegung der Lärmschutzbereiche. Aber auch § 8 FluLärmG nutzt dieses Prinzip, indem Entschädigungen für erlittene Beeinträchtigungen im Sinne von Bauverboten gewährt werden.

Zusammenfassend lassen sich in Bezug auf die Gerechtigkeit folgende Kriterien identifizieren:

5. *Zeitliche Verteilung,*
6. *Räumliche Verteilung,*
7. *Sozio-strukturelle Verteilung,*
8. *Grundbedarf,*
9. *Gleichheit im Sinne des „equal outcome“,*
10. *Proportionalität im Sinne der Kompensation erlittener Beeinträchtigungen/ Belastungen.*

7.1.3 Umsetzbarkeit

Wie oben bereits dargestellt, soll neben der Lärmwirkung und der Gerechtigkeit auch die Umsetzbarkeit der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien bewertet werden, um eine praktische Anwendbarkeit zu gewährleisten. Als Maßstab sollen hier dienen:

11. *der mit der Anwendung eines Kriteriums einhergehende Aufwand,*
12. *die Übertragbarkeit auf alle Flugplätze in Deutschland,*
13. *die Auswirkungen auf zur Verfügung stehende finanzielle Ressourcen.*

7.2 Bewertung der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien

Wie bereits ausgeführt, soll die Bewertung der nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien zunächst lediglich zwischen einem NAT-Kriterium und einem AWR-Kriterium erfolgen. Die Frage der Schwelle selbst wird nachgelagert betrachtet.

7.2.1 Bewertung hinsichtlich der Lärmwirkung

Kriterium 1: Berücksichtigung der bereits in niedrigen Maximalpegelbereichen ausgelösten physiologischen Reaktionen

Die wesentliche Eigenschaft von NAT-Kriterien ist, entsprechend der Bezeichnung „number above threshold“, dass nur Ereignisse oberhalb einer vorab definierten Grenze (z. B. oberhalb von achtundsechzig Dezibel) berücksichtigt werden, und dass ein Schutzanspruch erst dann ausgelöst wird, wenn die Grenze mehrfach überschritten wird (z. B. sechs Mal, also $6 \cdot 68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$). Eine Berücksichtigung aller anderen Pegel, die entweder die vorgegebene Anzahl oder aber den Pegelwert nicht überschreiten, erfolgt nicht. Und auch wie weit die Schwelle überschritten wird spielt für NAT-Kriterien keine Rolle, obwohl theoretisch stark unterschiedliche Wirkungen beobachtet werden können (vergleiche $6 \cdot 68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$ mit $6 \cdot 80 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$ oder $6 \cdot 68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$ mit $20 \cdot 68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$; obwohl diese Extrembeispiele teils durch ein zusätzliches L_{eq} -Kriterium abgefangen werden). Im oben aufgeführten Beispiel würden also sämtliche Pegelwerte unterhalb von $68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$ nicht berücksichtigt, gleichermaßen auch keine Pegelwerte oberhalb von $68 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$, soweit sie weniger als sechsmal stattfinden, also etwa $1 \cdot 80 \text{ dB } L_{A_{\text{max,au\ddot{u}}\text{en}}}$. Inwiefern niedrige Maximalpegel Berücksichtigung finden, hängt somit direkt von der definierten Schwelle ab. NAT-Kriterien sind diesbezüglich zunächst neutral zu bewerten.

Im Vergleich hierzu berücksichtigen AWR-Kriterien sämtliche Ereignisse oberhalb der physiologischen Aufwachschwelle, ab der erste AWR beobachtet werden können (d. h. ab $30\text{--}35 \text{ dB } L_{A_{\text{max,innen}}}$). Mit zunehmendem Maximalpegel oberhalb der Schwelle nimmt die Wahrscheinlichkeit einer durch Fluglärm ausgelösten AWR zu. AWR-Kriterien berücksichtigen somit alle Fluglärmereignisse, mit potenziell schlafstörender Wirkung, wobei laute Geräusche entsprechend einer empirisch ermittelten Expositions-Wirkungsbeziehung höher gewichtet werden bzw. stärker zu der Anzahl zusätzlich durch Fluglärm induzierter AWR beitragen. Unabhängig von der definierten Schwelle und der Maximalpegelverteilung werden somit alle relevanten Ereignisse berücksichtigt und damit auch die Lärmwirkung von Ereignissen im niedrigen Maximalpegelbereich. Das Kriterium kann für AWR somit als erfüllt betrachtet werden.

Kriterium 2: Berücksichtigung der Anzahl der Ereignisse

Die Anzahl der Ereignisse wird bei beiden Arten von Kriterien berücksichtigt. In beiden Fällen hängt das indirekt von der definierten Schwelle ab: Im Falle des NAT-Kriteriums gilt auch hier, dass alle Ereignisse bis zur definierten Anzahl nicht berücksichtigt werden. Auch bei AWR-Kriterien hat die festgelegte Schwelle in diesem Fall Auswirkungen: je niedriger die Schwelle in Form

von Aufwachwahrscheinlichkeiten ist, desto niedriger muss auch die Anzahl der Ereignisse (bei gleichem Maximalpegel) oder die Höhe des Maximalpegels (bei gleicher Anzahl Fluggeräusche) sein, die zum Reißen dieser Schwelle führt; je höher die Schwelle in Form von zusätzlich durch Fluglärm ausgelösten Aufwachreaktionen ist, desto mehr Ereignisse bzw. höhere Maximalpegel sind noch hinzunehmen. Sowohl die Maximalpegelhöhe als auch die Anzahl der Ereignisse werden bei der Aufsummierung zur Berechnung der AWR immer berücksichtigt.

In beiden Fällen wird das Kriterium somit nicht vollständig erfüllt, da es jeweils eine Abhängigkeit zur definierten Schwelle gibt. Auch hier schneiden aber AWR-Kriterien besser ab als NAT-Kriterien, weil eine Berücksichtigung der Anzahl in Form der Aufsummierung immer erfolgt, während NAT-Kriterien die Anzahl erst oberhalb der gesetzten Schwelle berücksichtigen.

Kriterium 3: Berücksichtigung der Uhrzeit, zu der ein Lärmereignis stattfindet

Im Hinblick auf die Lärmwirkungsforschung wäre hier insbesondere die größere Störmwirkung von Fluglärm in den frühen Morgenstunden abzubilden. Grundsätzlich ist die Berücksichtigung der Uhrzeit in beiden Kriterien in der Praxis zwar eher unüblich, aber denkbar: etwa indem für bestimmte Zeitbereiche gesonderte Kriterien bzw. Gewichtungen erfolgen. Ob dies erfolgt, ist nicht von der Art des Kriteriums abhängig.

Die Bewertung der Kriterien ist in diesem Hinblick jeweils neutral.

Kriterium 4: Berücksichtigung langfristiger Gesundheitswirkungen

Sowohl NAT- als auch AWR-Kriterien zielen primär auf den Schutz des Schlafes ab, da die Bedeutung von ausreichend langem und ungestörtem Schlaf sowohl für die kognitive Leistungsfähigkeit am Tag als auch für diverse langfristige Gesundheitsstörungen in zahlreichen Studien nachgewiesen wurde und unbestritten ist. Beide Kriterien zielen darauf ab, fluglärmbedingte Schlafstörungen zu reduzieren und somit auch langfristige Gesundheitsstörungen zu vermeiden, sie limitieren aber letztlich primär die Schlafstörung und nur nachgeschaltet die Gesundheitsstörung. Epidemiologische Studien untersuchen direkt den Einfluss von Fluglärm auf langfristige Gesundheitswirkungen und nutzen in der überwiegenden Mehrheit Dauerschallpegel zur Beschreibung der Geräuschbelastung. Insofern werden auch für die Nacht Gesundheitswirkungen besser durch Dauerschallpegel als durch NAT- oder AWR-Kriterien abgebildet, auch wenn man dieses als „self-fulfilling prophecy“ bezeichnen könnte. Die Bewertung von NAT- und AWR-Kriterien fällt hier demnach zunächst negativ aus. Wenn man allerdings davon ausgeht, dass die Vermeidung von fluglärmbedingten Schlafstörungen auch langfristig einen positiven Effekt auf die Gesundheit hat, müsste man dem Kriterium, das die Schlafstörungen besser abbildet (AWR-Kriterium), auch leichte Vorteile bei der Beurteilung langfristiger Gesundheitsstörungen zugestehen.

Hinsichtlich der Lärmwirkung schneiden AWR-Kriterien insgesamt besser ab als NAT-Kriterien (siehe Tabelle 42). Dies liegt insbesondere darin begründet, dass für die Berechnung von Aufwachwahrscheinlichkeiten immer alle relevanten Lärmereignisse berücksichtigt werden, und lauten Fluggeräuschen ein empirisch ermittelt höheres Gewicht beigemessen wird.

Tabelle 42: Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf die Lärmwirkung

Lärmwirkung	NAT	AWR
Berücksichtigung niedriger Pegelbereiche	O	+++
Berücksichtigung der Anzahl der Ereignisse	+	++
Berücksichtigung der Uhrzeit	O	O
Langfristige Gesundheitswirkung	---	--

NAT= Number above Threshold, AWR=Aufwachreaktionen; + / ++ / +++ Beurteilungskriterien zur Lärmwirkung im zunehmenden Grade erfüllt; O neutral/Beurteilungskriterium teils/teils erfüllt, -/-/--- Beurteilungskriterien zur Lärmwirkung im zunehmenden Grade nicht erfüllt.

7.2.2 Bewertung hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit

Kriterium 5: Zeitliche Verteilung

Das Kriterium der Berücksichtigung der zeitlichen Verteilung findet sich bereits im Abschnitt zur Lärmwirkung (Kriterium 3). Daher erfolgt an dieser Stelle keine erneute Bewertung.

Kriterium 6: Räumliche Verteilung

Die räumliche Verteilung wird von beiden Kriterien selbst nicht berücksichtigt. Da mit den üblichen Berechnungsverfahren aber jeweils eine räumliche Zuordnung der Lärmereignisse stattfindet, die für beide Kriterien die Grundlage bildet, wird sie letztlich abgebildet. Das Kriterium kann somit in beiden Fällen als erfüllt betrachtet werden.

Kriterium 7: Sozio-strukturelle Verteilung

Sozio-strukturelle Faktoren werden in keinem der Kriterien berücksichtigt und spielen für die Abgrenzung der Schutzgebiete auch keine Rolle. Nachgelagert, bei der Verteilung der Ansprüche innerhalb eines Schutzgebiets, wäre eine Berücksichtigung grundsätzlich denkbar. Das ist aber nicht Gegenstand dieses Projektes.

Kriterium 8: Grundbedarf

Beide Arten von Kriterien legen – in Abhängigkeit von der definierten Schwelle – einen Grundbedarf an Schutz vor Lärm fest, bzw. eine Schwelle ab der grundsätzlich Schutzbedarf anerkannt wird. Unterschiede gibt es dabei aber in Bezug darauf, inwiefern das Prinzip des Grundbedarfs im Sinne des eigentlichen Schutzziels des FluLärmG erfüllt wird: Zweck des Gesetzes ist laut § 1 der „*Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen durch Fluglärm*“. Der Gefahrenbegriff ist im Kontext von Lärm in Bezug auf die damit verbundene Lärmwirkung zu sehen. Da bei NAT-Kriterien Ereignisse unterhalb der festgelegten Schwelle gar nicht berücksichtigt werden, ist es möglich, dass hinsichtlich ihrer Wirkung vergleichbare Ereignisse, die sich aber in Anzahl und Pegelhöhe voneinander unterscheiden, nicht gleichbehandelt werden. In solchen Fällen wäre anzuzweifeln, ob es sich bei einem NAT-Kriterium um einen tatsächlichen Grundbedarf im Sinne des Schutzziels bzw. Gesetzeszweck handelt.

Insofern erfüllen zwar beide Kriterien zunächst das Prinzip des Grundbedarfs. Im Hinblick auf das zugrunde liegende Schutzziel, erscheinen AWR-Kriterien, durch die Berücksichtigung aller relevanten Ereignisse oberhalb der physiologischen Aufwachschwelle, aber dennoch geeigneter.

Kriterium 9: Gleichheit im Sinne des „equal outcome“

Auf den ersten Blick erscheint das Prinzip des equal outcome für beide Kriterien erfüllt zu sein: Innerhalb eines definierten Grundbedarfs (festgelegt über die Aufwachwahrscheinlichkeit bzw. die hinzunehmenden zusätzlichen durch Fluglärm verursachten Aufwachreaktionen oder eine maximale Anzahl an Fluglärmereignissen oberhalb einer bestimmten Pegelhöhe) wird ein Schutzbedürfnis anerkannt, welches gemäß FluLärmG darauf abzielt, die Unterschiede durch Ansprüche auf Erstattung von passivem Schallschutz auszugleichen – und so zu einer vergleichbaren Lärmsituation für alle vom Grundbedarf Betroffenen zu kommen.

Allerdings gilt für NAT-Kriterien auch hier wiederum die Einschränkung, dass dieser Anspruch nicht in Bezug zum eigentlichen Schutzziel des Gesetzes erfüllt wird, da nicht alle hinsichtlich ihrer Lärmwirkung vergleichbaren Ereignisse berücksichtigt werden (s. o.). Bei NAT-Kriterien ist daher davon auszugehen, dass Betroffene mit vergleichbarer Belastung hinsichtlich der Lärmwirkung unterschiedlich behandelt werden. Dies widerspricht dem Grundprinzip des equal outcome.

Für AWR-Kriterien ist eine solche Situation nicht anzunehmen: Da die Definition des Grundbedarfs bereits über ein wirkungsbezogenes Kriterium erfolgt und sämtliche relevanten Lärmergebnisse Eingang in die Berechnung finden, werden letztlich alle vergleichbar Betroffenen in Bezug auf die Lärmwirkung auch tatsächlich gleichbehandelt. Für alle, die vom definierten Grundbedarf nicht abgedeckt sind, ist demnach auch von einer geringeren Betroffenheit auszugehen – auch wenn dies nicht bedeutet, dass Betroffene außerhalb des anerkannten Grundbedarfs keine negativen Lärmwirkungen erfahren. Sie liegen aber innerhalb der vom Gesetzgeber implizit als gerecht definierten Grenzen.

Das Grundprinzip wird somit von beiden Kriterien zumindest zum Teil erfüllt. Auch hier sind AWR-Kriterien aber als geeigneter im Hinblick auf das Schutzziel zu betrachten.

Kriterium 10: Proportionalität im Sinne der Kompensation erlittener Beeinträchtigungen/ Belastungen

Für die Kompensation erlittener Belastungen gelten die Ausführungen zu Kriterium 11 analog: Sowohl AWR- als auch NAT-Kriterien können gemäß der Logik des FluLärmG genutzt werden, um entsprechende Kompensationsansprüche zu generieren. Somit ist das Prinzip erfüllt.

Auch hier gilt aber, dass NAT-Kriterien diese Kompensation nicht in Bezug auf die tatsächlich erlittene Lärmwirkung verteilen und somit hinsichtlich des Schutzziels weniger geeignet erscheinen. Fälle, in denen Betroffene mit vergleichbarer Lärmwirkung unterschiedlich behandelt werden, sind wahrscheinlich. In solchen Fällen würde Kompensation trotz gleicher erlittener Belastung nicht gewährt werden, und das Prinzip der Proportionalität würde verletzt.

Hinsichtlich der Verteilungsgerechtigkeit schneiden AWR-Kriterien somit durchweg besser ab (siehe Tabelle 43). Auch hier liegt dies im Wesentlichen darin begründet, dass NAT-Kriterien nicht sämtliche Ereignisse mit potenziell vergleichbarer Lärmwirkung berücksichtigen.

Tabelle 43: Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf Verteilungsgerechtigkeit

Lärmwirkung	NAT	AWR
Zeitliche Verteilung	Siehe Kriterium 3	Siehe Kriterium 3
Räumliche Verteilung	+++	+++
Sozio-strukturelle Verteilung	---	---
Grundbedarf	+	+++
Equal Outcome	+	+++
Kompensation	+	+++

NAT= Number above Threshold, AWR=Aufwachreaktionen; + / ++ / +++ Beurteilungskriterien zur Verteilungsgerechtigkeit im zunehmenden Grade erfüllt; 0 neutral/Beurteilungskriterium teils/teils erfüllt, -/--/--- Beurteilungskriterien zur Verteilungsgerechtigkeit im zunehmenden Grade nicht erfüllt.

7.2.3 Bewertung der Umsetzbarkeit

Kriterium 11: Aufwand

Hinsichtlich des mit den nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterien einhergehenden Aufwands sind NAT-Kriterien besser zu beurteilen, da für diese lediglich Maximalpegelverteilungen berechnet und entsprechend der festgelegten Schwelle ausgewertet werden müssen.

Gleichzeitig hält sich der zusätzliche Aufwand bei AWR-Kriterien in Grenzen: es wird zusätzlich eine Expositions-Wirkungskurve benötigt, die mit der Maximalpegelverteilung verschnitten wird, um die Aufwachwahrscheinlichkeiten zu berechnen. Da bzgl. der Expositions-Wirkungsbeziehung auf existierende Studien der Lärmwirkungsforschung zurückgegriffen werden kann, erscheint der eigentliche Aufwand in der Anwendung vertretbar. Insbesondere, wenn die Schutzgebiete, wie in § 4 Abs. 6 FluLärmG festgelegt, im Regelfall nur alle zehn Jahre neu festgesetzt werden müssen.

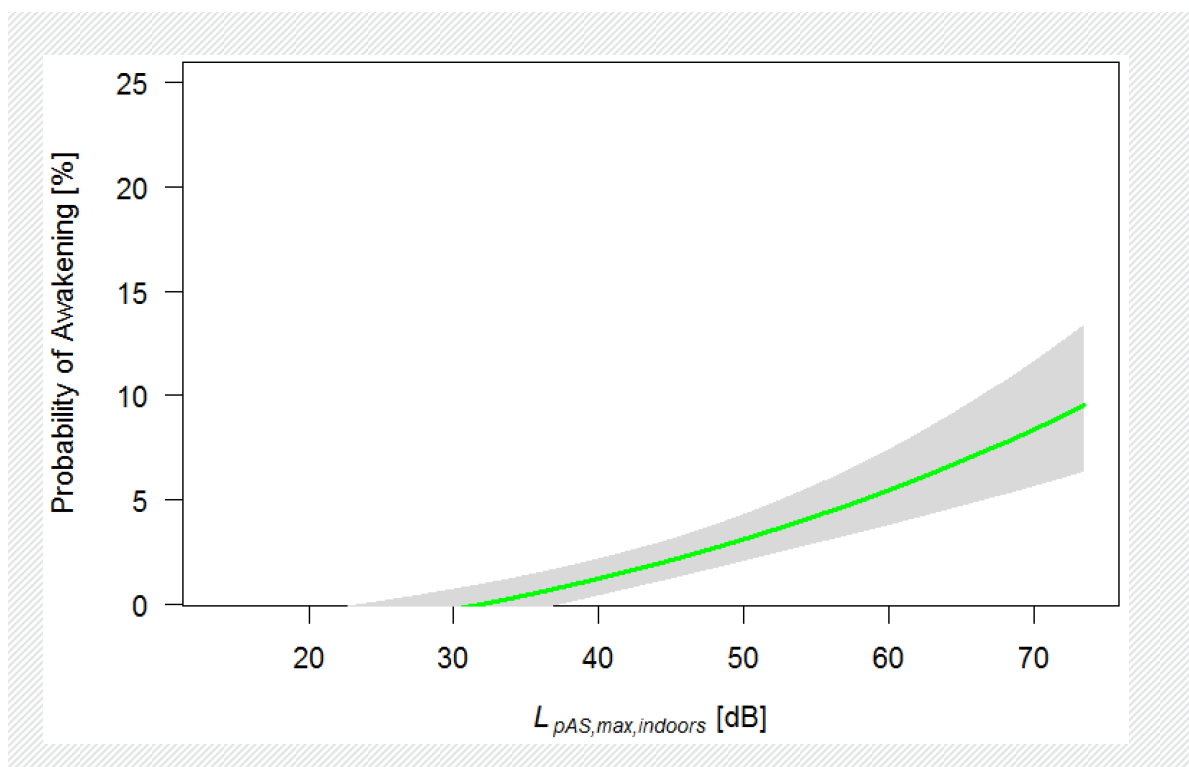
Kriterium 12: Übertragbarkeit auf andere Flugplätze

Beide Arten von Kriterien sind grundsätzlich auf alle Flugplätze übertrag- und anwendbar, auch wenn in beiden Fällen Pauschalisierungen gemacht werden, da unterschiedliche Charakteristika der Flugplätze hinsichtlich Nachtflugbeschränkungen, Verkehrsaufkommen, Flottenmix etc. unberücksichtigt bleiben.

Für AWR-Kriterien ist zusätzlich die Frage zu beantworten, ob nicht eigentlich standortspezifische Expositions-Wirkungsbeziehungen zugrunde gelegt werden müssten. Das wäre grundsätzlich denkbar, allerdings nur mit entsprechendem Mehraufwand (Kriterium 16). Betrachtet man existierende Expositions-Wirkungskurven in der Lärmwirkungsforschung, etwa Köln/Bonn im Vergleich zu Frankfurt/Main, ist außerdem festzustellen, dass die Unterschiede nach Abzug der spontanen Aufwachreaktionen gering sind. Eine Übertragbarkeit der Kurven auf andere Standorte scheint demnach gerechtfertigt zu sein. Gleichzeitig gilt auch zu bedenken, dass die Anwendung von NAT-Kriterien in Bezug auf die Wirkung ebenso Fehler enthält, da eine Vielzahl von Lärmereignissen erst gar nicht berücksichtigt wird. Anstelle der Übertragung der an einem Standort gewonnenen Expositions-Wirkungskurve auf andere Standorte ist auch die Verwendung standortübergreifender Informationen über die Expositions-Wirkungsbeziehung zur

Wahrscheinlichkeit fluglärmbedingter Aufwachreaktionen möglich. Eine entsprechende generalisierte Kurve liefert eine Re-Analyse, die im Rahmen des EU-Horizon 2020-Projekts ANIMA (Aviation Noise Impact Management through novel Approaches; <https://anima-project.eu/>) vorgenommen wurde. Dabei wurden die Expositions-Wirkungsbeziehungen zu den fluglärmbedingten AWR der am Flughafen Köln/Bonn durchgeführten DLR STRAIN-Studie (Work-related Stress Among Health Professionals in Switzerland, Basner et al. 2005), angewandt am Flughafen Leipzig/Halle, und der am Flughafen Frankfurt/Main durchgeführten NORAH-Schlafstudie (Müller et al. 2015), angewandt im FNI am selben Flughafen, re-analysiert. Die Daten beider Studien wurden gepoolt und eine Expositions-Wirkungsfunktion für die AWR-Wahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom $L_{AFmax,innen}$ erarbeitet (DLR 2021; Hauptvogel et al. 2021a; Abbildung 41). Die Autor*innen weisen explizit darauf hin, dass diese Expositions-Wirkungsbeziehung aus den gepoolten Daten als generalisierte Grundlage für die Definition eines Nachtschutzgebiets verwendet werden kann.

Abbildung 41: Aufwachwahrscheinlichkeit als Funktion des $L_{pAS,max,innen}$ eines Überflugs + Konfidenzintervall (gepoolte Daten der STRAIN und NORAH-Studien, optimales Modell)



Quelle: Abbildung aus DLR (2021), dort Figure 17, S. 33. Mit freundlicher Genehmigung der Autor*innen

Kriterium 13: Auswirkungen auf die zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen

Hinsichtlich der zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen, und somit letztlich dem maximal erfüllbaren Anspruch auf baulichen Schallschutz, hat die Art des Gebietsabgrenzungskriteriums keine Auswirkungen. Die Größe des Schutzgebiets hängt in beiden Fällen von der definierten Schwelle ab, die einen Anspruch auf Erstattung von Schallschutz gewährt. Unabhängig von der Art des Kriteriums, könnte die Schwelle so festgesetzt werden, dass die Fläche des Schutzgebiets bzw. der Anspruch auf Schallschutz insgesamt sich nicht unterscheidet bzw. verändert.

Im Falle der Umsetzbarkeit schneiden NAT-Kriterien etwas besser ab als AWR-Kriterien (siehe Tabelle 44). Insbesondere aufgrund des etwas geringeren Aufwands bei der Umsetzung, der

aber aufgrund der langen Zeithorizonte der Festsetzung von Lärmschutzbereichen kaum ins Gewicht fällt.

Tabelle 44: Zusammenfassung: Bewertung der Kriterien in Bezug auf die Umsetzbarkeit

Lärmwirkung	NAT	AWR
Aufwand	+++	++
Übertragbarkeit	++	++
Auswirkungen auf finanzielle Ressourcen	0	0

NAT= Number above Threshold, AWR=Aufwachreaktionen; + / ++ / +++ Beurteilungskriterien zur Umsetzbarkeit im zunehmenden Grade erfüllt; 0 neutral/Beurteilungskriterium teils/teils erfüllt, -/--/--- Beurteilungskriterien zur Umsetzbarkeit im zunehmenden Grade nicht erfüllt.

7.3 Handlungsempfehlungen

7.3.1 Aufwachreaktionen als Abgrenzungskriterium zum Schutz vor Nachtfluglärm

In der Gesamtschau aller bewerteten Aspekte schneiden Aufwachreaktionen als ereignisbezogenes Gebietsabgrenzungskriterium insgesamt deutlich besser ab als NAT-Kriterien, um die Bevölkerung vor den negativen Auswirkungen durch Nachtfluglärm zu schützen. Sowohl hinsichtlich der Lärmwirkung als auch der Verteilungsgerechtigkeit waren AWR-Kriterien immer mindestens genauso gut oder besser zu bewerten. Lediglich hinsichtlich der Umsetzbarkeit hatten NAT-Kriterien einen leichten Vorteil – allerdings auch nur aufgrund des etwas geringeren Berechnungsaufwands. Angesichts der zeitlichen Horizonte, in denen Festsetzungen von Lärmschutzbereichen erfolgen und der Leistungsfähigkeit heutiger Softwarepakete zur Fluglärmberechnung, erscheint das aber ein zu vernachlässigender Unterschied zu sein, zumal ja auch für das vorliegende Forschungsprojekt das AWR-Kriterium berechnet werden konnte.

Der wesentliche Unterschied zwischen den Kriterien liegt vor allem darin begründet, dass NAT-Kriterien nur Ereignisse über der definierten Maximalpegelschwelle in der Kombination aus Anzahl und Pegelhöhe der Ereignisse berücksichtigen. Sämtliche Ereignisse, die entweder die notwendige Anzahl oder aber Pegelhöhe nicht erreichen, fließen nicht in die Auswertung ein. Darin begründen sich die entscheidenden Nachteile der NAT-Kriterien sowohl im Hinblick auf die Lärmwirkung als auch auf die Gerechtigkeit, da diese Art der Abgrenzung von Schutzgebieten Lücken im Hinblick auf das Schutzziel bzw. den Zweck des FluLärmG aufweist.

Das Vergleichsergebnis zwischen NAT- und AWR-Kriterien lässt vor dem Hintergrund der zugrunde liegenden Bewertungskriterien nur die Empfehlung zu, Aufwachreaktionen bzw. Aufwachwahrscheinlichkeiten als ereignisbezogenes Abgrenzungskriterium für den Schutz vor nächtlichem Fluglärm zu nutzen.

An dieser Stelle wird betont, dass es hier lediglich um eine Bewertung von Abgrenzungskriterien geht. Die innerhalb der Kriterien angewandten Regelungen (z. B. Ermittlung der Betriebsrichtungsverteilung; betrachteter Zeitraum etc.) waren nicht Gegenstand der Untersuchungen. Gleichzeitig kann der Einfluss dieser Regelungen je nach Ausgestaltung sogar über den des Abgrenzungskriteriums hinausgehen (z. B. hinsichtlich der Betriebsrichtungsverteilung die Umstellung von Realverteilung auf eine 100/100 Regelung oder 3-Sigma-Regelung).

7.3.2 Einheitliche Expositions-Wirkungsbeziehung für alle Flugplätze

Standortspezifische Expositions-Wirkungsbeziehungen erscheinen denkbar, aber nicht zwingend notwendig. Der Vergleich bisheriger Erkenntnisse macht deutlich, dass die Nutzung entsprechender Wirkungskurven von anderen Standorten sinnvoll möglich ist bzw. eine standortübergreifende Expositions-Wirkungskurve zu fluglärmbedingten Aufwachreaktionen bereits vorliegt und als Grundlage für die Festlegung eines Nachtschutzgebiets genutzt werden kann. Im Fall des Frankfurter Fluglärmindex, der allerdings keinen Anspruch auf baulichen Schallschutz generiert, wurde die in Köln/Bonn generierte Expositions-Wirkungsbeziehung über viele Jahre genutzt, bis im Rahmen der NORAH-Studie eine standortspezifische Formel für Frankfurt/Main erzeugt werden konnte (Forum Flughafen und Region 2019). Die Daten von beiden Standorten wurden im Rahmen einer Re-Analyse gepoolt und eine standortübergreifende Kurve ermittelt (DLR 2021; Hauptvogel et al. 2021a).

Daher wird empfohlen, für alle zivilen deutschen Flugplätze eine einheitliche Expositions-Wirkungskurve festzulegen. Diese kann entweder von einem einzelnen deutschen Standort stammen, oder aus mehreren Expositions-Wirkungsbeziehungen verschiedener deutscher Standorte zusammengeführt werden. Da die im EU-Projekt ANIMA erarbeitete standortübergreifende Expositions-Wirkungskurve zur fluglärmbedingten AWR-Wahrscheinlichkeit als Funktion des Maximalpegels eines Überflugs eine solche zusammengeführte Kurve darstellt, wird diese bis auf Weiteres als einheitliche Grundlage für deutsche Flugplatzstandorte empfohlen.

7.3.3 Zusätzliches Dauerschallpegelkriterium auch für die Nacht

Maximalpegelkriterien geben hauptsächlich Auskunft über akute Wirkungen nächtlichen Fluglärms. Langfristige Fluglärmwirkungen werden mit epidemiologischen Studien abgeschätzt. Da diese weiterhin überwiegend auf Dauerschallpegeln beruhen, werden diese Wirkungen besser mit Dauerschallpegeln abgebildet. Die Empfehlung für AWR-Kriterien als Abgrenzungskriterium bedeutet vor diesem Hintergrund deshalb nicht, auf ergänzende Dauerschallpegelkriterien zu verzichten. Diese haben auch weiterhin ihre Berechtigung und sollten zusätzlich zu AWR-Kriterien zur Anwendung kommen. Für die Zukunft wäre wünschenswert, dass es Auswertungen der Wirkungsforschung zu langfristigen Gesundheitswirkungen auch auf Basis von Maximalpegeln gibt, um entsprechende Erkenntnisse in die Abwägungen einfließen lassen zu können.

Die detaillierte Auseinandersetzung mit Dauerschallpegelkriterien war nicht Gegenstand dieses Projektes. Der Fokus der Forschungsarbeiten lag auf ereignisbezogenen Abgrenzungskriterien.

7.3.4 Eine Aufwachreaktion (AWR = 1) als Schwellenwert des AWR-Kriteriums

Die Definition eines konkreten Schwellen- oder Grenzwerts – und damit des schützenswerten Grundbedarfs im Sinne der Gerechtigkeitsprinzipien – ist immer eine (gesetzgeberische) Setzung und somit keine ausschließlich wissenschaftliche Aufgabe. Diese dient lediglich – aber insbesondere – der Klarheit über die grundlegenden Wirkzusammenhänge. Bei der Festsetzung von Schwellen- und Grenzwerten geht es um die Abwägung zwischen akzeptablen bzw. zu akzeptierenden Gesundheitsrisiken einerseits und der Einschränkung gesellschaftlich erwünschter Tätigkeiten, in diesem Falle dem Fliegen, andererseits. Diese Einschränkung ist hier primär ausschließlich in dem bereits durch den gesetzlichen Rahmen vorgegebenen Rechtsfolgen der Festsetzung von Lärmschutzbereichen zu sehen. Hier können Hinweise aus der Wissenschaft hinsichtlich der Lärmwirkung Berücksichtigung finden. Die Abwägung und Setzung selbst sollten aber Teil eines gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses sein.

Wie die Ergebnisse zur Lärmwirkung in Kapitel 7.1.1 zeigen, erfolgen erste Aufwachreaktionen bereits bei deutlich niedrigeren Maximalpegelwerten als sie im FluLärmG aktuell als Schwellenwerte definiert werden. Wissenschaftliche Erkenntnisse, ab wie vielen zusätzlich durch Fluglärm verursachten Aufwachreaktionen relevante gesundheitliche Risiken beginnen, gibt es bislang hingegen nicht. Hierfür sind zusätzliche Auswertungen notwendig. Gleichzeitig machen die Ergebnisse der Lärmwirkungsforschung aber auch deutlich, dass Schlafstörungen im Hinblick auf die menschliche Gesundheit grundsätzlich negativ zu bewerten sind, und dass der Schlaf an sich als besonders schützenswert einzustufen ist weil ein Zusammenhang mit langfristigen Gesundheitsstörungen generell und überzeugend dargelegt wurde, auch wenn ein direkter Expositions-Wirkungszusammenhang (d. h., welcher Grad der Gesundheitsstörung bei wie vielen zusätzlichen AWR) momentan noch aussteht.

Vor diesem Hintergrund muss dem Schlaf als schützenswertes Gut ein deutlich höherer Stellenwert eingeräumt werden und sollte mit der entsprechenden Sensibilität behandelt werden. Als sinnvolle Zielstellung erscheint demzufolge ein Schwellenwert, der sicherstellt, dass Betroffene weniger als eine zusätzliche Aufwachreaktion durch Fluglärm erfahren. Daher wird empfohlen, den Schwellenwert des AWR-Kriteriums auf $AWR = 1$ festzulegen; d. h., dass Gebiete, in denen im Durchschnitt pro Nacht eine oder mehr AWR durch Fluglärm hervorgerufen werden, in der Nachtschutzzone liegen. Dieser Schwellenwert ist ausdrücklich als Mindestschutzkriterium zu verstehen. Die Festlegung des letztlichen Schwellenwerts muss, wie ausgeführt, Gegenstand eines gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses sein und könnte demzufolge dann auch unterhalb von 1,0 liegen.

Wo dies sinnvoll ist, könnten auch lokal zusätzliche strengere Regelungen getroffen werden. Neben der Festlegung eines Mindestschutzziels gilt es standortspezifisch auch zu beachten, inwiefern dieses Schutzziel zu den bisherigen Schwellenwerten passt. Bei der Umstellung von NAT- auf AWR-Kriterien sind auf jeden Fall Verschiebungen der Schutzbereiche zu erwarten. Aufgrund der begrenzten Auswirkungen auf die finanziellen Ressourcen, sollte die Gesamtfläche des Schutzbereichs durch die Umstellung jedenfalls nicht verkleinert werden. Auch im Hinblick auf das Gerechtigkeitsprinzip der historischen Verteilung (hier: der Schutzansprüche) erscheint dies geboten.

8 Quellenverzeichnis

AG Index des Forums Flughafen und Region Frankfurt (2019): Frankfurter Fluglärmindex 2.0 (FFI 2.0). Dokumentation. Forum Flughafen und Region; Gemeinnützige Umwelthaus GmbH (Hrsg.), Kelsterbach. Online verfügbar unter https://www.umwelthaus.org/download/?file=ffr-bericht_ffi_2.0.pdf.

Argyropoulos, S.V.; Hicks, J.A.; Nash, J.R.; Bell, C.J.; Rich, A.S.; Nutt, D.; Wilson, S.J. (2003): Correlation of subjective and objective sleep measurements at different stages of the treatment of depression. In: *Psychiatry Research*, 2003, 120, Elsevier Ireland, Shannon, S. 179–190.

Arps, H.; Barth, R.; Hermann, A.; Schulze, F. (2006): Passiver Schallschutz: Erfassung und Darstellung passiver Schallschutzmaßnahmen an großen europäischen Verkehrsflughäfen. Endbericht. Öko-Institut, Darmstadt. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/342/2006-025-de.pdf>.

AzB - Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen vom 19. November 2008 (BANz. Nr. 195a vom 23.12.2008 S. 2)

Banks, S.; Dinges, D. F. (2007): Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. In: *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 2007, 3(5), American Academy of Sleep Medicine, Darien, S. 519-528.

Basner, M.; Isermann, U.; Samel, A. (2005): Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung* (2005) Nr. 4, Springer Verlag, Berlin

Basner, M.; McGuire, S. (2018): WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Effects on Sleep. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(3), S. 519.

Baudin, C.; Lefèvre, M.; Babisch, W.; Cadum, E.; Champelovier, P.; Dimakopoulou, K. et al. (2020): The role of aircraft noise annoyance and noise sensitivity in the association between aircraft noise levels and hypertension risk: Results of a pooled analysis from seven European countries. In: *Environmental research*, 191, S. 110179. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32919966/>.

Baudin, C.; Lefèvre, M.; Champelovier, P.; Lambert, J.; Laumon, B.; Evrard, A.S. (2018): Aircraft Noise and Psychological Ill-Health: The Results of a Cross-Sectional Study in France. In: *International journal of environmental research and public health*, 15(8). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30081458/>.

Baudin, C.; Lefèvre, M.; Selander, J.; Babisch, W.; Cadum, E.; Carlier, M.C. et al. (2019): Saliva cortisol in relation to aircraft noise exposure: pooled-analysis results from seven European countries. In: *Environmental health: a global access science source*, 18(1), S. 102. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31775752/>.

Bayerische Staatskanzlei (2014): Verordnung über die Festsetzung des Lärmschutzbereichs für den Verkehrsflughafen Nürnberg (Fluglärmschutzverordnung Nürnberg – FluLärmV N)1 vom 9. September 2014 (GVBl. S. 382) BayRS 96-1-5-B. Online verfügbar unter: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayFluLaermVN>.

Benz, S.; Kuhlmann, J.; Jeram, S.; Bartels, S.; Ohlenforst, B.; Schreckenberger, D. (2021): Impact of Aircraft Noise on Health. In: Leylekian, L.; Maximova, A.; Covrig, A. [Hrsg.]: *Aviation Noise Impact Management: Technologies, Regulations, and Societal Well-being in Europe*. Springer.

Beutel, M. E.; Brähler, E.; Ernst, M.; Klein, E.; Reiner, I.; Wiltink, J.; Michal, M., ... Tibubos, A. N. (2020): Noise annoyance predicts symptoms of depression, anxiety and sleep disturbance 5 years later. Findings from the Gutenberg Health Study. In: *European Journal of Public Health*, 2020, 30(3), S. 487-492.

Bezirksregierung Köln (2019): Information über die Erstattung von Aufwendungen gemäß § 9 Abs. 1 bzw. 9 Abs. 2 i.V.m. § 10 Fluglärmgesetz i.d.F. vom 31.10.2007 (FluLärmG). Online verfügbar unter <https://fluglaerm-koeln-bonn.de/wp-content/uploads/2019/01/Info-Merkblatt-BzRegKo%CC%88ln.pdf>.

Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 11 Absatz 3 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist.

Deutsche Flugsicherung GmbH (DFS), Datendienste/Geodaten (OX/DG) (2021): FANOMOS-Radardaten der Flughäfen Köln/Bonn, Leipzig/Halle und Frankfurt/Main. Zugriff auf bereitgestellte Daten auf Fileserver zuletzt am 08.11.2021

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. – DLR (2021). ANIMA D3.2 - Development of indicators for night noise protection zones. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Köln. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.5517783>

Devine-Wright, P.; Wiersma, B. (2019): Understanding community acceptance of a potential offshore wind energy project in different locations: an island-based analysis of ‘place-technology fit’. In: Energy Policy, 137, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111086>.

Dimakopoulou, K.; Koutentakis, K.; Papageorgiou, I.; Kasdagli, M.I.; Haralabidis, A.S.; Sourtzi, P. et al. (2017): Is aircraft noise exposure associated with cardiovascular disease and hypertension? Results from a cohort study in Athens, Greece. In: Occupational and environmental medicine, 74(11), S. 830–837. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28611191/>.

Douglas, O.; Murphy, E. (2016): Source-based subjective responses to sleep disturbance from transportation noise. In: Environment international, 92, S. 450–456. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27164553/>.

Elmenhorst, E.M.; Griefahn, B.; Rolny, V.; Basner, M. (2019): Comparing the Effects of Road, Railway, and Aircraft Noise on Sleep: Exposure-Response Relationships from Pooled Data of Three Laboratory Studies. In: International journal of environmental research and public health, 16(6). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30917492/>.

Evrard, A.S.; Lefèvre, M.; Champelovier, P.; Lambert, J.; Laumon, B. (2017): Does aircraft noise exposure increase the risk of hypertension in the population living near airports in France? In: Occupational and environmental medicine, 74(2), S. 123–129. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27481872/>.

Eze, I.C.; Foraster, M.; Schaffner, E.; Vienneau, D.; Héritier, H.; Rudzik, F. et al. (2017): Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. In: International journal of epidemiology, 46(4), S. 1115–1125. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28338949/>.

Fields, J.M.; DeJong, R.G.; Gjestland, T.; Flindell, I.H.; Job, R.F.S.; Kurra, S.; Lercher, P.; Vallet, M.; Guski, R.; Felscher-Suhr, U.; Schuemer, R. (2001): Standardized general-purpose noise reaction questions for community noise surveys: Research and a recommendation. In: Journal of Sound and Vibration, 242(4), S. 641 – 679, Elsevier, Amsterdam.

Finke, H.O.; Guski, R.; Rohrmann, B. (1980): Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Bericht über eine interdisziplinäre Untersuchung. Braunschweig: Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

Fisher, R. A. (1925): Statistical methods for research workers. Edinburgh, Scotland: Oliver and Boyd.

Flughafen Berlin Brandenburg (2021): Schallschutzgebiete. Online verfügbar unter <https://corporate.berlin-airport.de/de/nachbar-ber/schallschutz/allgemeine-informationen/schallschutzgebiete.html>.

Flughafen Düsseldorf GmbH (o. J.): Merkblatt Einzelfallprüfung Schallschutzmaßnahmen & Genehmigung zur Änderung der Betriebsregelung für das Parallelbahnsystem des Verkehrsflughafens Düsseldorf. Online verfügbar unter https://www.dus.com/-/media/dus/konzern/nachbarn/schallschutzprogramm/merkblatt-einzelnachweis-fdg_210815.ashx

Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH, Bereich Unternehmenskommunikation/Marketing: Nachtflugzahlen des Flughafen Hannover-Langenhagen GmbH: Link erhalten und Zugriff am 08.02.2021 unter https://www.mw.niedersachsen.de/startseite/themen/verkehr/luftverkehr/fluglarm/fluglarmschutzbeauftragte/fluglarmschutzbeauftragter_fur_den_flughafen_hannover_langenhagen/fluglaerschutzbeauftragter-fuer-den-flughafen-hannover-langenhagen-113947.html

Flughafen Köln Bonn GmbH, Stabstelle Unternehmenskommunikation: Nachtflugzahlen des Köln Bonn Airport: Link erhalten und Zugriff am 12.02.2021 unter <https://www.koeln-bonn-airport.de/unternehmen/umwelt-und-laerschutz.html>

Flughafen München GmbH (2019): Fluglärm und Fluglärmsschutz. Umwelt am Flughafen München. Online verfügbar unter https://www.munich-airport.de/b/00000000000000008030531bb5de90f62/Flugl-rmbrosch-re_Deutsch.pdf.

Forum Flughafen und Region (2019): Überblick: Der Frankfurter Fluglärmindex von 2009 (FFI) und der neue Frankfurter Fluglärmindex von 2019 (FFI 2.0) im Vergleich. Online verfügbar unter https://www.umwelt-haus.org/download/?file=1905_ff-2-0_ffr-bericht-tabelle-gesamt2.pdf.

Fraport AG (2021): Verkehrszahlen, Zugriff am 12.02.2021 unter <https://www.fraport.com/de/investoren/verkehrszahlen.html>

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

Greiser, E.; Greiser, C. (2010): Risikofaktor nächtlicher Fluglärm Abschlussbericht über eine Fall-Kontroll-Studie zu kardiovaskulären und psychischen Erkrankungen im Umfeld des Flughafens Köln-Bonn. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3774.pdf>

Greiser, E.; Janhsen, K.; Greiser, C. (2006): Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen. Forschungsbericht FKZ 20551100. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3153.pdf>

Guski, R.; Basner, M.; Brink, M. (2012): Gesundheitliche Auswirkungen nächtlichen Fluglärms: aktueller Wissensstand (Literaturauswertung). Schlussbericht im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Bochum: Fakultät für Psychologie der Ruhr-Universität.

Hahad, O.; Herzog, J.; Rössli, M.; Schmidt, F.P.; Daiber, A.; Münzel, T. (2022): Acute Exposure to Simulated Nocturnal Train Noise Leads to Impaired Sleep Quality and Endothelial Dysfunction in Young Healthy Men and Women: A Sex-Specific Analysis. In: International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(21), S. 13844.

Hamburg Airport (2012): 9. Lärmschutzprogramm für Hamburg und Schleswig-Holstein. Informationsbroschüre für Anwohner des Flughafens Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.hamburg-airport.de/resource/blob/1956/c4422e72c89791c6e1fef01758f51b06/flyer-laerschutzprogramm-9-data.pdf>.

Hauptvogel, D.; Müller, U.; Márki, F. (2021a): Aircraft-noise induced awakenings as a more adequate indicator for better night noise protection concepts around airports. Proceedings of the 13th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem. Stockholm, Sweden, 14-17 June 2021.

Hauptvogel, D.; Bartels, S.; Schreckenber, D.; Rothmund, T. (2021b): Aircraft noise distribution as a fairness dilemma — A review of aircraft noise through the lens of social justice research. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18, 7399, MDPI, Basel (CH). <https://doi.org/10.3390/ijerph18147399>

Hauptvogel, D.; Schreckenberger, D.; Rothmund, T.; Schmitz, M.-T.; Bartels, S. (2023). Being a Fair Neighbor - Towards a Psychometric Inventory to Assess Fairness-Related Perceptions of Airports by Residents - Development and Validation of the Aircraft Noise-Related Fairness Inventory (fAIR-In). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20, 6113, MDPI, Basel (CH). <https://doi.org/10.3390/ijerph20126113>

Hegewald, J.; Schubert, M.; Wagner, M.; Dröge, P.; Prote, U.; Swart, E. et al. (2017): Breast cancer and exposure to aircraft, road, and railway-noise: a case-control study based on health insurance records. In: *Scandinavian journal of work, environment & health*, 43(6), S. 509–518. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28813586/>.

Héritier, H.; Vienneau, D.; Foraster, M.; Eze, I.C.; Schaffner, E.; Thiesse, L.; Rudzik, F.; Habermacher, M.; Köpfli, M.; Pieren, R.; Brink, M.; Cajochen, C.; Wunderli, J.M.; Probst-Hensch, N.; Rössli, M. (2017): Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: a nationwide cohort study from Switzerland. In: *European Journal of Epidemiology*, 32(4), S. 307-315.

Hessisches Ministerium der Justiz (2011): Verordnung über die Festsetzung des Lärmschutzbereichs für den Verkehrsflughafen Frankfurt Main vom 30. September 2011. Online abrufbar unter: <https://www.rv.hessen-recht.hessen.de/bshe/document/jlr-FluL%C3%A4rmFfMVHErahmen/part/X>.

Heyen, D.A. (2022): Social justice in the context of climate policy: systematizing the variety of inequality dimensions, social impacts, and justice principles. *Climate Policy*, 23 (5), S. 539-554. <https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2142499>.

Hiller, R.M.; Jonston, A.; Dohnt, H.; Lovato, N.; Gradisar, M. (2015): Assessing cognitive processes related to insomnia: A review and measurement guide for Harvey's cognitive model for the maintenance of insomnia. *Sleep Medicine Reviews*, 2015, 23, Elsevier, Amsterdam (NL), S. 46-53.

Järup, L.; Babisch, W.; Houthuijs, D.; Pershagen, G.; Katsouyanni, K.; Cadum, E.; Dudley, M.L.; Savigny, P.; Seifert, I.; Swart, W.; Breugelmans, O.; Bluhm, O.; Selander, J.; Haralabidis, A.; Dimakopoulou, K.; Soutzi, P.; Vellonakis, M.; Vigna-Tagliani, F.; on behalf of the HYENA study team (2008): Hypertension and Exposure to noise near air-ports: the HYENA study. In: *Environmental Health Perspectives*, 2008, 116, National Institute of Environmental Health Sciences, Durham, S. 329-333.

Kloepfer, M. (2016): Umweltrecht, 4. Auflage, § 15 Immissionsschutzrecht.

Kranjec, N.; Benz, S.; Burtea, N. E.; Hooper, P.; Hudson, R.; Jeram, S.; ... Schreckenberger, D. (2019). ANIMA D2.3 - Recommendations on noise and health. Zenodo.DOI 10.5281/zenodo.2562748.

Kröller-Schön, S.; Daiber, A.; Steven, S.; Oelze, M.; Frenis, K.; Kalinovic, S.; ... Münzel, T. (2018): Crucial role for Nox2 and sleep deprivation in aircraft noise-induced vascular and cerebral oxidative stress, inflammation, and gene regulation. In: *European Heart Journal*, 2018, 39 (38), S. 3528-3539.

Lefèvre, M.; Carlier, M.C.; Champelovier, P.; Lambert, J.; Laumon, B.; Evrard, A.S. (2017): Effects of aircraft noise exposure on saliva cortisol near airports in France. In: *Occupational and environmental medicine*, 74(8), S. 612–618. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28442544/>.

Luftverkehrsgesetz (LuftVG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 2007 (BGBl. I S. 698), das zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 8. Oktober 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 272) geändert worden ist.

McGuire, S.; Müller, U.; Elmenhorst, E.M.; Basner, M. (2016): Inter-individual Differences in the Effects of Aircraft Noise on Sleep Fragmentation. In: *Sleep*, 39(5), S. 1107–1110. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26856901/>.

Meng, X.-I.; Rosenthal, R.; Rubin, D. B. (1992): Comparing correlated correlation coefficients. In: *Psychological Bulletin*, 111(1), 172–175. doi:10.1037//0033-2909.111.1.172

Mitteldeutsche Flughafen AG, Mitteldeutsche Flughafen AG: Aufstellung der Nachtflugbewegungen, erhalten per Mail am 17.03.2021

Möhler, U.; Liepert, M.; Mühlbacher, M.; Beronius, A.; Nunberger, M.; Braunstein, G.; Gillé, M.; Schaal, J.; Bartel, R. (2015): Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 2). Umwelthaus gGmbH, Kelsterbach. Verfügbar unter https://www.norah-studie.de//de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH_Bd2_Akustik_Endbericht.PDF

Moher, D.; Liberati, A.; Tetzlaff, J.; Altman, D.G., The PRISMA Group (2009): Preferred Re-reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Medicine 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed.1000097

Müller, U., Aeschbach, D., Elmenhorst, E.-M., Mendolia, F., Quehl, J., Hoff, A., Rieger, I., Schmitt, S., Littel, W. (2015). Fluglärm und nächtlicher Schlaf. In Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 4). Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH. Online verfügbar unter https://www.norah-studie.de//de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH_Bd4_M2_Schlaf_Endbericht.pdf.

Münzel, T.; Kröller-Schön, S.; Oelze, M.; Gori, T.; Schmidt, F.; Steven, S.; Hahad, O.; Rösli, M.; Wunderli, J. M.; Daiber, A.; Sørensen, M. (2020): Adverse Cardiovascular Effects of Traffic Noise with a Focus on Nighttime Noise and the New WHO Noise Guidelines. In: Annual Review of Public Health, 41(1), S. 309–328. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-081519-062400>.

Nassur, A.M.; Lefèvre, M.; Laumon, B.; Léger, D.; Evrard, A.S. (2017): Aircraft Noise Exposure and Subjective Sleep Quality: The Results of the DEBATS Study in France. In: Behavioral sleep medicine, 17(4), S. 502–513. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29172716/>.

Nassur, A.M.; Léger, D.; Lefèvre, M.; Elbaz, M.; Mietlicki, F.; Nguyen, P. et al. (2019a): Effects of Aircraft Noise Exposure on Heart Rate during Sleep in the Population Living Near Airports. In: International journal of environmental research and public health, 16(2). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30669300/>.

Nassur, A.M.; Léger, D.; Lefèvre, M.; Elbaz, M.; Mietlicki, F.; Nguyen, P. et al. (2019b): The impact of aircraft noise exposure on objective parameters of sleep quality: results of the DEBATS study in France. In: Sleep medicine 54, S. 70–77. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30529780/>.

Nguyen, T.L.; Morinaga, M.; Yokoshima, S.; Yano, T.; Sato, T.; Yamada, I. (2018): Community response to a step change in the aircraft noise exposure around Hanoi Noi Bai International Airport. In: The Journal of the Acoustical Society of America, 143(5), S. 2901. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29857718/>.

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2010): Niedersächsische Verordnung über die Festsetzung des Lärmschutzbereichs für den Verkehrsflughafen Hannover-Langenhagen. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/larmschutz/fluglarm/larmschutzbereich-flughafen-hannover-langenhagen/niedersaechsische-verordnung-ueber-die-festsetzung-des-laermschutzbereichs-fuer-den-verkehrsflughafen-hannover-langenhagen-20242.html>.

Osborne, M.T.; Radfar, A.; Hassan, M.Z. O.; Abohashem, S.; Oberfeld, B.; Patrich, T. et al. (2020): A neurobiological mechanism linking transportation noise to cardiovascular disease in humans. In: European Heart Journal, 2020, 41 (6), S. 772–782. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz820>.

Patterson, J.J.; Thaler, T.; Hoffmann, M.; Hughes, S.; Oels, A.; Chu, E.; Mert, A.; Huitema, D.; Burch, S.; Jordan, A. (2018): Political feasibility of 1.5°C societal transformations: the role of social justice. In: Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, 31, S. 1–9. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343517300660?via%3Dihub>.

Regierungspräsidium Darmstadt (2014): Lärmaktionsplan Hessen. Teilplan Flughafen Frankfurt/Main vom 05.05.2014. Online verfügbar unter <https://docplayer.org/49462855-Laermaktionsplan-hessen.html>.

Regierungspräsidium Leipzig (2004): Mitteilung der Planfeststellungsbehörde zum Planfeststellungsbeschluss vom 04.11.2004 für das Vorhaben: Flughafen Leipzig/Halle, Start- und Landebahn Süd mit Vorfeld. Online verfügbar unter https://www.dfl.d.de/Andere/Leipzig/PFV_LandebahnSued/Main.htm#Vorbemerkung.

Rezaie, L.; Fobian, A.D.; McCall, W.V.; Khazaie, H. (2018): Paradoxical insomnia and subjective-objective sleep discrepancy: A review, *Sleep Medicine Reviews*, 2018, 40, Elsevier, Amsterdam (NL), S. 196-202.

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 189/12 vom 18.07.2002. Zugriff am 15.12.2016. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&rid=1>.

Rocha, S.; Smith, M.G.; Witte, M.; Basner, M. (2019): Survey Results of a Pilot Sleep Study Near Atlanta International Airport. In: *International journal of environmental research and public health*, 16(22). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31698800/>.

Roswall, N.; Thacher, J. D.; Ögren, M.; Pyko, A.; Åkesson, A.; Oudin, A., ... Sørensen, M. (2023): Long-term exposure to traffic noise and risk of incident colon cancer: A pooled study of eleven Nordic cohorts. In: *Environmental research*, 2023, 224, S. 115454. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115454>.

Saß, A.; Lange, C.; Finger, J. D.; Allen, J.; Born, S.; Hoebel, J.; Kuhnert, R.; Müters, S.; Thelen, J.; Schmich, P.; Varga, M.; Von Der Lippe, E.; Wetzstein, M.; Ziese, T. (2017): „Gesundheit in Deutschland aktuell“ – Neue Daten für Deutschland und Europa Hintergrund und Studienmethodik von GEDA 2014/2015-EHIS. In: *Journal of Health Monitoring*, 2(1). <https://doi.org/10.17886/rki-gbe-2017-012>

Saucy, A.; Schäffer, B.; Tangermann, L.; Vienneau, D.; Wunderli, J.M.; Rösli, M. (2020): Individual Aircraft Noise Exposure Assessment for a Case-Crossover Study in Switzerland. In: *International journal of environmental research and public health*, 17(9). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32357482/>.

Schmidt, F.; Kolle, K.; Kreuder, K.; Schnorbus, B.; Wild, P.; Hechtner, M. et al. (2015): Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. In: *Clinical research in cardiology: official journal of the German Cardiac Society*, 104(1), S. 23–30. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25145323/>.

Schreckenberg, D. (2012): Aircraft noise annoyance and residents' acceptance and use of sound proof windows and ventilation systems. *Proceedings of INTER-NOISE 2012*. New York, 19-22 August 2012, Paper No. 101.

Schreckenberg, D.; Faulbaum, F.; Guski, R.; Ninke, L.; Peschel, C.; Spilski, J.; Wothge, J. (2015): Wirkungen von Verkehrslärm auf die Belästigung und Lebensqualität. In *Gemeinnützige Umwelthaus gGmbH (Hg.), NORAH (Noise related annoyance cognition and health): Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld (Bd. 3)*. Kelsterbach: Umwelthaus gGmbH. Online verfügbar unter https://www.norah-studie.de/de/publikationen.html?file=files/norah-studie.de/Downloads/NORAH_Bd3_M1_Endbericht_151031.pdf

Schubert, M.; Romero Starke, K.; Gerlach, J.; Reusche, M.; Kaboth, P.; Schmidt, W.; ... Seidler, A. (2023): Traffic-Related High Sleep Disturbance in the LIFE-Adult Cohort Study: A Comparison to the WHO Exposure-Response-Curves. *International journal of environmental research and public health*, 2023, 20(6), S. 4903. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.3390/ijerph20064903>.

Schütte, S. (2023): Evaluation der 2. Fluglärmschutzverordnung (UBA-Texte XX/2023, in Bearbeitung)

Schütte, S.; Brohmann, B.; Brunn, C.; Keimeyer, F.; Scherf, C.-S.; Arps, H. (2018): Weiterentwicklung der rechtlichen Regelungen zum Schutz vor Fluglärm: Gutachten zur Evaluation des Fluglärmschutzgesetzes. UBA-Texte 35/2018. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/weiterentwicklung-der-rechtlichen-regelungen-schutz>.

Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm), GMBI 1998 Nr. 26, S. 503, geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BANz AT 08.06.2017 B5).

Seidler, A.L.; Hegewald, J.; Schubert, M.; Weihofen, V.M.; Wagner, M.; Dröge, P. et al. (2018): The effect of aircraft, road, and railway traffic noise on stroke - results of a case-control study based on secondary data. In: Noise & Health, 20(95), S. 152–161. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30136675/>.

Smith, M.G.; Cordoza, M.; Basner, M. (2022): Environmental Noise and Effects on Sleep: An Update to the WHO Systematic Review and Meta-Analysis. In: Environmental Health Perspectives, 130(7). Online verfügbar unter <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP10197>.

Smith, M.G.; Rocha, S.; Witte, M.; Basner, M. (2020): On the feasibility of measuring physiologic and self-reported sleep disturbance by aircraft noise on a national scale: A pilot study around Atlanta airport. In: The Science of the total environment, 718, S. 137368. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32092522/>.

Soundplan Noise, Version 8.2; Soundplan GmbH, Backnang 2023

Statistisches Bundesamt (Destatis), 2022. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1664449862800&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=46421-0001&auswahltext=&wertauswahl=659#astructure>, zuletzt abgerufen am 29.09.2022

Stuttgart Airport (2019): Informationsbroschüre Schallschutzprogramm Flughafen Stuttgart – Information über die Erstattung von Aufwendungen für baulichen Schallschutzmaßnahmen nach § 9, Abs. 1 und 2 des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm. Online abrufbar unter: https://www.schallschutzprogramm-flughafen-stuttgart.de/informationen/Informationsbroschuere_2019-02-25.pdf.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (1974): Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety. EPA 550/9-74-004. Washington, DC: U.S. EPA. Zugriff am 23.07.2020 von <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000L3LN.PDF?Dockey=2000L3LN.PDF>.

UBA (2022): Zugriff am 24.10.2023 unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung>

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf (2015): Lärmschutzzonen des Flughafens Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.duesseldorf.de/umweltamt/umwelt-und-verbraucherthemen-von-a-z/laerm/lae40/lae43/>.

Wang, X.; Lo, K. (2021): Just transition: A conceptual review. In: Energy Research & Social Science, 2021, 82, S. 102291. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102291>.

Williams, S.; Doyon, A. (2019): Justice in Energy Transitions. In: Environmental Innovation and Societal Transitions. 2019, 31, S. 144-153. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.12.001>.

Winkler, J.; Stolzenberg, H. (1999): Der Sozialschichtindex im Bundes-Gesundheitssurvey. In: Gesundheitswesen, 61, Sonderheft 2, S. 178 – 183. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York

Winkler, J.; Stolzenberg, H. (2009): Adjustierung des Sozialen-Schicht-Index für die Anwendung im Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS) 2003/2006. Wismarer Diskussionspapiere, Heft 07/2009. Wismar.

World Health Organization (WHO) (2009): Night Noise Guidelines for Europe. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/44602136_Night_Noise_Guidelines_for_Europe/full-text/5ab6aab60f7e9b68ef501e79/Night-Noise-Guidelines-for-Europe.pdf?origin=publication_detail.

World Health Organization (WHO) (2018): Environmental Noise Guidelines for the European Region. Online verfügbar unter <https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563>.

Wunderli, J.M.; Pieren, R.; Habermacher, M.; Vienneau, D.; Cajochen, C.; Probst-Hensch, N. et al. (2016): Intermittency ratio: A metric reflecting short-term temporal variations of transportation noise exposure. In: Journal of exposure science & environmental epidemiology, 26(6), S. 575–585. Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26350982/>.

A Fragebögen

A.1 Fragebogen für die Befragung der Akteur*innen beispielhaft für Frankfurt/Main

Teilnehmendendaten	
1.	Auf welchen Flughafen bezieht sich Ihre Arbeit bzw. mit welchem Flughafen steht sie in Verbindung?
	☐ Köln/Bonn ☐ Leipzig/Halle ☐ Frankfurt am Main
2.	Welcher Institution/Organisation gehören Sie an?
	☐ Flughafengesellschaft ☐ Luftverkehrsgesellschaft ☐ Genehmigungsbehörde ☐ Immissionsschutzbehörde ☐ Kommune ☐ Initiative/Kommission zum Schutz vor Fluglärm ☐ Sonstiges: _____
Ereignisbezogene Nachtflugkriterien	
Die folgenden Fragen beziehen sich auf Nachtflugkriterien insgesamt. Wenn Sie keinerlei Kenntnisse über bzw. Erfahrungen mit Nachtflugkriterien haben, können Sie den folgenden Fragenblock gerne überspringen und mit dem nächsten Fragenblock fortfahren.	
3.	Ein gerechtes Kriterium zur Festlegung eines Nachtschutzgebietes ist:
	☐ a) eine akustische Kenngröße, die das Ausmaß der Lärmexposition (Geräuschbelastung) kennzeichnet ☐ b) eine Wirkungsgröße, d.h. eine Größe, die das Ausmaß der nächtlichen Beeinträchtigung von Anwohnenden, z.B. physiologisch messbare Aufwachreaktionen, kennzeichnet?
4.	Wieso a bzw. b? Bitte begründen Sie kurz Ihre Antwort.
	(Freitext-Antwort)

5.	Ein gerechtes Kriterium zur Gewährung von passivem Schallschutz für die Nacht ist:		
	☐ a) eine akustische Kenngröße, die das Ausmaß der Lärmexposition (Geräuschbelastung) kennzeichnet ☐ b) eine Wirkungsgröße, d.h. eine Größe, die das Ausmaß der nächtlichen Beeinträchtigung von Anwohnenden, z.B. physiologisch messbare Aufwachreaktionen, kennzeichnet?		
6.	Wieso a bzw. b? Bitte begründen Sie kurz Ihre Antwort.		
	(Freitext-Antwort)		
7.	Bitte wählen Sie in den folgenden Gegenüberstellungen jenes Kriterium aus, welches Ihrer Meinung nach gerechter ist, um Anwohnende vor nächtlichem Fluglärm zu schützen.		
	☐ $AWR \geq 0,75$ * * im Durchschnitt 0,75 Aufwachreaktionen pro Nacht	oder	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und $n \times L_{Amax} = 6$ mal 53 dB (innen)
	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB $n \times L_{Amax} = 6$ mal 57 dB (innen)	oder	☐ $AWR \geq 1^*$ und $L_{Amax,außen} \geq 80$ dB * im Durchschnitt 1 Aufwachreaktion pro Nacht
	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und $n \times L_{Amax} = 6$ mal 53 dB (innen)	oder	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB $n \times L_{Amax} = 6$ mal 57 dB (innen)
	☐ $AWR \geq 1^*$ und $L_{Amax,außen} \geq 80$ dB	oder	☐ $AWR^* \geq 0,75$
	☐ $AWR^* \geq 0,75$	oder	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 55$ dB $n \times L_{Amax} = 6$ mal 57 dB (innen)
	☐ $AWR \geq 1^*$ und $L_{Amax,außen} \geq 80$ dB	oder	☐ $L_{Aeq,Nacht} = 50$ dB und $n \times L_{Amax} = 6$ mal 53 dB (innen)
Erfahrung mit ereignisbezogenem Nachtflugkriterium Die folgenden Fragen beziehen sich auf das Nachtflugkriterium $AWR \geq 0,75$. Wenn Sie keinerlei Kenntnisse über bzw. Erfahrungen mit dem Nachtflugkriterium $AWR \geq 0,75$ haben, können Sie den folgenden Fragenblock gerne überspringen und mit dem nächsten Fragenblock fortfahren.			
8.	Welche Schwierigkeiten/Probleme gab es bei der Einführung des Nachtflugkriteriums?		

	(z. B. rechtlich oder in der Praxis)								
	(Freitext-Antwort)								
9.	Was sind die Vorteile dieses Nachtflugkriteriums im Vergleich zu anderen Kriterien? Mehrfachnennungen sind möglich.								
	☐ Gerechtigkeit ☐ Kosten ☐ Umsetzbarkeit ☐ angemessener Schutz vor nächtlichem Fluglärm ☐ Sonstige: _____								
10.	Könnten Sie Ihre Antwort kurz begründen? (Freitext-Antwort)								
11.	Was sind die Nachteile dieses Nachtflugkriteriums im Vergleich zu anderen Kriterien? Mehrfachnennungen sind möglich.								
	☐ Ungerechtigkeit ☐ Kosten ☐ Umsetzbarkeit ☐ Kein angemessener bzw. nicht ausreichender Schutz vor nächtlichem Fluglärm ☐ Sonstige: _____								
12.	Könnten Sie Ihre Antwort kurz begründen? (Freitext-Antwort)								
	Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen Die folgenden Fragen beziehen sich auf vorhandene passive bauliche Schallschutzmaßnahmen. Wenn Sie keinerlei Kenntnisse über bzw. Erfahrungen mit vorhandenen passiven baulichen Schallschutzmaßnahmen haben, können Sie den folgenden Fragenblock gerne überspringen und mit dem nächsten Fragenblock fortfahren.								
13.	Wie viele Haushalte haben Anspruch auf die gesetzlich vorgegeben bauliche(n) Schallschutzmaßnahme(n)?								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schallschutzmaßnahme</th><th>Anzahl Haushalte</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Schallschutzfenster</td><td></td></tr> <tr> <td>Lüfter</td><td></td></tr> <tr> <td>Sonstige: _____</td><td></td></tr> </tbody> </table>	Schallschutzmaßnahme	Anzahl Haushalte	Schallschutzfenster		Lüfter		Sonstige: _____	
Schallschutzmaßnahme	Anzahl Haushalte								
Schallschutzfenster									
Lüfter									
Sonstige: _____									

14.	Wie viele Anträge auf die passiven baulichen Schallschutzmaßnahmen wurden bislang beantragt und genehmigt?		
	Schallschutzmaßnahme	Anzahl der eingegangenen Anträge	Anzahl oder prozentualer Anteil der genehmigten Anträge
	Schallschutzfenster		
	Lüfter		
	Sonstige: _____		
Wenn <u>keine</u> freiwilligen passiven baulichen Schallschutzmaßnahmen implementiert sind, gehen Sie bitte weiter zu Frage 18.			
15.	Welche über das FluLärmG hinausgehenden Ansprüche gibt es für die Nachtzeit? (z.B. freiwillige Programme, Planfeststellungsbeschluss, Gerichtsurteile) Mehrfachnennungen sind möglich		
	☐ Schallschutzfenster ☐ Lüfter ☐ Sonstige: _____		
16.	Wie viele Haushalte könnten die freiwilligen Schallschutzmaßnahme(n) beantragen?		
	Schallschutzmaßnahme	Anzahl Haushalte	
	Schallschutzfenster		
	Lüfter		
	Sonstige: _____		
17.	Wie viele Anträge auf die freiwilligen Schallschutzmaßnahmen wurden bislang beantragt und genehmigt?		
	Schallschutzmaßnahme	Anzahl der eingegangenen Anträge	Anzahl oder prozentualer Anteil der genehmigten Anträge
	Schallschutzfenster		
	Lüfter		
	Sonstige: _____		
18.	Welche Kosten entstehen jährlich und insgesamt für die gesetzlichen und freiwilligen bauliche(n) Schallschutzmaßnahme(n)?		
	Gesetzliche bauliche Schallschutzmaßnahmen		Freiwillige bauliche Schallschutzmaßnahmen
	Jährlich: Insgesamt:		Jährlich: Insgesamt:
Akzeptanz der Bevölkerung			

19.	Welche Rückmeldungen aus der Bevölkerung gab es bislang zum Nachtflugkriterium AWR $\geq 0,75$ bzw. zur Festsetzung der Nachtschutzzone?		
	☐ überwiegend positiv ☐ überwiegend negativ ☐ etwa zu gleichen Teilen positiv und negativ ☐ keine Rückmeldungen ☐ keine Angabe		
20.	Wie waren die Rückmeldungen aus der Bevölkerung bislang zu den o.g. Schallschutzmaßnahmen?		
	☐ überwiegend positiv ☐ überwiegend negativ ☐ etwa zu gleichen Teilen positiv und negativ ☐ keine Rückmeldungen ☐ keine Angabe		
21.	Inwiefern spielt der Flugverkehr in der Nacht (22-06 Uhr; inkl. Ausnahmegenehmigungen) bzw. in den Randstunden bei Beschwerden eine Rolle?		
	(Freitext-Antwort)		
Veränderungen im Flugverkehr			
22.	Vergleich zwischen vor der Corona-Pandemie und heute: Hat es Veränderungen in den Rückmeldungen/Beschwerden der Anwohnenden gegeben?		
	☐ Ja ☐ Nein ☐ keine Angabe		
23.	Wenn ja, welche?		
	(Freitext-Antwort)		
24.	Inwieweit hat sich der Nachtflugverkehr seit Beginn der Pandemie verändert? (z. B. mehr oder weniger Frachtverkehr)		
	(Freitext-Antwort)		
25.	Erwarten Sie zukünftig erneute/weitere Veränderungen im Nachtflugverkehr?		

	☐ Ja	☐ Nein	☐ keine Angabe
26.	Wenn ja, welche und warum?		
	(Freitext-Antwort)		
Abschluss			
27.	Sehen Sie im Hinblick auf den Schutz vor nächtlichem Fluglärm noch Verbesserungsbedarf?		
	☐ Ja	☐ Nein	☐ keine Angabe
28.	Wenn ja, welche?		
	(Freitext-Antwort)		
29.	Sehen Sie im Hinblick auf das Nachtflugkriterium $AWR \geq 0,75$ noch Verbesserungsbedarf?		
	☐ Ja	☐ Nein	☐ keine Angabe
30.	Wenn ja, welche?		
	(Freitext-Antwort)		
31.	Möchten Sie sonst noch etwas anmerken oder ergänzen?		
	(Freitext-Antwort)		

A.2 Fragebogen für die Hauptbefragung

Wohn- und Lebensbedingungen im Flughafenumfeld

1. Wie zufrieden sind Sie insgesamt mit Ihrer...

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich
... Wohnumgebung	☐	☐	☐	☐
... Wohnung/ Ihrem Haus	☐	☐	☐	☐

2. Gibt es etwas, dass Sie an Ihrer Wohnumgebung schätzen?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, was?

3. Gibt es etwas, dass Sie an Ihrer Wohnumgebung stört?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, was?

4. Bitte geben Sie an, inwiefern Sie den folgenden Aussagen in Bezug auf Ihre Wohnumgebung zustimmen.

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich	sehr
a. Selbst wenn es bessere Orte gibt, werde ich nicht von hier wegziehen.	☐	☐	☐	☐	☐
b. Es gibt viele Orte in Deutschland und auf der Welt, an denen ich leben könnte.	☐	☐	☐	☐	☐
c. Ich mag es, meine Gegend zu erkunden und neue Orte zu entdecken.	☐	☐	☐	☐	☐
d. Es ist für mich wichtiger, wie ich lebe, als wo ich lebe.	☐	☐	☐	☐	☐
e. Ich kann mir nicht vorstellen, von hier wegzuziehen.	☐	☐	☐	☐	☐
f. Ich mache oft Fotos von verschiedenen Orten hier.	☐	☐	☐	☐	☐
g. Es würde mir nichts ausmachen, meinen Wohnort zu verlassen und woanders hinzuziehen.	☐	☐	☐	☐	☐
h. Von Zeit zu Zeit entdecke ich meine Gegend neu.	☐	☐	☐	☐	☐

i. Ich habe nie darüber nachgedacht, ob es nicht besser wäre, woanders zu leben.

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

5. Haben Sie vor in der nächsten Zeit **umzuziehen**?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja, warum?

6. Für wie empfindlich halten Sie sich gegenüber...

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich	sehr
...Gerüchen	☐	☐	☐	☐	☐
...Stress allgemein	☐	☐	☐	☐	☐
...Wetter	☐	☐	☐	☐	☐
...Lärm	☐	☐	☐	☐	☐

Wahrnehmung des Flughafens und nächtlicher Fluggeräusche

7. Bitte geben Sie an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen zustimmen:

	nicht	wenig	mittelmäßig	ziemlich
Der Flughafen fördert die Weiterentwicklung der Region.	☐	☐	☐	☐
Durch den Flughafenbetrieb kommt es zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke.	☐	☐	☐	☐
Durch den Flughafenbetrieb entstehen neue Arbeitsplätze in der Region.	☐	☐	☐	☐

8. Wenn Sie einmal an die **letzten 12 Monate** hier bei Ihnen denken, wie stark haben Sie sich **in der Nacht** durch Lärm **insgesamt** und durch den Lärm von **folgenden Quellen** gestört oder belästigt gefühlt?

Hinweis: Falls Sie weniger als 12 Monate an Ihrer jetzigen Wohnadresse wohnen, denken Sie bitte an die Zeit seitdem Sie hier wohnen.

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
Nächtlicher Lärm insgesamt	☐	☐	☐	☐	☐
Nächtlicher Straßenverkehr	☐	☐	☐	☐	☐

Nächtlicher Schienenverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Nächtlicher Flugverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Weitere Quellen, und zwar:	☐	☐	☐	☐	☐

9. Bitte geben Sie an, in welchem Maße Sie von folgenden Auswirkungen des Fluglärms betroffen sind.

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	☐	☐	☐	☐	☐
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	☐	☐	☐	☐	☐
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	☐	☐	☐	☐	☐

10. Wie stark hat Sie **nächtlicher Fluglärm** in den **letzten 12 Monaten** in den folgenden **Situationen** insgesamt gestört?

Hinweis: Falls Sie weniger als 12 Monate an Ihrer jetzigen Wohnadresse wohnen, denken Sie bitte an die Zeit seitdem Sie hier wohnen.

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
Beim Einschlafen	☐	☐	☐	☐	☐
Während des Nachtschlafs	☐	☐	☐	☐	☐
Beim Aufschlafen	☐	☐	☐	☐	☐

11. Wenn Sie einmal an die **letzten 4 Wochen** hier bei Ihnen denken: Sind Sie während des Nachtschlafs wegen des Fluglärms aufgewacht?

☐ ja ☐ nein

Wenn ja: wie oft sind Sie durchschnittlich pro Nacht in den letzten 4 Wochen nachts wach geworden? _____

12. Wie sehr haben Sie sich in den **letzten 4 Wochen** von den folgenden Aspekten des nächtlichen Fluglärms gestört oder belästigt gefühlt?

	überhaupt nicht	etwas	mittelmäßig	stark	äußerst
Plötzliches Auftreten	☐	☐	☐	☐	☐

Bodengeräusche bei Start/Landung	☐	☐	☐	☐	☐
Dauer des Fluggeräuschs beim Vorbei-/Überflug	☐	☐	☐	☐	☐
Tieftönendes Brummen	☐	☐	☐	☐	☐
Andere, und zwar: <u>(Freifeld)</u>	☐	☐	☐	☐	☐

13. Bitte geben Sie an, inwieweit Sie den folgenden Aussagen in Bezug auf nächtlichen Fluglärm zustimmen.

	nicht	wenig	mittel- mäßig	ziemlich
Ich kann mich gegen nächtlichen Fluglärm ganz gut schützen.	☐	☐	☐	☐
Wenn es mir zu laut wird, mache ich einfach die Fenster zu und dann stört mich der nächtliche Fluglärm nicht mehr.	☐	☐	☐	☐
Manchmal fühle ich mich dem nächtlichen Fluglärm richtig ausgeliefert.	☐	☐	☐	☐
Den nächtlichen Fluglärm höre ich schon gar nicht mehr.	☐	☐	☐	☐
Wenn der nächtliche Fluglärm sehr laut wird, schalte ich einfach ab.	☐	☐	☐	☐
Ich habe mich damit abgefunden, dass der nächtliche Fluglärm nun mal da ist.	☐	☐	☐	☐

14. Wie sehr bemühen sich die unten genannten Stellen Ihrer Ansicht nach darum, die Belästigung und Störungen durch nächtlichen Fluglärm hier bei Ihnen zu vermindern?

	nicht	wenig	mittel- mäßig	ziemlich
Flugzeughersteller bemühen sich...	☐	☐	☐	☐
Fluglinien / Fluggesellschaften bemühen sich...	☐	☐	☐	☐
Flughafenbetreiber bemühen sich...	☐	☐	☐	☐
Kommunale Behörden bemühen sich...	☐	☐	☐	☐
Das Bundesland bemüht sich...	☐	☐	☐	☐

15. Die folgende Frage bezieht sich auf Entscheidungsprozesse zum Fluglärm am Flughafen und auf Verantwortliche bei der Landesregierung, den Kommunen und beim Flughafen.

Fühlen Sie sich im Hinblick auf den nächtlichen Fluglärm eher fair oder unfair behandelt?

☐ eher fair ☐ eher unfair ☐ weder noch ☐ weiß nicht

Wenn Sie sich eher fair behandelt fühlen: worin zeigt sich Ihrer Meinung nach die faire Behandlung?

Wenn Sie sich eher unfair behandelt fühlen: was müsste geschehen, damit Sie sich im Hinblick auf den nächtlichen Fluglärm fair behandelt fühlen?

Inanspruchnahme und Nutzung baulicher Schallschutzmaßnahmen

16. Haben Sie Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen wegen des Fluglärms?

☐ ja ☐ nein (weiter mit 17.) ☐ weiß nicht (weiter mit 17.)

Wenn Sie Anspruch auf bauliche Schallschutzmaßnahmen haben:

16.1. Auf welche baulichen Schallschutzmaßnahmen haben Sie Anspruch?

- ☐ Schallschutzfenster
☐ Lüfter
☐ Dach- / Gebäudedämmung
☐ weitere, und zwar _____

16.2. Haben Sie diese baulichen Schallschutzmaßnahmen bereits beantragt?

☐ ja ☐ nein

Wenn nein, warum nicht? (weiter mit 17.)

16.3. Wenn Sie die baulichen Schallschutzmaßnahmen bereits beantragt haben, wie zufrieden waren Sie mit dem Ablauf des Beantragungsprozesses?

	nicht	wenig	mittel- mäßig	ziemlich	sehr
Zufriedenheit Ablauf Beantragungsprozess	☐	☐	☐	☐	☐

16.4. Bitte beschreiben Sie Ihre Erfahrungen mit dem Beantragungsprozess kurz und stichpunktartig:

16.5. Würden Sie den Ablauf bzw. den Prozess der Beantragung ändern wollen?

☐ ja

☐ nein (weiter mit 17.)

Wenn ja, wie?

16.6. Wurde Ihr Antrag auf bauliche Schallschutzmaßnahmen genehmigt?

☐ ja

☐ nein (weiter mit 17.)

16.7. Sind die baulichen Schallschutzmaßnahmen bereits umgesetzt?

☐ ja

☐ nein

17. Was sollte Ihrer Meinung nach dafür ausschlaggebend sein, ob ein Haushalt Anspruch auf baulichen Schallschutz gegen Fluggeräusche für die Schlafräume hat? Bitte geben Sie an, inwiefern Sie den folgenden Aussagen zustimmen.

	nicht	wenig	mittel- mäßig	ziemlich	sehr
1) Je höher der Geräuschpegel der überfliegenden Flugzeuge ist, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen.	☐	☐	☐	☐	☐
2) Je geringer die Entfernung des Wohnhauses zum Flughafen ist, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen.	☐	☐	☐	☐	☐
3) Je häufiger das Wohnhaus von Flugzeugen überflogen wird, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen.	☐	☐	☐	☐	☐
4) Je häufiger Hausbewohnende durch nächtliche Überflüge aufwachen, desto eher sollte ein Anspruch auf nächtlichen Schallschutz bestehen.	☐	☐	☐	☐	☐

18. Welcher der in der vorherigen Frage genannten Aspekte ist Ihrer Meinung nach am wichtigsten zur Bewilligung von baulichem Schallschutz gegen Fluglärm in den Schlafräumen?

Aspekt mit der Nummer: _____

19. Haben Sie selbst Schallschutzmaßnahmen getroffen und finanziert?

☐ ja

☐ nein

Wenn ja: welche?

20. Wenn Sie bauliche Schallschutzmaßnahmen für Ihre Schlafräume haben: Wie zufrieden sind Sie mit den bisherigen Schallschutzmaßnahmen **insgesamt und im Einzelnen**?

	nicht	wenig	mittel- mäßig	ziemlich	sehr
insgesamt	☐	☐	☐	☐	☐
Schallschutzfenster	☐	☐	☐	☐	☐
Lüfter	☐	☐	☐	☐	☐
Dach-/ Gebäudedämmung	☐	☐	☐	☐	☐
Andere, und zwar:					
(Freifeld)	☐	☐	☐	☐	☐

Können Sie Ihre Einschätzung kurz erläutern?

Angaben zur Wohnung/ zum Haus

21. Seit **wann** wohnen Sie in Ihrer jetzigen Wohnung/ Ihrem jetzigen Haus?

Monat _____

Jahr _____

Sind Sie bzw. jemand aus Ihrem Haushalt **Eigentümer*in** Ihrer Wohnung bzw. Ihres Hauses oder wohnen Sie zur **Miete**?

☐ Eigentümer*in

☐ Mieter*in

22. In welcher **Art von Gebäude** wohnen Sie?

☐ freistehenden Einfamilienhaus

☐ Reihenendhaus

☐ Reihemittelhaus

☐ Doppelhaushälfte

☐ Wohnung in einem mehrstöckigen Mehrfamilienhaus, Etage _____

23. Haben Sie Ihr Fenster **nachts** in Ihrem **Schlafzimmer** in **warmen** Jahreszeiten überwiegend ...

☐ geschlossen

☐ gekippt

☐ geöffnet

24. Haben Sie Ihr Fenster **nachts** in Ihrem **Schlafzimmer** in **kalten** Jahreszeiten überwiegend ...

☐ geschlossen

☐ gekippt

☐ geöffnet

25. Expecten Sie in kommender Zeit Veränderungen des Flugverkehrs bei Ihnen?

☐ ja

☐ nein (weiter mit 28.)

26. Welche Veränderungen erwarten Sie?

27. Wird Ihre Wohnsituation in kommender Zeit aufgrund von Veränderungen des Flugverkehrs alles in allem genommen annähernd gleichbleiben, sich verbessern oder sich verschlechtern?

☐ gleichbleiben

☐ verbessern

☐ verschlechtern

Angaben zur Person

28. In welchem **Jahr** sind Sie geboren? _____ (Jahr)

29. Welches **Geschlecht** haben Sie:

☐ männlich

☐ weiblich

☐ divers

30. Wie viele **Personen** leben ständig in Ihrem Haushalt, Sie selbst mitgerechnet?
Zählen Sie dabei bitte auch Kinder mit.

_____ Personen insgesamt,
davon:

_____ unter 14 Jahre (Kinder)

_____ von 14 bis unter 18 Jahre alt (Jugendliche)

_____ über 18 Jahre alt (Erwachsene)

Hinweis: Als Privathaushalt gelten Personen, die zusammenwohnen und wirtschaften, die in der Regel ihren Lebensunterhalt gemeinsam finanzieren beziehungsweise die Ausgaben für den Haushalt teilen. Mitglieder einer Wohngemeinschaft ohne gemeinsame Haushaltsführung gelten als eigenständige Privathaushalte. Geben Sie in dem Fall nur die Anzahl der Personen in Ihrer Wohngemeinschaft an, die mit Ihnen zusammenwohnen und wirtschaften.

31. Welchen **Schulabschluss** haben Sie? (Nennen Sie bitte nur den höchsten Abschluss.)

- ☐ Hauptschul-/Volksschulabschluss oder gleichwertiger Abschluss
- ☐ Realschulabschluss/Mittlere Reife oder gleichwertiger Abschluss
- ☐ Abschluss der Polytechnischen Oberschule
- ☐ Fachhochschulreife, Abschluss Fachoberschule
- ☐ Abitur
- ☐ anderer Schulabschluss
- ☐ Schule beendet ohne Abschluss
- ☐ noch keinen Schulabschluss

32. Haben Sie eine abgeschlossene **Berufsausbildung**? Wenn ja, welche?
(Nennen Sie bitte nur den höchsten Abschluss)

- ☐ beruflich-betriebl. Berufsausbildung (Lehre)
- ☐ beruflich-schulische Ausbildung (Berufsfachschule/Handelsschule)
- ☐ Ausbildung an einer Fachschule
- ☐ Fachhochschulabschluss, Ingenieurschule
- ☐ Universitäts- oder Hochschulabschluss
- ☐ anderer Berufsschulabschluss

- ☐ kein Berufsschulabschluss
- ☐ noch in beruflicher Ausbildung

33. Sind Sie...

- ☐ berufstätig
- ☐ In einer beruflichen Ausbildung/Lehre oder Umschulung
- ☐ Schüler/in oder Studierende/r
- ☐ In Pension/Rente, Altersteilzeit (in Freistellungsphase befindlich)
- ☐ zurzeit nicht erwerbstätig (arbeitslos, Vorruhestandler/-innen)
- ☐ Noch nie erwerbstätig gewesen
- ☐ Hausmann/-frau

Sonstiges, und zwar _____

34. Welche **berufliche Position** nehmen Sie gegenwärtig ein?

Wenn Sie nicht mehr oder gegenwärtig nicht berufstätig sind, geben Sie bitte Ihre letzte Position an.

Arbeiter/in

- ☐ ungelernter Arbeiter/in;
- ☐ Angelernter oder gelernter Arbeiter/in
- ☐ Facharbeiter/in
- ☐ Vorarbeiter/in
- ☐ Meister

Angestellte/r

- ☐ mit ausführender Tätigkeit nach allgemeiner Anweisung (z. B. Verkäufer/-in, Datentypist/-in, Sekretariatsassistent/-in, Pflegehelfer/-in)
- ☐ mit einer qualifizierten Tätigkeit, die ich nach Anweisung erledige (z. B. Sachbearbeiter/-in, Buchhalter/-in, technische(r) Zeichner/-in), angestellter Industrie-/Werkmeister
- ☐ mit eigenständiger Leistung in verantwortlicher Tätigkeit bzw. mit Fachverantwortung für Personal (z. B. wissenschaftliche(r) Mitarbeiter/-in, Prokurist/-in, Abteilungsleiter/-in bzw. Meister/-in im Angestelltenverhältnis)
- ☐ mit umfassenden Führungsaufgaben und Entscheidungsbefugnissen (z. B. Direktor/-in, Geschäftsführer/-in, Mitglied des Vorstandes)

Selbständige/r

- ☐ selbständige/r Landwirt/in oder Genossenschaftsbauer/in
- ☐ Freiberuflich, selbständige/r Akademiker/in
- ☐ sonstiger Selbständige/r mit bis zu 9 Mitarbeitern/innen oder Partnern/innen
- ☐ sonstiger Selbständiger mit 10 und mehr Mitarbeitern/innen oder Partnern/innen
- ☐ mithelfender Familienangehöriger

Beamter/Beamtin

- ☐ einfacher Dienst
- ☐ mittlerer Dienst
- ☐ gehobener Dienst
- ☐ höherer Dienst

- ☐ weiß nicht
- ☐ keine Angabe

35. Damit wir in unserer Studie die Angaben aus verschiedenen **Einkommensgruppen** vergleichen können, würde es uns sehr helfen, wenn Sie uns sagen, in welche Gruppe das monatliche Nettoeinkommen Ihres Haushaltes gehört? Ist es ...

Zum Nettoeinkommen zählt in Summe das Einkommen aller Haushaltsmitglieder, die gemeinsam einen Privathaushalt bilden, d.h. zusammenwohnen und wirtschaften, nach Abzug von Steuern und Sozialabgaben (einschließlich Erziehungsgeld, Kindergeld, Beihilfen, sonstige Einkünfte).

- ☐ bis unter 1250 €
- ☐ 1250 bis unter 1750
- ☐ 1750 bis unter 2250
- ☐ 2250 bis unter 3000
- ☐ 3000 bis unter 4000
- ☐ 4000 bis unter 5000
- ☐ 5000 € und mehr
- ☐ weiß nicht
- ☐ keine Angabe

36. Sollten Sie noch weitere Anmerkungen zum Thema nächtlichen Fluglärm und Schallschutzmaßnahmen haben, können Sie uns diese hier gerne mitteilen.

Vielen Dank für Ihre Beantwortung!

B Ergebnisse der Befragung der Akteur*innen

B.1 Vorhandene bauliche Schallschutzmaßnahmen

Tabelle 45: Übersicht über gesetzliche und freiwillige bauliche Schallschutzmaßnahmen

Variablen	Ausprägung	Flughafen Köln/Bonn	Flughafen Leipzig/Halle	Flughafen Frankfurt (Kommune)	Flughafen Frankfurt (Genehmigungsbehörde)
Anzahl Haushalte, die Anspruch haben	Schallschutzfenster	23.873		17.000	Abhängig vom Berechnungsergebnis
	Lüfter	23.873		17.000	81.500 NSZ + 12.500 TSZ1 = 94.000 gesamt
	Sonstige				Abhängig vom Berechnungsergebnis
Anzahl bislang eingegangener Anträge	Schallschutzfenster	7.403		12.709 (bis 31.12.2021)	
	Lüfter	7.403		12.709 (bis 31.12.2021)	
	Sonstige: Allgemein				14.800 NSZ + 8.900 TSZ1 = 23.700 gesamt
Anzahl bislang genehmigter Anträge	Schallschutzfenster	100%		10.902 (bis 31.12.2021)	
	Lüfter	100%		10.902 (bis 31.12.2021)	
	Sonstige: Allgemein				3.500 NSZ + 4.000 TSZ1 = 7.500 gesamt
Ansprüche über FluLärmG hinaus	Schallschutzfenster	x			x
	Lüfter	x			x
	Sonstige				x (Haustüren, Klimaanlage, Lüfter mit Wärmerückgewinnung, Dachdämmungen, Fassadendämmungen, Wintergärten)
Anzahl Haushalte, die diese beantragen können	Schallschutzfenster	28.643			
	Lüfter	28.643			
	Sonstige: Allgemein				20.200
Anzahl bislang eingegangener Anträge	Schallschutzfenster	7.664			
	Lüfter	7.664			
	Sonstige: Allgemein				7.600 (unabhängig davon, ob antragsberechtigt oder nicht)
Anzahl bislang genehmigter Anträge	Schallschutzfenster	100%			
	Lüfter	100%			
	Sonstige: Allgemein				6.700 (nur Antragsberechtigte)

NSZ=Nachtschutzzone; TSZ1=Tagesschutzzone 1

B.2 Akzeptanz der Bevölkerung

Die folgenden Fragen befassten sich mit etwaigen Rückmeldungen zu den Gebietsabgrenzungskriterien und den Schallschutzmaßnahmen aus der Bevölkerung sowie mit der Relevanz des Flugverkehrs in der Nacht (22:00-06:00 Uhr; inkl. Ausnahmegenehmigungen) bzw. in den Randstunden bei Beschwerden. Anzumerken ist, dass nicht jede*r befragte*r Akteur*in Rückmeldungen aus der Bevölkerung erhalten hat. Tabelle 46 zeigt die Ergebnisse zu den Rückmeldungen aus der Bevölkerung zum jeweiligen nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterium.

Tabelle 46: Rückmeldungen aus der Bevölkerung zum nachfluglärm-bezogenen Gebietsabgrenzungskriterium

Rückmeldungen	FluLärmG	FNI	Leipzig/Halle Kriterium	Insgesamt
Überwiegend positiv	1		1	2
Überwiegend negativ	1			1
Etwa zu gleichen Teilen positiv und negativ		2		2
Keine Rückmeldungen	2	1		3
Keine Angabe		1	1	2

FluLärmG=Fluglärmgesetz, FNI=Frankfurter Nachtindex

In Tabelle 47 sind die Ergebnisse zu den Rückmeldungen aus der Bevölkerung zu den Schallschutzmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 47: Rückmeldungen aus der Bevölkerung zu den Schallschutzmaßnahmen*

Rückmeldungen	Insgesamt
Überwiegend positiv	2
Überwiegend negativ	2
Etwa zu gleichen Teilen positiv und negativ	1
Keine Rückmeldungen	
Keine Angabe	1

*Hierzu wurden die bundesweiten Akteur*innen nicht befragt.

An den Flughäfen Leipzig/Halle und Köln/Bonn waren die meisten Beschwerden laut den Teilnehmenden auf den nächtlichen Flugverkehr zurückzuführen. Beim Flughafen Frankfurt/Main bezog sich der Großteil der Beschwerden ebenfalls auf nächtlichen Flugverkehr (z. B. verspätete Flüge) und den Flugverkehr in den Randstunden.

B.3 Veränderungen im Flugverkehr

Weiterhin wurde nach Covid-19 Pandemie-bezogenen und zukünftig erwarteten Veränderungen im Flugverkehr und bei Beschwerden gefragt. Laut sechs Teilnehmenden gab es im Vergleich zwischen den Rückmeldungen bzw. Beschwerden von Anwohnenden vor der Covid-19 Pandemie und heute Veränderungen: In Leipzig/Halle sei die Anzahl der Beschwerden aufgrund des erhöhten bzw. steigenden Nachtflugverkehrs gestiegen. Laut einem Teilnehmenden für den Flughafen Frankfurt/Main sei die Anzahl der Beschwerden gesunken; andere berichteten von einem erhöhten Beschwerdeaufkommen nach der Covid-19-Pandemie und dem wieder vermehrt aufkommendem Flugverkehr. Drei Teilnehmende gaben an, dass es keine Veränderungen bei Rückmeldungen bzw. Beschwerden gegeben habe (beide Teilnehmende für den Flughafen Köln/Bonn).

Auf die Frage nach Veränderungen im Nachtflugverkehr seit der Covid-19-Pandemie antworteten die beiden Teilnehmenden für Leipzig/Halle, dass es seitdem mehr Frachtflugverkehr gäbe. Anders schätzte dies eine teilnehmende Person für Köln/Bonn ein: Hier habe es keine Veränderungen gegeben. In Frankfurt/Main habe es „pandemiebedingt eine Abnahme im Passagierverkehr und eine Zunahme im Fracht[flug]verkehr“ gegeben; insgesamt sollen weniger Flugzeuge operiert haben und ältere Modelle vorzeitig ausgemustert worden seien. Eine andere teilnehmende Person berichtete für den Flughafen Frankfurt/Main, dass es insbesondere im Jahr 2022 zu mehr Verspätungsflügen gekommen sei und sich aufgrund dessen das „Verhältnis von Tag- zu Nachtflügen zu Lasten der Nacht verschoben“ habe. Laut eines bundesweiten Akteurs habe es am Flughafen Frankfurt „während der Pandemie keine signifikante Änderung des nächtlichen Frachtflugverkehrs, in Köln einen moderaten und in Leipzig einen deutlichen Zuwachs“ gegeben. Der nächtliche Passagierverkehr läge aber noch unter dem Niveau von 2019.

Drei Teilnehmende erwarten auch zukünftig Veränderungen im Nachtflugverkehr und eine Teilnehmende macht die Antwort auf die Frage abhängig vom zeitlichen Horizont. In Leipzig/Halle wird mit einer Steigerung des Frachtflugverkehrs in Zukunft gerechnet, auch „in Verbindung mit der geplanten Erweiterung des Vorfeldes“. In Frankfurt scheint es zukünftig laut Teilnehmenden vermehrt zu Verspätungsflügen zu kommen, die in den nächtlichen Zeitraum fallen würden. Zwei Teilnehmende gehen von einer Zunahme des Flugverkehrs aus.

C Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung

C.1 Sensitivitätsanalysen für Subgruppenunterschiede

C.1.1 Vergleich der deskriptiven Statistiken zwischen verschiedenen Subgruppen

Um etwaige Unterschiede zwischen den beiden Flughäfen zu identifizieren, wurde jeweils eine Subgruppe mit Personen aus der Flughafenregion Köln/Bonn und eine Subgruppe mit Personen aus der Flughafenregion Leipzig/Halle gebildet. Weiterhin bot sich ein Vergleich zwischen Personen an, die bauliche Schallschutzmaßnahmen in den Schlafräumen haben, und Personen, die diese nicht haben. Da die Tätigkeit des Fensterschließens bei Nacht auch als eine Lärmbewältigungsstrategie verstanden werden kann, wurden zwei weitere Subgruppen gebildet von Personen, die bei offenem Fenster, und Personen, die bei geschlossenem Fenster schlafen.

Tabelle 48 zeigt den Vergleich der deskriptiven Statistiken zwischen den Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle. Das Durchschnittsalter war in der Subgruppe des Flughafens Leipzig/Halle etwa 4 Jahre höher als in der Subgruppe des Flughafens Köln/Bonn. Hingegen wohnten die Teilnehmenden aus dem Gebiet um den Flughafen Leipzig/Halle im Durchschnitt ca. 9 Jahre länger am aktuellen Wohnort. Die Zufriedenheit mit der Wohnumgebung sowie mit der Wohnung bzw. dem Haus fielen im Durchschnitt in der Subgruppe Köln/Bonn etwas höher aus. Weiterhin berichteten die Teilnehmenden aus Leipzig/Halle durchschnittlich mehr Schlafstörungen (z. B. Durchschlafstörungen $M = 3,41$; $SD = 1,40$) und eine geringere Zufriedenheit mit den baulichen Schallschutzmaßnahmen ($M = 2,76$; $SD = 1,08$) als Teilnehmende aus Köln/Bonn ($M = 2,87$; $SD = 1,48$ und $M = 3,20$; $SD = 1,24$).

Tabelle 48: Deskriptive Statistiken separat für die Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle (n=74-252)

Variable	Köln/Bonn N	Köln/Bonn M	Köln/Bonn SD	Leipzig/Halle N	Leipzig/Halle M	Leipzig/Halle SD
Alter	193	55,09	16,62	248	59,31	14,79
Wohndauer	187	18,54	15,63	240	27,88	17,77
Zufriedenheit mit Wohnumgebung	185	4,10	0,77	246	3,34	1,10
Zufriedenheit mit Wohnung/Haus	194	4,28	0,78	248	3,92	1,04
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	194	3,88	1,07	251	4,16	1,03
Durch den Flughafenbetrieb kommt es zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke.	193	3,48	1,22	250	4,21	1,10
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	192	2,06	1,30	248	2,50	1,35
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	195	2,57	1,46	252	3,18	1,46

Variable	Köln/Bonn	Köln/Bonn	Köln/Bonn	Leipzig/Halle	Leipzig/Halle	Leipzig/Halle
	N	M	SD	N	M	SD
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	190	1,74	1,16	248	2,44	1,35
Einschlafstörungen	192	2,61	1,47	251	3,27	1,37
Durchschlafstörungen	194	2,87	1,48	252	3,41	1,40
Ausschlafstörungen	192	2,36	1,35	247	3,08	1,48
Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen insgesamt	74	3,20	1,24	146	2,76	1,08

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Um etwaige Unterschiede zwischen den Teilnehmenden mit und ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen und die Auswirkungen des Vorhandenseins von baulichen Schallschutzmaßnahmen auf die Schlafstörungen zu untersuchen, sind in Tabelle 49 die deskriptiven Statistiken separat für diese beiden Subgruppen dargestellt. Auffallend ist, dass Teilnehmende, die bauliche Schallschutzmaßnahmen haben, etwas häufiger über Schlafstörungen berichteten (z. B. Durchschlafstörungen $M = 3,55$; $SD = 1,29$) als Teilnehmende ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen ($M = 2,90$; $SD = 1,52$). Von den insgesamt 189 Teilnehmenden, die bauliche Schallschutzmaßnahmen haben, wohnen 82 % im Eigentum und von den insgesamt 260 Teilnehmenden, die keine baulichen Schallschutzmaßnahmen haben, wohnen 61 % im Eigentum.

Tabelle 49: Deskriptive Statistiken separat für die Subgruppen mit und ohne Schallschutz (n=57-259)

Variable	Schallschutz	Schallschutz	Schallschutz	Kein Schallschutz	Kein Schallschutz	Kein Schallschutz
	N	M	SD	N	M	SD
Alter	186	58,08	15,15	255	57,02	16,17
Wohndauer	182	28,87	18,36	245	20,01	15,80
Zufriedenheit mit Wohnumgebung	179	3,37	1,10	252	3,88	0,95
Zufriedenheit mit Wohnung/Haus	187	3,97	1,04	255	4,16	0,87
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	187	4,16	1,05	258	3,95	1,05
Durch den Flughafenbetrieb kommt es zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke.	189	4,25	1,06	254	3,63	1,24
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	185	2,57	1,30	255	2,11	1,34
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	188	3,26	1,40	259	2,66	1,51

Variable	Schall- schutz N	Schall- schutz M	Schall- schutz SD	Kein Schall- schutz N	Kein Schall- schutz M	Kein Schall- schutz SD
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	184	2,49	1,36	254	1,87	1,23
Einschlafstörungen	187	3,26	1,36	256	2,78	1,49
Durchschlafstörungen	188	3,55	1,29	258	2,90	1,52
Ausschlafstörungen	182	3,14	1,33	257	2,51	1,51
Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen insgesamt	163	2,98	1,11	57	2,72	1,26

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Teilnehmende, die mit geöffnetem Fenster schlafen, waren etwas weniger lärmempfindlich ($M = 3,95$; $SD = 1,07$) als Teilnehmende, die bei geschlossenem Fenster schlafen ($M = 4,20$; $SD = 0,99$), wobei der Unterschied sehr gering ausfällt (Tabelle 50). Darüber hinaus berichteten Teilnehmende, die bei geschlossenem Fenster schlafen, über mehr Schlafstörungen als Teilnehmende, die bei geöffnetem Fenster schlafen. Eine Erklärung könnte sein, dass das Fensterschließen bereits eine Lärmbewältigungsstrategie darstellt und Personen, die sich gezwungen sehen bei geschlossenem Fenster zu schlafen, insgesamt mehr schlafgestört sind.

Tabelle 50: Deskriptive Statistiken separat für geöffnete und geschlossene Fensterstellung (n=88-295)

Variable	Fenster ge- öffnet N	Fenster ge- öffnet M	Fenster ge- öffnet SD	Fenster ge- schlossen N	Fenster ge- schlossen M	Fenster ge- schlossen SD
Alter	292	56,77	15,51	144	58,52	16,26
Wohndauer	283	23,81	16,93	141	23,96	18,68
Zufriedenheit mit Wohnumgebung	287	3,80	0,95	139	3,39	1,14
Zufriedenheit mit Wohnung/Haus	294	4,16	0,90	142	3,92	1,02
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	295	3,95	1,07	143	4,20	0,99
Durch den Flughafenbetrieb kommt es zu einer Wertminderung der Häuser und Grundstücke.	294	3,73	1,25	143	4,23	1,01
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	290	2,13	1,32	143	2,70	1,30
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	296	2,69	1,48	144	3,41	1,39
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	290	1,92	1,22	141	2,60	1,42

Variable	Fenster ge- öffnet N	Fenster ge- öffnet M	Fenster ge- öffnet SD	Fenster ge- schlossen N	Fenster ge- schlossen M	Fenster ge- schlossen SD
Einschlafstörungen	293	2,83	1,49	143	3,32	1,32
Durchschlafstörungen	294	3,03	1,51	145	3,49	1,30
Ausschlafstörungen	291	2,63	1,47	141	3,06	1,43
Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen insgesamt	128	2,94	1,25	88	2,89	1,00

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

C.1.2 Kovarianzanalysen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf Ausschlafstörungen

Um etwaige Unterschiede zwischen den verschiedenen Subgruppen (siehe Abschnitt C.1.1) in Bezug auf die Schlafstörungen zu identifizieren, wurden sogenannte Kovarianzanalysen gerechnet. Anhand von Kovarianzanalysen können statistisch signifikante Unterschiede zwischen zwei Gruppen ermittelt werden und gleichzeitig für eine Kovariate kontrolliert werden. Somit wird ausgeschlossen, dass ein etwaiger Unterschied zwischen den beiden Gruppen auf die Kovariate zurückzuführen ist. Als abhängige Variable wurde die Schlafstörungsvariable Ausschlafen gewählt. Die akustische Kenngröße $L_{Aeq,Nacht}$ wurde als Kovariate in den Kovarianzanalysen berücksichtigt.

In der vorliegenden Studie wurden die folgenden Gruppen auf etwaige Unterschiede bezüglich der Ausschlafstörungen bei gleichem $L_{Aeq,Nacht}$ untersucht (siehe auch Tabelle 51):

1. Flughafen: 1) Köln/Bonn und 2) Leipzig/Halle;
2. Schallschutz: 1) vorhanden oder 2) nicht vorhanden;
3. Fensterstellung: 1) nachts geöffnet oder 2) nachts geschlossen.

Tabelle 51: Übersicht ANCOVAs

ANCOVA	Faktor	Abhängige Variable	Kovariate
1	Flughafen	Ausschlafen	$L_{Aeq,Nacht}$
2	Schallschutz	Ausschlafen	$L_{Aeq,Nacht}$
3	Fensterstellung	Ausschlafen	$L_{Aeq,Nacht}$

Tabelle 52 gibt eine Übersicht über die Ergebnisse der gerechneten Kovarianzanalysen. Es zeigte sich, dass sich der Grad der Ausschlafstörungen zwischen den verschiedenen Subgruppen signifikant unterscheidet. Anhand der post-hoc Vergleiche lässt sich beispielsweise erkennen, dass Teilnehmende, die um den Flughafen Köln/Bonn leben, im Durchschnitt signifikant geringere Ausschlafstörungen bei gleichem $L_{Aeq,Nacht}$ angaben als Teilnehmende, die um den Flughafen Leipzig/Halle leben (Tabelle 53). Weiterhin scheinen Teilnehmende mit baulichen Schallschutzmaßnahmen von durchschnittlich höheren Ausschlafstörungen zu berichten als Teilnehmende ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen (Tabelle 54). Dies kann daran liegen, dass Personen mit einer höheren Lärmbelastung eher bauliche Schallschutzmaßnahmen in Anspruch nehmen bzw.

selbst finanzieren. Die Ausschlafstörungen unterscheiden sich zudem signifikant zwischen Teilnehmenden, die bei geöffnetem und geschlossenem Fenster schlafen: Teilnehmende, die bei geschlossenem Fenster schlafen, gaben im Durchschnitt höhere Ausschlafstörungen an als Teilnehmende, die bei geöffnetem Fenster schlafen (Tabelle 55), was auf das Fensterschließen als Lärmbewältigungsmaßnahme schließen lässt.

Tabelle 52: Tests der Zwischensubjekteffekte

ANCOVA	F-Verteilung	F	p	Partielles η^2
1	F(1,436)	9,495	0,002	0,021
2	F(1,436)	8,338	0,004	0,019
3	F(1,429)	5,331	0,021	0,012

F = F-Wert, p = Signifikanzniveau.

Tabelle 53: Paarweise Vergleiche – ANCOVA 1

(I) Flughafen	(J) Flughafen	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall für Differenzb	
					Untergrenze	Obergrenze
Köln/Bonn	Leipzig/Halle	-0,462	0,150	0,002	-0,756	-0,167
Leipzig/Halle	Köln/Bonn	0,462	0,150	0,002	0,167	0,756

df = Freiheitsgrade, Sig = Signifikanzniveau.

Tabelle 54: Paarweise Vergleiche – ANCOVA 2

(I) Schallschutz vorhanden	(J) Schallschutz vorhanden	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall für Differenzb	
					Untergrenze	Obergrenze
Nein	Ja	-0,416	0,144	0,004	-0,699	-0,133
Ja	Nein	0,416	0,144	0,004	0,133	0,699

df = Freiheitsgrade, Sig = Signifikanzniveau.

Tabelle 55: Paarweise Vergleiche – ANCOVA 3

(I) Fensterstellung	(J) Fensterstellung	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall für Differenzb	
					Untergrenze	Obergrenze
Geschlossen	Geöffnet	0,336	0,145	0,021	0,050	0,622
Geöffnet	Geschlossen	-0,336	0,145	0,021	-0,622	-0,050

df = Freiheitsgrade, Sig = Signifikanzniveau.

C.1.3 Korrelationen zwischen den Variablen in den verschiedenen Subgruppen

Um etwaige Unterschiede zwischen den beiden Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle zu identifizieren, wurden separat für die beiden Flughäfen Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 56 und Tabelle 57 dargestellt. Auffallend ist, dass die Korrelationen für die Stichprobe Köln/Bonn wesentlich geringer ausfallen als die Korrelationen zwischen den Variablen in der Stichprobe Leipzig/Halle. Die Beziehung zwischen den akustischen Kenngrößen untereinander fällt weniger stark aus: Z. B. liegt die Korrelation zwischen AWR und $L_{Aeq,Nacht}$ in Köln/Bonn bei $r = 0,46$ ($p < 0,01$) und in Leipzig/Halle bei $r = 0,95$ ($p < 0,01$). Eine große Differenz liegt ebenfalls bei den Korrelationen zwischen z. B. den Ausschlafstörungen und den akustischen Kenngrößen vor (z. B. Ausschlafen und AWR: Köln/Bonn mit $r = 0,01$, $p > 0,05$; Leipzig/Halle mit $r = 0,26$, $p < 0,01$). Anhand von Fishers z (1925) lassen sich Unterschiede zwischen zwei Korrelationen auf ihre Signifikanz prüfen. Für die vorliegenden Daten wurden die Korrelationen zwischen Ausschlafen und den verschiedenen akustischen Kenngrößen der zwei Subgruppen (Flughafen Köln/Bonn und Flughafen Leipzig/Halle) miteinander verglichen und die Unterschiede auf Signifikanz geprüft (siehe Anhang C.3, Tabelle 66). So unterscheiden sich beispielsweise die Korrelationen zwischen Ausschlafen und den vier akustischen Kenngrößen signifikant zwischen den beiden Flughäfen (siehe Anhang C.3, Tabelle 66).

Tabelle 56: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe des Flughafens Köln/Bonn (n=192-196)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	-0,057	-0,098	-0,029	1	,562**	,460**	,706**
	N	192	194	192	196	196	196	196
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,012	-0,128	-0,036	,562**	1	-,456**	,958**
	N	192	194	192	196	196	196	196
AWR	Pearson-Korrelation	-0,080	0,040	0,013	,460**	-,456**	1	-,264**
	N	192	194	192	196	196	196	196
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	0,050	-0,079	-0,012	,706**	,958**	-,264**	1
	N	192	194	192	196	196	196	196

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 57: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe des Flughafens Leipzig/Halle (n=247-253)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,027	0,073	,248**	1	,967**	,951**	,994**
	N	251	252	247	253	253	253	253
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,042	0,073	,232**	,967**	1	,954**	,957**
	N	251	252	247	253	253	253	253
AWR	Pearson-Korrelation	0,058	0,083	,257**	,951**	,954**	1	,945**
	N	251	252	247	253	253	253	253
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	0,040	0,068	,240**	,994**	,957**	,945**	1
	N	251	252	247	253	253	253	253

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Um den Einfluss von vorhandenem Schallschutz auf die Beziehung zwischen den Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen zu untersuchen, wurden ebenfalls Korrelationen separat für Personen berechnet, die Schallschutz für die eigenen Schlafräume haben und für die, die keinen Schallschutz haben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 58 und Tabelle 59 dargestellt. Es fällt auf, dass die Korrelationen beispielsweise zwischen Ausschlafen und den akustischen Kenngrößen im Vergleich zur Gesamtstichprobe für die Subgruppe an Personen mit Schallschutz höher ausfallen (z. B. zwischen Ausschlafen und AWR: $r = 0,36$, $p < 0,01$; siehe Tabelle 58). Im Kontrast dazu sind die Korrelationen zwischen den Schlafstörungen und den akustischen Kenngrößen in der Subgruppe der Personen ohne Schallschutz alle nicht signifikant und mit einer Spanne zwischen $r = 0$ und $r = 0,12$ sehr klein. Die Korrelationen der beiden Subgruppen von Personen mit und Personen ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen wurden ebenfalls anhand Fishers z auf signifikante Unterschiede getestet (siehe Anhang C.3, Tabelle 67). Der Unterschied zwischen den Korrelationen der Variablen Ausschlafen und $L_{Aeq,Nacht}$ ist signifikant ($z = 2,55$, $p = ,011^*$). In der Subgruppe mit Personen mit Schallschutz liegt die Korrelation zwischen der Variable Ausschlafen und $L_{Amax6,Nacht,innen}$ bei 0,30 ($p < 0,01$) und bei der Subgruppe der Personen ohne Schallschutz bei 0,11 ($p > 0,05$). Dieser Unterschied ist ebenfalls signifikant ($z = 2,11$, $p = ,034^*$).

Tabelle 58: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe mit Schallschutz (n=182-189)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,090	0,114	,347**	1	,899**	,913**	,966**
	N	187	188	182	189	189	189	189
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,033	-0,006	,225**	,899**	1	,760**	,941**
	N	187	188	182	189	189	189	189
AWR	Pearson-Korrelation	0,120	,184*	,360**	,913**	,760**	1	,824**
	N	187	188	182	189	189	189	189
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	0,071	0,051	,302**	,966**	,941**	,824**	1
	N	187	188	182	189	189	189	189

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 59: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe ohne Schallschutz (n=256-260)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,innen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,030	-0,007	0,113	1	,912**	,911**	,964**
	N	256	258	257	260	260	260	260
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,044	-0,007	0,107	,912**	1	,734**	,963**
	N	256	258	257	260	260	260	260
AWR	Pearson-Korrelation	0,037	0,006	0,121	,911**	,734**	1	,796**
	N	256	258	257	260	260	260	260
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Pearson-Korrelation	0,055	0,000	0,105	,964**	,963**	,796**	1
	N	256	258	257	260	260	260	260

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Weiterhin wurden separate Korrelationsanalysen für die Subgruppen der Personen, die entweder bei geöffnetem oder geschlossenem Fenster schlafen, gerechnet. Die Wahl fiel auf die Fensterstellung in der warmen Jahreszeit, da zu dieser Jahreszeit insbesondere Personen dazu tendieren nur dann bei geschlossenen Fenstern zu schlafen, wenn sie sich durch Lärm im höheren Maße gestört fühlen (Schreckenbergs 2012). Tabelle 60 und Tabelle 61 zeigen die Ergebnisse. Auch hier unterscheiden sich die Korrelationen zwischen den beiden Subgruppen. In der Subgruppe, die bei geöffnetem Fenster schlafen, liegt beispielsweise die Korrelation zwischen der Variable Ausschlafen und $L_{Aeq,Nacht}$ bei 0,30 ($p < 0,01$) und bei der Subgruppe, die bei geschlossenen Fenstern schlafen bei 0,16 ($p > 0,05$). Eine ähnliche Tendenz findet sich bei den anderen Korrelationen. Die Signifikanzprüfung der Unterschiede zwischen den Korrelationen der beiden Subgruppen zeigt jedoch, dass diese Unterschiede nicht signifikant sind (siehe Anhang C.3, Tabelle 68).

Tabelle 60: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geöffnet“ (n=291-297)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,116*	0,103	0,302**	1	0,918**	0,914**	0,968**
	N	293	294	291	297	297	297	297
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,107	0,078	0,256**	0,918**	1	0,765**	0,960**
	N	293	294	291	297	297	297	297
AWR	Pearson-Korrelation	0,141*	0,147*	0,319**	0,914**	0,765**	1	0,821**
	N	293	294	291	297	297	297	297
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Pearson-Korrelation	0,116*	0,080	0,271**	0,968**	0,960**	0,821**	1
	N	293	294	291	297	297	297	297

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

**= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 61: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geschlossen“ (n=141-145)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,047	0,099	0,162	1	0,905**	0,914**	0,967**
	N	143	145	141	145	145	145	145

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,027	0,012	0,110	0,905**	1	0,751**	0,950**
	N	143	145	141	145	145	145	145
AWR	Pearson-Korrelation	0,038	0,111	0,154	0,914**	0,751**	1	0,814**
	N	143	145	141	145	145	145	145
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Pearson-Korrelation	0,059	0,072	0,147	0,967**	0,950**	0,814**	1
	N	143	145	141	145	145	145	145

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Insgesamt korreliert bei der Gesamtstichprobe sowie auch bei den meisten Subgruppen die Störungsvariable fürs Ausschlafen im Vergleich zum Ein- und Durchschlafen am besten mit den akustischen Kenngrößen. Erwähnenswert sind die im Vergleich zur Subgruppe für den Flughafen Leipzig/Halle sehr geringen Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen in der Subgruppe vom Flughafen Köln/Bonn. Zwischen diesen Variablen liegt in der Subgruppe Köln/Bonn keine Beziehung vor. Ebenfalls auffallend sind die teilweise weitaus geringeren Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen untereinander in der Subgruppe Flughafen Köln/Bonn. Ein möglicher Erklärungsansatz ist die relativ kleine Stichprobe für diese Subgruppe.

Für den Vergleich zwischen Personen mit baulichen Schallschutzmaßnahmen und ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen in den Schlafräumen zeigt sich, dass die Schlafstörungsvariablen und die akustischen Kenngrößen in der Subgruppe der Personen, die keinen Schallschutz haben, in keiner Beziehung zueinanderstehen bzw. die Korrelationen sehr gering ausfallen (Tabelle 59).

Wie zu erwarten erreichen die Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen in der Subgruppe der Personen, die bei geschlossenem Fenster schlafen, keine Signifikanz und sind insgesamt sehr gering.

C.2 Korrelationstabellen

Tabelle 62: Korrelationen zwischen den relevanten Variablen

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
1. Alter	0,526**	-0,020	-0,138**	-0,054	0,076	0,083	0,062	0,232**	-0,075	-0,147**	-0,140**	0,061	0,177**	-0,023	0,161**	0,031	0,142**	0,181**
2. Wohndauer	1	-0,183**	-0,226**	-0,070	-0,056	-0,021	-0,056	0,141**	0,021	-0,152**	-0,230**	0,019	0,195**	-0,041	0,140**	0,000	0,206**	0,182**
3. SWI	-0,183**	1	0,022	0,103*	0,104*	0,025	-0,007	0,119*	-0,058	0,131**	0,190**	-0,172**	-0,003	-0,184**	0,027	-0,061	-0,045	0,107*
4. Zufriedenh. Wohnumgebung	-0,226**	0,022	1	0,585**	-0,241**	-0,182**	-0,020	-0,375**	0,245**	0,225**	-0,086	0,229**	-0,403**	0,152**	-0,429**	-0,328**	-0,241**	-0,479**
5. Zufriedenh. Wohnung/Haus	-0,070	0,103*	0,585**	1	-0,107*	-0,133**	0,033	-0,159**	0,220**	0,174**	-0,072	0,135**	-0,177**	0,094	-0,212**	-0,188**	-0,115*	-0,223**
6. Empfindlichk. Gerüche	-0,056	0,104*	-0,241**	-0,107*	1	0,412**	0,256**	0,415**	-0,107*	0,004	0,125**	-0,117*	0,181**	-0,068	0,230**	0,171**	0,113*	0,243**
7. Empfindlichk. Stress	-0,021	0,025	-0,182**	-0,133**	0,412**	1	0,367**	0,442**	-0,025	0,049	0,083	-0,090	0,102*	-0,015	0,252**	0,221**	0,135**	0,256**
8. Empfindlichk. Wetter	-0,056	-0,007	-0,020	0,033	0,256**	0,367**	1	0,214**	-0,013	0,050	0,024	-0,042	0,035	0,042	0,051	0,076	0,066	0,005
9. Empfindlichk. Lärm	0,141**	0,119*	-0,375**	-0,159**	0,415**	0,442**	0,214**	1	-0,148**	-0,007	0,119*	-0,247**	0,483**	-0,231**	0,524**	0,270**	0,222**	0,662**
10. PA ¹ traditionell	0,021	-0,058	0,245**	0,220**	-0,107*	-0,025	-0,013	-0,148**	1	0,109*	-0,267**	0,095*	-0,114*	0,109*	-0,154**	-0,099*	-0,047	-0,107*
11. PA aktiv	-0,152**	0,131**	0,225**	0,174**	0,004	0,049	0,050	-0,007	0,109*	1	0,072	0,071	-0,088	0,061	-0,031	-0,120*	-0,104*	-0,057
12. PA nicht ortsgebunden	-0,230**	0,190**	-0,086	-0,072	0,125**	0,083	0,024	0,119*	-0,267**	0,072	1	-0,074	0,010	-0,029	0,111*	0,095*	-0,113*	0,053
13. Förderung Weiterentwickl.	0,019	-0,172**	0,229**	0,135**	-0,117*	-0,090	-0,042	-0,247**	0,095*	0,071	-0,074	1	-0,253**	0,721**	-0,304**	-0,145**	-0,036	-0,365**

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
14. Wertminderung	0,195**	-0,003	-0,403**	-0,177**	0,181**	0,102*	0,035	0,483**	-0,114*	-0,088	0,010	-0,253**	1	-0,263**	0,527**	0,232**	0,241**	0,672**
15. Neue Arbeitsplätze	-0,041	-0,184**	0,152**	0,094	-0,068	-0,015	0,042	-0,231**	0,109*	0,061	-0,029	0,721**	-0,263**	1	-0,309**	-0,122*	-0,109*	-0,372**
16. Nächtlicher Lärm insg.	0,140**	0,027	-0,429**	-0,212**	0,230**	0,252**	0,051	0,524**	-0,154**	-0,031	0,111*	-0,304**	0,527**	-0,309**	1	0,425**	0,321**	0,756**
17. Nächtlicher Straßenverkehr	0,000	-0,061	-0,328**	-0,188**	0,171**	0,221**	0,076	0,270**	-0,099*	-0,120*	0,095*	-0,145**	0,232**	-0,122*	0,425**	1	0,404**	0,367**
18. Nächtlicher Schienen-verkehr	0,206**	-0,045	-0,241**	-0,115*	0,113*	0,135**	0,066	0,222**	-0,047	-0,104*	-0,113*	-0,036	0,241**	-0,109*	0,321**	0,404**	1	0,300**
19. Nächtlicher Flugverkehr	0,182**	0,107*	-0,479**	-0,223**	0,243**	0,256**	0,005	0,662**	-0,107*	-0,057	0,053	-0,365**	0,672**	-0,372**	0,756**	0,367**	0,300**	1
20. Erschrecken	0,192**	0,013	-0,347**	-0,189**	0,250**	0,278**	0,062	0,468**	-0,101*	0,041	0,049	-0,374**	0,490**	-0,343**	0,604**	0,330**	0,295**	0,669**
21. Nervös und gereizt	0,187**	0,068	-0,473**	-0,244**	0,240**	0,330**	0,022	0,629**	-0,073	0,010	0,054	-0,416**	0,579**	-0,421**	0,688**	0,337**	0,288**	0,842**
22. Kopfschmerzen	0,128**	-0,032	-0,423**	-0,221**	0,220**	0,284**	0,018	0,443**	-0,063	-0,001	0,061	-0,389**	0,472**	-0,374**	0,523**	0,354**	0,265**	0,605**
23. Einschlafen	0,132**	0,065	-0,422**	-0,226**	0,194**	0,226**	-0,048	0,569**	-0,098*	-0,067	0,061	-0,366**	0,587**	-0,362**	0,633**	0,342**	0,267**	0,774**
24. Durchschlafen	0,154**	0,127*	-0,440**	-0,190**	0,207**	0,287**	0,001	0,571**	-0,098*	-0,044	0,067	-0,420**	0,588**	-0,410**	0,716**	0,346**	0,273**	0,868**
25. Ausschlafen	0,125*	0,008	-0,415**	-0,216**	0,204**	0,300**	0,018	0,574**	-0,096*	-0,054	0,049	-0,331**	0,531**	-0,289**	0,645**	0,394**	0,293**	0,721**
26. Plötzliches Auftreten	0,163**	0,072	-0,438**	-0,241**	0,205**	0,318**	0,045	0,541**	-0,072	0,006	0,058	-0,373**	0,539**	-0,343**	0,652**	0,275**	0,291**	0,740**
27. Boden-geräusche	0,186**	-0,162**	-0,368**	-0,256**	0,173**	0,228**	0,072	0,317**	-0,063	-0,085	0,048	-0,132**	0,365**	-0,099*	0,386**	0,302**	0,255**	0,396**
28. Dauer des Fluggeräuschs	0,124*	0,108*	-0,453**	-0,212**	0,235**	0,263**	-0,052	0,603**	-0,071	-0,058	0,060	-0,413**	0,616**	-0,399**	0,658**	0,254**	0,215**	0,854**

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
29. Tieftönendes Brummen	0,141**	0,088	-0,424**	-0,225**	0,250**	0,281**	0,014	0,534**	-0,099*	-0,036	0,079	-0,347**	0,564**	-0,354**	0,635**	0,317**	0,283**	0,773**
30. Ich kann mich gut schützen	-0,168**	-0,105*	0,371**	0,176**	-0,127**	-0,197**	0,018	-0,470**	0,070	0,024	0,002	0,360**	-0,481**	0,383**	-0,549**	-0,246**	-0,211**	-0,705**
31. Ich mache Fenster zu	-0,047	-0,169**	0,193**	0,018	-0,072	-0,089	0,020	-0,306**	0,052	-0,024	-0,066	0,331**	-0,347**	0,354**	-0,411**	-0,083	-0,018	-0,520**
32. Ich fühle mich ausgeliefert	0,180**	0,059	-0,454**	-0,224**	0,198**	0,274**	0,011	0,580**	-0,114*	-0,068	0,012	-0,369**	0,600**	-0,369**	0,661**	0,291**	0,261**	0,834**
33. Fluglärm höre ich nicht mehr	-0,106*	-0,168**	0,226**	0,127**	-0,175**	-0,174**	0,010	-0,322**	0,062	0,054	-0,006	0,255**	-0,278**	0,278**	-0,292**	-0,101*	-0,079	-0,455**
34. Ich schalte einfach ab	-0,069	-0,165**	0,250**	0,163**	-0,168**	-0,143**	0,015	-0,349**	0,100*	0,046	-0,014	0,351**	-0,288**	0,379**	-0,345**	-0,133**	-0,127**	-0,528**
35. Ich habe mich damit abgefunden	-0,204**	-0,099*	0,316**	0,153**	-0,150**	-0,175**	0,009	-0,433**	0,165**	0,037	-0,024	0,308**	-0,419**	0,391**	-0,445**	-0,144**	-0,190**	-0,580**
36. Vertrauen Hersteller	-0,004	-0,114*	0,294**	0,169**	-0,191**	-0,165**	0,001	-0,340**	0,097*	0,105*	-0,075	0,324**	-0,437**	0,300**	-0,385**	-0,179**	-0,101*	-0,479**
37. Vertrauen Fluggesellschaft	-0,051	-0,167**	0,353**	0,206**	-0,230**	-0,197**	0,013	-0,399**	0,090	0,139**	-0,065	0,378**	-0,449**	0,376**	-0,388**	-0,169**	-0,106*	-0,552**
38. Vertrauen Betreiber	-0,053	-0,128*	0,355**	0,179**	-0,214**	-0,223**	-0,009	-0,431**	0,152**	0,095	-0,059	0,434**	-0,492**	0,427**	-0,428**	-0,185**	-0,129**	-0,597**
39. Vertrauen Behörde	-0,065	-0,107*	0,335**	0,178**	-0,129**	-0,112*	0,029	-0,356**	0,063	0,124*	-0,051	0,278**	-0,403**	0,322**	-0,355**	-0,133**	-0,058	-0,504**
40. Vertrauen Bundesland	-0,100*	-0,164**	0,353**	0,159**	-0,203**	-0,144**	0,073	-0,452**	0,052	0,102*	-0,032	0,358**	-0,505**	0,405**	-0,413**	-0,137**	-0,128**	-0,591**
41. Kriterium Geräuschpegel	0,015	0,083	-0,058	-0,021	0,110*	0,083	0,038	0,202**	0,047	0,066	0,102*	0,031	0,233**	0,032	0,187**	0,020	0,068	0,236**
42. Kriterium Entfernung	0,151**	-0,190**	-0,095	-0,020	0,060	0,082	0,047	0,109*	0,073	0,011	-0,022	0,107*	0,093	0,136**	0,005	0,024	0,043	0,019

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
43. Kriterium Häufigkeit	0,044	-0,030	-0,130**	-0,084	0,110*	0,123*	0,078	0,194**	0,045	0,003	0,042	-0,006	0,213**	0,014	0,147**	0,104*	0,092	0,244**
44. Kriterium Anzahl AWR	0,162**	-0,172**	-0,148**	-0,084	0,099*	0,140**	0,113*	0,265**	-0,071	-0,026	-0,071	-0,079	0,223**	-0,038	0,215**	0,067	0,162**	0,251**
45. Zufriedenh. Schallschutz	-0,036	-0,120	0,301**	0,232**	-0,198**	-0,202**	-0,041	-0,364**	0,121	0,163*	-0,176**	0,284**	-0,361**	0,348**	-0,387**	-0,198**	-0,170*	-0,454**
46. Zufriedenh. Fenster	-0,015	-0,119	0,253**	0,221**	-0,213**	-0,217**	-0,110	-0,311**	0,098	0,143*	-0,142*	0,271**	-0,308**	0,362**	-0,411**	-0,220**	-0,162*	-0,419**
47. Zufriedenh. Lüfter	-0,126	-0,112	0,189*	0,187**	-0,116	-0,193**	-0,046	-0,259**	-0,001	0,079	-0,032	0,234**	-0,229**	0,254**	-0,363**	-0,148*	-0,092	-0,348**
48. Zufriedenh. Dach-/ Gebäude- dämmung	-0,111	-0,131	0,344**	0,296**	-0,279**	-0,161*	0,005	-0,223**	0,194*	0,282**	-0,089	0,305**	-0,243**	0,304**	-0,325**	-0,255**	-0,169*	-0,342**
49. $L_{Aeq,Nacht}$	0,103*	-0,282**	-0,393**	-0,320**	0,120*	0,060	-0,081	0,078	-0,042	-0,204**	0,018	0,075	0,166**	0,170**	0,211**	0,225**	0,108*	0,142**
50. $L_{Amax1,Nacht}$	0,111*	-0,258**	-0,324**	-0,266**	0,088	0,014	-0,099*	0,028	-0,027	-0,134**	0,017	0,047	0,158**	0,137**	0,160**	0,159**	0,048	0,096*
51. AWR	0,132**	-0,251**	-0,412**	-0,324**	0,140**	0,082	-0,050	0,127**	-0,104*	-0,263**	0,011	0,087	0,181**	0,136**	0,248**	0,293**	0,152**	0,173**
52. $L_{A-max6,Nacht,innen}$	0,090	-0,273**	-0,349**	-0,281**	0,103*	0,032	-0,090	0,050	-0,016	-0,150**	0,031	0,059	0,148**	0,159**	0,175**	0,187**	0,077	0,121*

¹PA = Place Attachement (Ortsverbundenheit); AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; ** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 63: Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)

Variablen	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.
1. Alter	0,187**	0,165**	0,044	0,091	0,145**	0,114*	0,155**	0,134**	0,145**	0,153**	-0,187**	-0,049	0,137**	-0,114*	-0,057	-0,209**	-0,020
2. Wohndauer	0,192**	0,187**	0,128**	0,132**	0,154**	0,125*	0,163**	0,186**	0,124*	0,141**	-0,168**	-0,047	0,180**	-0,106*	-0,069	-0,204**	-0,004
3. SWI	0,013	0,068	-0,032	0,065	0,127*	0,008	0,072	-0,162**	0,108*	0,088	-0,105*	-0,169**	0,059	-0,168**	-0,165**	-0,099*	-0,114*
4. Zufriedenh. Wohnumgebung	-0,347**	-0,473**	-0,423**	-0,422**	-0,440**	-0,415**	-0,438**	-0,368**	-0,453**	-0,424**	0,371**	0,193**	-0,454**	0,226**	0,250**	0,316**	0,294**
5. Zufriedenh. Wohnung/Haus	-0,189**	-0,244**	-0,221**	-0,226**	-0,190**	-0,216**	-0,241**	-0,256**	-0,212**	-0,225**	0,176**	0,018	-0,224**	0,127**	0,163**	0,153**	0,169**
6. Empfindlichk. Gerüche	0,250**	0,240**	0,220**	0,194**	0,207**	0,204**	0,205**	0,173**	0,235**	0,250**	-0,127**	-0,072	0,198**	-0,175**	-0,168**	-0,150**	-0,191**
7. Empfindlichk. Stress	0,278**	0,330**	0,284**	0,226**	0,287**	0,300**	0,318**	0,228**	0,263**	0,281**	-0,197**	-0,089	0,274**	-0,174**	-0,143**	-0,175**	-0,165**
8. Empfindlichk. Wetter	0,062	0,022	0,018	-0,048	0,001	0,018	0,045	0,072	-0,052	0,014	0,018	0,020	0,011	0,010	0,015	0,009	0,001
9. Empfindlichk. Lärm	0,468**	0,629**	0,443**	0,569**	0,571**	0,574**	0,541**	0,317**	0,603**	0,534**	-0,470**	-0,306**	0,580**	-0,322**	-0,349**	-0,433**	-0,340**
10. PA ¹ traditionell	-0,101*	-0,073	-0,063	-0,098*	-0,098*	-0,096*	-0,072	-0,063	-0,071	-0,099*	0,070	0,052	-0,114*	0,062	0,100*	0,165**	0,097*
11. PA aktiv	0,041	0,010	-0,001	-0,067	-0,044	-0,054	0,006	-0,085	-0,058	-0,036	0,024	-0,024	-0,068	0,054	0,046	0,037	0,105*
12. PA nicht ortsgelunden	0,049	0,054	0,061	0,061	0,067	0,049	0,058	0,048	0,060	0,079	0,002	-0,066	0,012	-0,006	-0,014	-0,024	-0,075
13. Förderung Weiterentwickl.	-0,374**	-0,416**	-0,389**	-0,366**	-0,420**	-0,331**	-0,373**	-0,132**	-0,413**	-0,347**	0,360**	0,331**	-0,369**	0,255**	0,351**	0,308**	0,324**
14. Wertminderung	0,490**	0,579**	0,472**	0,587**	0,588**	0,531**	0,539**	0,365**	0,616**	0,564**	-0,481**	-0,347**	0,600**	-0,278**	-0,288**	-0,419**	-0,437**

Variablen	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.
15. Neue Arbeitsplätze	-0,343**	-0,421**	-0,374**	-0,362**	-0,410**	-0,289**	-0,343**	-0,099*	-0,399**	-0,354**	0,383**	0,354**	-0,369**	0,278**	0,379**	0,391**	0,300**
16. Nächtlicher Lärm insg.	0,604**	0,688**	0,523**	0,633**	0,716**	0,645**	0,652**	0,386**	0,658**	0,635**	-0,549**	-0,411**	0,661**	-0,292**	-0,345**	-0,445**	-0,385**
17. Nächtlicher Straßenverkehr	0,330**	0,337**	0,354**	0,342**	0,346**	0,394**	0,275**	0,302**	0,254**	0,317**	-0,246**	-0,083	0,291**	-0,101*	-0,133**	-0,144**	-0,179**
18. Nächtlicher Schienenverkehr	0,295**	0,288**	0,265**	0,267**	0,273**	0,293**	0,291**	0,255**	0,215**	0,283**	-0,211**	-0,018	0,261**	-0,079	-0,127**	-0,190**	-0,101*
19. Nächtlicher Flugverkehr	0,669**	0,842**	0,605**	0,774**	0,868**	0,721**	0,740**	0,396**	0,854**	0,773**	-0,705**	-0,520**	0,834**	-0,455**	-0,528**	-0,580**	-0,479**
20. Erschrecken	1	0,732**	0,630**	0,586**	0,679**	0,617**	0,745**	0,397**	0,616**	0,590**	-0,508**	-0,331**	0,645**	-0,296**	-0,296**	-0,451**	-0,354**
21. Nervös und gereizt	0,732**	1	0,713**	0,749**	0,825**	0,707**	0,753**	0,413**	0,805**	0,734**	-0,651**	-0,488**	0,829**	-0,403**	-0,456**	-0,576**	-0,415**
22. Kopfschmerzen	0,630**	0,713**	1	0,627**	0,636**	0,609**	0,609**	0,365**	0,602**	0,582**	-0,478**	-0,360**	0,607**	-0,311**	-0,315**	-0,411**	-0,357**
23. Einschlafen	0,586**	0,749**	0,627**	1	0,748**	0,701**	0,640**	0,359**	0,753**	0,694**	-0,614**	-0,438**	0,758**	-0,387**	-0,420**	-0,533**	-0,428**
24. Durchschlafen	0,679**	0,825**	0,636**	0,748**	1	0,762**	0,727**	0,371**	0,828**	0,744**	-0,672**	-0,503**	0,811**	-0,423**	-0,485**	-0,569**	-0,459**
25. Ausschlafen	0,617**	0,707**	0,609**	0,701**	0,762**	1	0,664**	0,472**	0,692**	0,656**	-0,541**	-0,375**	0,720**	-0,346**	-0,374**	-0,419**	-0,418**
26. Plötzliches Auftreten	0,745**	0,753**	0,609**	0,640**	0,727**	0,664**	1	0,490**	0,703**	0,689**	-0,611**	-0,395**	0,724**	-0,333**	-0,379**	-0,505**	-0,451**
27. Boden-geräusche	0,397**	0,413**	0,365**	0,359**	0,371**	0,472**	0,490**	1	0,311**	0,387**	-0,264**	-0,145**	0,384**	-0,133**	-0,171**	-0,213**	-0,241**
28. Dauer des Fluggeräuschs	0,616**	0,805**	0,602**	0,753**	0,828**	0,692**	0,703**	0,311**	1	0,791**	-0,677**	-0,520**	0,816**	-0,438**	-0,484**	-0,555**	-0,484**
29. Tieftönendes Brummen	0,590**	0,734**	0,582**	0,694**	0,744**	0,656**	0,689**	0,387**	0,791**	1	-0,607**	-0,459**	0,734**	-0,372**	-0,390**	-0,496**	-0,503**

Variablen	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.
30. Ich kann mich gut schützen	-0,508**	-0,651**	-0,478**	-0,614**	-0,672**	-0,541**	-0,611**	-0,264**	-0,677**	-0,607**	1	0,648**	-0,660**	0,440**	0,494**	0,523**	0,465**
31. Ich mache Fenster zu	-0,331**	-0,488**	-0,360**	-0,438**	-0,503**	-0,375**	-0,395**	-0,145**	-0,520**	-0,459**	0,648**	1	-0,498**	0,502**	0,561**	0,477**	0,303**
32. Ich fühle mich ausgeliefert	0,645**	0,829**	0,607**	0,758**	0,811**	0,720**	0,724**	0,384**	0,816**	0,734**	-0,660**	-0,498**	1	-0,423**	-0,473**	-0,593**	-0,459**
33. Fluglärm höre ich nicht mehr	-0,296**	-0,403**	-0,311**	-0,387**	-0,423**	-0,346**	-0,333**	-0,133**	-0,438**	-0,372**	0,440**	0,502**	-0,423**	1	0,653**	0,483**	0,270**
34. Ich schalte einfach ab	-0,296**	-0,456**	-0,315**	-0,420**	-0,485**	-0,374**	-0,379**	-0,171**	-0,484**	-0,390**	0,494**	0,561**	-0,473**	0,653**	1	0,567**	0,313**
35. Ich habe mich damit abgefunden	-0,451**	-0,576**	-0,411**	-0,533**	-0,569**	-0,419**	-0,505**	-0,213**	-0,555**	-0,496**	0,523**	0,477**	-0,593**	0,483**	0,567**	1	0,367**
36. Vertrauen Hersteller	-0,354**	-0,415**	-0,357**	-0,428**	-0,459**	-0,418**	-0,451**	-0,241**	-0,484**	-0,503**	0,465**	0,303**	-0,459**	0,270**	0,313**	0,367**	1
37. Vertrauen Fluggesellschaft	-0,360**	-0,506**	-0,371**	-0,473**	-0,494**	-0,438**	-0,465**	-0,225**	-0,575**	-0,547**	0,517**	0,370**	-0,529**	0,347**	0,429**	0,421**	0,797**
38. Vertrauen Betreiber	-0,410**	-0,566**	-0,443**	-0,541**	-0,579**	-0,461**	-0,491**	-0,223**	-0,589**	-0,541**	0,606**	0,415**	-0,576**	0,398**	0,473**	0,509**	0,727**
39. Vertrauen Behörde	-0,315**	-0,434**	-0,328**	-0,466**	-0,448**	-0,399**	-0,400**	-0,199**	-0,504**	-0,440**	0,493**	0,344**	-0,481**	0,293**	0,365**	0,410**	0,643**
40. Vertrauen Bundesland	-0,378**	-0,529**	-0,378**	-0,510**	-0,516**	-0,437**	-0,464**	-0,216**	-0,590**	-0,511**	0,540**	0,385**	-0,558**	0,400**	0,439**	0,487**	0,626**
41. Kriterium Geräuschpegel	0,180**	0,207**	0,091	0,181**	0,167**	0,158**	0,170**	0,124*	0,197**	0,169**	-0,031	-0,007	0,223**	-0,061	-0,088	-0,134**	-0,078
42. Kriterium Entfernung	0,025	0,029	0,025	0,044	-0,027	0,024	0,068	0,134**	-0,011	0,022	0,045	0,144**	-0,011	0,080	0,089	0,063	-0,011
43. Kriterium Häufigkeit	0,186**	0,219**	0,171**	0,216**	0,208**	0,210**	0,186**	0,177**	0,178**	0,211**	-0,080	0,035	0,213**	-0,018	-0,063	-0,006	-0,112*

Variablen	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.	33.	34.	35.	36.
44. Kriterium Anzahl AWR	0,290**	0,282**	0,239**	0,232**	0,274**	0,263**	0,306**	0,259**	0,184**	0,206**	-0,152**	-0,071	0,281**	-0,091	-0,117*	-0,140**	-0,105*
45. Zufriedenh. Schallschutz	-0,278**	-0,398**	-0,381**	-0,410**	-0,412**	-0,377**	-0,361**	-0,261**	-0,460**	-0,495**	0,549**	0,472**	-0,500**	0,280**	0,319**	0,395**	0,445**
46. Zufriedenh. Fenster	-0,309**	-0,399**	-0,436**	-0,417**	-0,421**	-0,334**	-0,351**	-0,159*	-0,414**	-0,438**	0,452**	0,378**	-0,430**	0,283**	0,246**	0,386**	0,391**
47. Zufriedenh. Lüfter	-0,252**	-0,301**	-0,265**	-0,310**	-0,372**	-0,300**	-0,273**	-0,121	-0,367**	-0,310**	0,395**	0,255**	-0,347**	0,233**	0,232**	0,256**	0,380**
48. Zufriedenh. Dach-/ Gebäude-dämmung	-0,277**	-0,253**	-0,291**	-0,324**	-0,313**	-0,313**	-0,271**	-0,289**	-0,371**	-0,365**	0,314**	0,275**	-0,407**	0,230**	0,252**	0,264**	0,359**
49. $L_{Aeq,Nacht}$	0,156**	0,141**	0,118*	0,105*	0,112*	0,267**	0,188**	0,502**	0,103*	0,166**	-0,018	0,085	0,157**	0,063	0,051	-0,021	-0,143**
50. $L_{Amax1,Nacht}$	0,146**	0,096*	0,076	0,090	0,066	0,215**	0,154**	0,435**	0,058	0,139**	0,005	0,097*	0,117*	0,078	0,052	-0,009	-0,118*
51. AWR	0,155**	0,163**	0,116*	0,114*	0,139**	0,270**	0,195**	0,502**	0,087	0,194**	-0,045	0,044	0,173**	0,033	0,039	-0,037	-0,167**
52. $L_{A-max6,Nacht,innen}$	0,154**	0,128**	0,110*	0,111*	0,091	0,243**	0,174**	0,456**	0,095*	0,155**	-0,012	0,085	0,144**	0,071	0,046	-0,021	-0,134**

¹PA = Place Attachement (Ortsverbundenheit); AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; ** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 64: Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)

Variablen	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
1. Alter	-0,020	-0,058	-0,051	-0,015	-0,078	0,056	0,163**	0,140**	0,246**	-0,068	-0,013	0,035	-0,020
2. Wohndauer	-0,004	-0,051	-0,053	-0,065	-0,100*	0,015	0,151**	0,044	0,162**	-0,036	-0,015	-0,126	-0,111

Variablen	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
3. SWI	-0,114*	-0,167**	-0,128*	-0,107*	-0,164**	0,083	-0,190**	-0,030	-0,172**	-0,120	-0,119	-0,112	-0,131
4. Zufriedenh. Wohnumgebung	0,294**	0,353**	0,355**	0,335**	0,353**	-0,058	-0,095	-0,130**	-0,148**	0,301**	0,253**	0,189*	0,344**
5. Zufriedenh. Wohnung/Haus	0,169**	0,206**	0,179**	0,178**	0,159**	-0,021	-0,020	-0,084	-0,084	0,232**	0,221**	0,187**	0,296**
6. Empfindlichk. Gerüche	-0,191**	-0,230**	-0,214**	-0,129**	-0,203**	0,110*	0,060	0,110*	0,099*	-0,198**	-0,213**	-0,116	-0,279**
7. Empfindlichk. Stress	-0,165**	-0,197**	-0,223**	-0,112*	-0,144**	0,083	0,082	0,123*	0,140**	-0,202**	-0,217**	-0,193**	-0,161*
8. Empfindlichk. Wetter	0,001	0,013	-0,009	0,029	0,073	0,038	0,047	0,078	0,113*	-0,041	-0,110	-0,046	0,005
9. Empfindlichk. Lärm	-0,340**	-0,399**	-0,431**	-0,356**	-0,452**	0,202**	0,109*	0,194**	0,265**	-0,364**	-0,311**	-0,259**	-0,223**
10. PA ¹ traditionell	0,097*	0,090	0,152**	0,063	0,052	0,047	0,073	0,045	-0,071	0,121	0,098	-0,001	0,194*
11. PA aktiv	0,105*	0,139**	0,095	0,124*	0,102*	0,066	0,011	0,003	-0,026	0,163*	0,143*	0,079	0,282**
12. PA nicht ortsgebunden	-0,075	-0,065	-0,059	-0,051	-0,032	0,102*	-0,022	0,042	-0,071	-0,176**	-0,142*	-0,032	-0,089
13. Förderung Weiterentwickl.	0,324**	0,378**	0,434**	0,278**	0,358**	0,031	0,107*	-0,006	-0,079	0,284**	0,271**	0,234**	0,305**
14. Wertminderung	-0,437**	-0,449**	-0,492**	-0,403**	-0,505**	0,233**	0,093	0,213**	0,223**	-0,361**	-0,308**	-0,229**	-0,243**
15. Neue Arbeitsplätze	0,300**	0,376**	0,427**	0,322**	0,405**	0,032	0,136**	0,014	-0,038	0,348**	0,362**	0,254**	0,304**
16. Nächtlicher Lärm insg.	-0,385**	-0,388**	-0,428**	-0,355**	-0,413**	0,187**	0,005	0,147**	0,215**	-0,387**	-0,411**	-0,363**	-0,325**

Variablen	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
17. Nächtlicher Straßenverkehr	-0,179**	-0,169**	-0,185**	-0,133**	-0,137**	0,020	0,024	0,104*	0,067	-0,198**	-0,220**	-0,148*	-0,255**
18. Nächtlicher Schienen-verkehr	-0,101*	-0,106*	-0,129**	-0,058	-0,128**	0,068	0,043	0,092	0,162**	-0,170*	-0,162*	-0,092	-0,169*
19. Nächtlicher Flugverkehr	-0,479**	-0,552**	-0,597**	-0,504**	-0,591**	0,236**	0,019	0,244**	0,251**	-0,454**	-0,419**	-0,348**	-0,342**
20. Erschrecken	-0,354**	-0,360**	-0,410**	-0,315**	-0,378**	0,180**	0,025	0,186**	0,290**	-0,278**	-0,309**	-0,252**	-0,277**
21. Nervös und gereizt	-0,415**	-0,506**	-0,566**	-0,434**	-0,529**	0,207**	0,029	0,219**	0,282**	-0,398**	-0,399**	-0,301**	-0,253**
22. Kopfschmerzen	-0,357**	-0,371**	-0,443**	-0,328**	-0,378**	0,091	0,025	0,171**	0,239**	-0,381**	-0,436**	-0,265**	-0,291**
23. Einschlafen	-0,428**	-0,473**	-0,541**	-0,466**	-0,510**	0,181**	0,044	0,216**	0,232**	-0,410**	-0,417**	-0,310**	-0,324**
24. Durchschlafen	-0,459**	-0,494**	-0,579**	-0,448**	-0,516**	0,167**	-0,027	0,208**	0,274**	-0,412**	-0,421**	-0,372**	-0,313**
25. Ausschlafen	-0,418**	-0,438**	-0,461**	-0,399**	-0,437**	0,158**	0,024	0,210**	0,263**	-0,377**	-0,334**	-0,300**	-0,313**
26. Plötzliches Auftreten	-0,451**	-0,465**	-0,491**	-0,400**	-0,464**	0,170**	0,068	0,186**	0,306**	-0,361**	-0,351**	-0,273**	-0,271**
27. Boden-geräusche	-0,241**	-0,225**	-0,223**	-0,199**	-0,216**	0,124*	0,134**	0,177**	0,259**	-0,261**	-0,159*	-0,121	-0,289**
28. Dauer des Fluggeräuschs	-0,484**	-0,575**	-0,589**	-0,504**	-0,590**	0,197**	-0,011	0,178**	0,184**	-0,460**	-0,414**	-0,367**	-0,371**
29. Tieftönendes Brummen	-0,503**	-0,547**	-0,541**	-0,440**	-0,511**	0,169**	0,022	0,211**	0,206**	-0,495**	-0,438**	-0,310**	-0,365**
30. Ich kann mich gut schützen	0,465**	0,517**	0,606**	0,493**	0,540**	-0,031	0,045	-0,080	-0,152**	0,549**	0,452**	0,395**	0,314**
31. Ich mache Fenster zu	0,303**	0,370**	0,415**	0,344**	0,385**	-0,007	0,144**	0,035	-0,071	0,472**	0,378**	0,255**	0,275**

Variablen	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
32. Ich fühle mich ausgeliefert	-0,459**	-0,529**	-0,576**	-0,481**	-0,558**	0,223**	-0,011	0,213**	0,281**	-0,500**	-0,430**	-0,347**	-0,407**
33. Fluglärm höre ich nicht mehr	0,270**	0,347**	0,398**	0,293**	0,400**	-0,061	0,080	-0,018	-0,091	0,280**	0,283**	0,233**	0,230**
34. Ich schalte einfach ab	0,313**	0,429**	0,473**	0,365**	0,439**	-0,088	0,089	-0,063	-0,117*	0,319**	0,246**	0,232**	0,252**
35. Ich habe mich damit abgefunden	0,367**	0,421**	0,509**	0,410**	0,487**	-0,134**	0,063	-0,006	-0,140**	0,395**	0,386**	0,256**	0,264**
36. Vertrauen Hersteller	1	0,797**	0,727**	0,643**	0,626**	-0,078	-0,011	-0,112*	-0,105*	0,445**	0,391**	0,380**	0,359**
37. Vertrauen Fluggesellschaft	0,797**	1	0,818**	0,693**	0,753**	-0,105*	-0,011	-0,114*	-0,108*	0,405**	0,330**	0,261**	0,377**
38. Vertrauen Betreiber	0,727**	0,818**	1	0,726**	0,773**	-0,045	0,032	-0,112*	-0,149**	0,398**	0,348**	0,287**	0,349**
39. Vertrauen Behörde	0,643**	0,693**	0,726**	1	0,812**	-0,056	0,050	-0,086	-0,080	0,383**	0,280**	0,343**	0,278**
40. Vertrauen Bundesland	0,626**	0,753**	0,773**	0,812**	1	-0,143**	0,052	-0,105*	-0,085	0,362**	0,323**	0,269**	0,357**
41. Kriterium Geräuschpegel	-0,078	-0,105*	-0,045	-0,056	-0,143**	1	0,289**	0,604**	0,333**	-0,009	0,010	-0,048	0,031
42. Kriterium Entfernung	-0,011	-0,011	0,032	0,050	0,052	0,289**	1	0,397**	0,321**	0,075	0,116	0,163*	0,063
43. Kriterium Häufigkeit	-0,112*	-0,114*	-0,112*	-0,086	-0,105*	0,604**	0,397**	1	0,452**	0,023	0,044	-0,044	0,028
44. Kriterium Anzahl AWR	-0,105*	-0,108*	-0,149**	-0,080	-0,085	0,333**	0,321**	0,452**	1	-0,083	0,018	-0,155*	-0,031
45. Zufriedenh. Schallschutz	0,445**	0,405**	0,398**	0,383**	0,362**	-0,009	0,075	0,023	-0,083	1	0,809**	0,609**	0,508**

Variablen	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
46. Zufriedenh. Fenster	0,391**	0,330**	0,348**	0,280**	0,323**	0,010	0,116	0,044	0,018	0,809**	1	0,500**	0,415**
47. Zufriedenh. Lüfter	0,380**	0,261**	0,287**	0,343**	0,269**	-0,048	0,163*	-0,044	-0,155*	0,609**	0,500**	1	0,454**
48. Zufriedenh. Dach-/ Gebäude-dämmung	0,359**	0,377**	0,349**	0,278**	0,357**	0,031	0,063	0,028	-0,031	0,508**	0,415**	0,454**	1
49. $L_{Aeq,Nacht}$	-0,143**	-0,097*	-0,064	-0,115*	-0,103*	0,095*	0,137**	0,123*	0,135**	0,001	0,070	0,077	-0,159*
50. $L_{Amax1,Nacht}$	-0,118*	-0,066	-0,045	-0,116*	-0,089	0,098*	0,123*	0,091	0,095*	0,068	0,111	0,123	-0,102
51. AWR	-0,167**	-0,138**	-0,101*	-0,123*	-0,123*	0,065	0,124*	0,127**	0,159**	-0,076	-0,001	0,003	-0,194*
52. $L_{A-max6,Nacht,innen}$	-0,134**	-0,079	-0,048	-0,123*	-0,098*	0,105*	0,125**	0,107*	0,106*	0,033	0,094	0,127	-0,100

¹PA = Place Attachement (Ortsverbundenheit); AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; ** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

C.3 Signifikanzprüfung der Korrelationen

Tabelle 65: Ergebnisse der Signifikanzprüfung für den Vergleich zwischen der Korrelation von Ausschlafstörungen und AWR mit den Korrelationen von Ausschlafstörungen und den anderen drei akustischen Kenngrößen

Variablen	Statistik	AWR
$L_{Aeq,Nacht}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-0,1580
	p	0,874
$L_{Amax1,Nacht}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-1,7367
	p	0,082
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-0,9807
	p	0,327

AWR=Aufwachreaktionen; p =Signifikanzwert; z =z-Wert.

Tabelle 66: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen der Flughäfen Köln/Bonn und Leipzig/Halle

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
$L_{Aeq,Nacht}$	Fishers z	-0,8707	-1,7824	-2,9132
	p	0,384	0,075	0,004**
$L_{Amax1,Nacht}$	Fishers z	-0,3109	-2,0984	-2,8103
	p	0,756	0,036*	0,005**
AWR	Fishers z	-1,4317	-0,4488	-2,5789
	p	0,152	0,654	0,010**
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Fishers z	0,1038	-1,5311	-2,6499
	p	0,917	0,126	0,008**

p =Signifikanzwert; z =z-Wert; AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 67: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit und ohne Schallschutz

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
$L_{Aeq,Nacht}$	Fishers z	0,6217	1,2581	2,5468
	p	0,534	0,208	0,011*
$L_{Amax1,Nacht}$	Fishers z	-0,1137	0,0104	1,2451
	p	0,909	0,992	0,213
AWR	Fishers z	0,8625	1,8651	2,6264
	p	0,388	0,062	0,009**
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Fishers z	0,1658	0,5285	2,1143
	p	0,868	0,597	0,034*

p =Signifikanzwert; z =z-Wert; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

**= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 68: Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit geöffnetem und geschlossenem Fenster

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
$L_{Aeq,Nacht}$	Fishers z	0,6752	0,0395	1,4322
	p	0,500	0,969	0,152
$L_{Amax1,Nacht}$	Fishers z	0,7813	0,6463	1,4621
	p	0,435	0,518	0,144
AWR	Fishers z	1,0099	0,3577	1,6932
	p	0,313	0,721	0,090
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Fishers z	0,5583	-0,7046	1,2544
	p	0,577	0,481	0,210

p =Signifikanzwert; z =z-Wert; AWR=Aufwachreaktionen

D Ergebnisse der Re-Analyse der NORAH-Daten

D.1 Sensitivitätsanalysen für Subgruppenunterschiede

D.1.1 Vergleich der deskriptiven Statistiken zwischen verschiedenen Subgruppen

Um die Personengruppen vergleichen zu können, die bauliche Schallschutzmaßnahmen an ihrem Wohngebäude haben, mit denjenigen, bei denen dies nicht zutrifft, und zusätzlich Personen, die bei geöffnetem Fenster schlafen, mit Personen, die bei geschlossenem Fenster schlafen gegenüberzustellen, wurden auch für die NORAH-Daten Subgruppen gebildet.

Tabelle 69 zeigt die deskriptiven Statistiken für die Subgruppen mit und ohne Schallschutz. Teilnehmende mit Lärmschutzmaßnahmen sind durchschnittlich ca. 3 Jahre älter und leben auch fast 3 Jahre länger in ihrer Wohnung/ihrem Haus. Zudem fällt auf, dass diese Gruppe etwas lärmempfindlicher und belastigter durch den Fluglärm ist; weiterhin fielen bei ihr die Schlafstörungen etwas höher aus. Diese Unterschiede sind jedoch sehr gering. Unter den Personen, die bauliche Schallschutzmaßnahmen umgesetzt haben (insgesamt 1.528 Teilnehmende), leben 69,9 % im Eigentum. Bei denjenigen, die keine baulichen Schallschutzmaßnahmen haben (insgesamt 1.785), beträgt der Anteil der Eigenheimbesitzer*innen 69,6 %.

Tabelle 69: Deskriptive Statistiken separat für die Subgruppen mit und ohne Schallschutz (n=662-1785)

Variable	Schallschutz N	Schallschutz M	Schallschutz SD	Kein Schallschutz N	Kein Schallschutz M	Kein Schallschutz SD
Alter	1528	52,96	16,07	1785	49,85	15,43
Wohndauer	1298	29,27	19,60	1477	26,94	18,81
Zufriedenheit mit Wohnumgebung	1526	3,72	1,07	1780	3,78	1,05
Zufriedenheit mit Wohnung/Haus	1527	4,38	0,84	1782	4,29	0,90
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	673	2,57	1,08	662	2,52	1,02
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	1527	1,95	1,25	1776	1,88	1,19
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	1518	3,07	1,52	1776	3,00	1,48
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	1503	2,03	1,34	1749	1,96	1,26
Einschlafstörungen	1526	3,00	1,45	1781	2,95	1,42
Durchschlafstörungen	1524	2,64	1,47	1778	2,57	1,43
Ausschlafstörungen	1524	3,00	1,52	1777	2,88	1,48

Variable	Schall- schutz N	Schall- schutz M	Schall- schutz SD	Kein Schall- schutz N	Kein Schall- schutz M	Kein Schall- schutz SD
Zufriedenheit mit Schall- schutzmaßnahmen insge- samt	1515	3,61	1,13	0	0	0

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung

Teilnehmende, die mit offenem Fenster schlafen, waren zwar etwas lärmempfindlicher ($M = 2,59$; $SD = 1,04$) im Vergleich zu denjenigen, die mit geschlossenem Fenster schlafen ($M = 2,42$; $SD = 1,05$), wiesen jedoch gleichzeitig geringere Schlafstörungen auf und schienen auch weniger von den Auswirkungen von Fluglärm betroffen zu sein (siehe Tabelle 70). Dies stimmt mit den Ergebnissen der Bevölkerungsbefragung überein und könnte den Erklärungsversuch bekräftigen, dass das Schließen des Fensters bereits eine Methode ist, um mit dem Lärm umzugehen, und Personen, die gezwungen sind, mit geschlossenem Fenster zu schlafen, insgesamt mehr Schlafprobleme haben könnten.

Tabelle 70: Deskriptive Statistiken separat für geöffnete und geschlossene Fensterstellung (n=345-2606)

Variable	Fenster ge- öffnet N	Fenster ge- öffnet M	Fenster ge- öffnet SD	Fenster ge- schlossen N	Fenster ge- schlossen M	Fenster ge- schlossen SD
Alter	2606	50,45	15,89	816	52,11	16,07
Wohndauer	2168	27,68	19,17	692	27,57	19,53
Zufriedenheit mit Wohnum- gebung	2599	3,81	1,02	815	3,55	1,15
Zufriedenheit mit Wohn- ung/Haus	2604	4,33	0,87	814	4,32	0,90
Empfindlichkeit gegenüber Lärm	1009	2,59	1,04	345	2,42	1,05
Der nächtliche Fluglärm führt dazu, dass ich mich erschrecke.	2599	1,86	1,19	812	2,05	1,27
Der nächtliche Fluglärm macht mich nervös und gereizt.	2592	2,93	1,49	809	3,29	1,47
Der nächtliche Fluglärm führt bei mir zu Kopfschmerzen.	2556	1,93	1,26	798	2,20	1,39
Einschlafstörungen	2601	2,91	1,44	815	3,11	1,43
Durchschlafstörungen	2596	2,52	1,44	813	2,79	1,43
Ausschlafstörungen	2598	2,87	1,50	811	3,11	1,47
Zufriedenheit mit Schall- schutzmaßnahmen insge- samt	1089	3,66	1,13	420	3,48	1,13

N=Anzahl Teilnehmende, M=Mittelwert, SD=Standardabweichung.

D.1.2 Kovarianzanalysen zum Einfluss verschiedener Faktoren auf Ausschlafstörungen

Wie in Anhang C.1.2 wurden auch mit den NORAH-Daten Kovarianzanalysen (ANCOVAs) durchgeführt. Als abhängige Variable wurde die Schlafstörungsvariable Ausschlafen verwendet.

$L_{Aeq,Nacht}$ wurde als Kovariate in die Analyse miteinbezogen und somit kontrolliert.

In dieser Studie wurden die nachfolgenden Gruppen daraufhin analysiert, ob es mögliche Unterschiede bezüglich der Schlafstörungen beim Ausschlafen gibt, bei Kontrollieren von $L_{Aeq,Nacht}$ - Werten (siehe auch Tabelle 71):

1. Schallschutz: 1) vorhanden oder 2) nicht vorhanden
2. Fensterstellung: 1) nachts geöffnet oder 2) nachts geschlossen

Dabei gilt zu beachten, dass bei den NORAH-Daten ausschließlich Fälle miteinbezogen worden sind, bei denen mindestens ein Kriterium zutraf (siehe dazu auch Kapitel 6.3). Der FNI war im Vergleich zu den anderen Kriterien das Umfassendste, dies hat dazu geführt, dass in den verwendeten Daten ausschließlich Fälle vorkommen, bei denen der FNI zutrifft.

Tabelle 71: Übersicht ANCOVAs

AN-COVA	Faktor	Abhängige Variable	Kovariate
1	Schallschutz	Ausschlafen	$L_{Aeq,Nacht}$
2	Fensterstellung	Ausschlafen	$L_{Aeq,Nacht}$

Die Ergebnisse der separaten ANCOVAs sind in Tabelle 72 dargestellt. Ihre Bedeutung kann wie folgt verstanden werden: Nachdem für den $L_{Aeq,Nacht}$ kontrolliert wurde, zeigt ANCOVA 2 eine statistisch signifikante Verbindung zwischen Gruppen die nachts ihr Fenster geöffnet bzw. geschlossen halten ($F(1,3406) = 2,708$, $p = 0,008$, partielles $\eta^2 = 0,002$). Die Ergebnisse von ANCOVA 1 hingegen deuten darauf hin, dass die Gruppen der Personen mit und ohne bauliche Schallschutzmaßnahmen sich bezüglich Ausschlafstörungen nicht signifikant voneinander unterscheiden (Tabelle 72). Die post-hoc Paarvergleiche für ANCOVA 2 zeigen, dass die durchschnittliche Ausschlafstörung auf einer 5er Skala bei geschlossenem Fenster um 0,158 Punkte höher ausfällt als bei geöffnetem Fenster (siehe Tabelle 74). Grund hierfür könnte sein, dass das Schließen der Fenster bereits eine Lärmbewältigungsstrategie ist und Personen, die bei geschlossenem Fenster schlafen, höhere Schlafstörungen aufweisen. Bei Lärmschutzmaßnahmen würde die durchschnittliche Ausschlafstörung bei Personen mit diesen Maßnahmen sogar marginal höher ausfallen (Tabelle 73), was dafürsprechen könnte, dass Personen mit höheren Schlafstörungen eher dazu tendieren, Schallschutzmaßnahmen umsetzen zu lassen. Die Ergebnisse sind jedoch nicht statistisch signifikant (siehe Tabelle 73). Ein anderer Erklärungsansatz hierfür kann das breite Erfassungsgebiet des FNI sein. Bei Subgruppenuntersuchungen, mit Personen bei denen mindestens ein weiteres Kriterium als der FNI zutraf, also bei Personen, die einer höheren Fluglärmbelastung ausgesetzt waren, fiel die Mittelwertdifferenz etwas höher aus. Jedoch wurde dadurch die Stichprobengröße zu stark dezimiert, um aussagekräftige und signifikante Ergebnisse zu erzielen.

Tabelle 72: Tests der Zwischensubjekteffekte

ANCOVA	F-Verteilung	F	p	Partielles η^2
1	F(1,3298)	2,708	0,100	0,001
2	F(1,3406)	6,953	0,008	0,002

F = F-Wert, p = Signifikanzniveau.

Tabelle 73: Paarweise Vergleiche – ANCOVA 1

(I) Lärmschutzmaßnahmen am Wohngebäude vorhanden (ja/nein)	(J) Lärmschutzmaßnahmen am Wohngebäude vorhanden (ja/nein)	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall für Differenz	
					Untergrenze	Obergrenze
Nein	Ja	0,091	0,056	0,100	-0,018	0,200
Ja	Nein	-0,091	0,056	0,100	-0,200	0,018

df = Freiheitsgrade, Sig = Signifikanzniveau.

Tabelle 74: Paarweise Vergleiche – ANCOVA 2

(I) Fensterstellung in den Wohnräumen nachts	(J) Fensterstellung in den Wohnräumen nachts	Mittelwertdifferenz (I-J)	Std.-Fehler	Sig.	95 % Konfidenzintervall für Differenz	
					Untergrenze	Obergrenze
überwiegend geschlossen	geöffnet bzw. gekippt	0,158*	0,060	0,008	0,040	0,275
geöffnet bzw. gekippt	überwiegend geschlossen	-0,158*	0,060	0,008	-0,275	-0,040

df = Freiheitsgrade, Sig = Signifikanzniveau.

D.1.3 Korrelationen zwischen den Variablen in den verschiedenen Subgruppen

Um den Einfluss von Schallschutz auf die Beziehung zwischen Schlafstörungen und akustischen Werten zu analysieren, wurden separate Korrelationen für Personen durchgeführt, die baulichen Schallschutz für ihre Schlafräume haben, und für diejenigen ohne solchen Schallschutz. Die Ergebnisse sind in Tabelle 75 und Tabelle 76 aufgeführt. In der Gruppe der Personen mit baulichem Schallschutz zeigen die Korrelationen dieselbe Ausrichtung wie in der Gesamtstichprobe, sind jedoch insgesamt etwas stärker ausgeprägt. So steigt der Korrelationskoeffizient für Ausschlafen und $L_{Amax6,Nacht,innen}$ beispielsweise auf $r = 0,237$. Die Korrelationen zwischen den akustischen Kenngrößen und Schlafstörungen bei den Personen ohne Schallschutz fallen etwas geringer aus. Auffällig ist vor allem die niedrige Korrelation zwischen Ausschlafen und $L_{Amax1,Nacht}$ ($r = 0,086$, $p < 0,01$; siehe Tabelle 76); bei der Gruppe mit Schallschutz lag die Korrelation noch bei $r = 0,207$ ($p < 0,01$). In beiden Gruppen sind alle Korrelationen signifikant.

Zusätzlich wurden die Korrelationen der beiden Subgruppen anhand Fishers z (1925) auf signifikante Unterschiede überprüft (siehe Anhang D.3; Tabelle 82). Signifikante Unterschiede zwischen den beiden Subgruppen lagen lediglich bei Ausschlafen und $L_{\max 1, \text{Nacht}}$ vor ($z = 3,04$, $p = ,002$).

Tabelle 75: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe mit Schallschutz (n=1524-1528)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{\text{Aeq,Nacht}}$	$L_{\text{Amax1,Nacht}}$	AWR	$L_{\text{A-max6,Nacht,in-nen}}$
$L_{\text{Aeq,Nacht}}$	Pearson-Korrelation	0,135**	0,155**	0,207**	1	0,940**	0,912**	0,969**
	N	1526	1524	1524	1528	1528	1528	1528
$L_{\text{Amax1,Nacht}}$	Pearson-Korrelation	0,137**	0,153**	0,190**	0,940**	1	0,762**	0,951**
	N	1526	1524	1524	1528	1528	1528	1528
AWR	Pearson-Korrelation	0,089**	0,110**	0,155**	0,912**	0,762**	1	0,830**
	N	1526	1524	1524	1528	1528	1528	1528
$L_{\text{Amax6,Nacht,in-nen}}$	Pearson-Korrelation	0,148**	0,166**	0,232**	0,969**	0,951**	0,830**	1
	N	1526	1524	1524	1528	1528	1528	1528

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 76: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen für die Stichprobe ohne Schallschutz (n=1777-1785)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{\text{Aeq,Nacht}}$	$L_{\text{Amax1,Nacht}}$	AWR	$L_{\text{A-max6,Nacht,in-nen}}$
$L_{\text{Aeq,Nacht}}$	Pearson-Korrelation	0,122**	0,121**	0,151**	1	0,849**	0,901**	0,930**
	N	1781	1778	1777	1785	1785	1785	1785
$L_{\text{Amax1,Nacht}}$	Pearson-Korrelation	0,112**	0,113**	0,086**	0,849**	1	0,612**	0,874**
	N	1781	1778	1777	1785	1785	1785	1785
AWR	Pearson-Korrelation	0,085**	0,090**	0,141**	0,901**	0,612**	1	0,789**
	N	1781	1778	1777	1785	1785	1785	1785
$L_{\text{Amax6,Nacht,in-nen}}$	Pearson-Korrelation	0,137**	0,119**	0,170**	0,930**	0,874**	0,789**	1

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
	N	1781	1778	1777	1785	1785	1785	1785

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

**= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Zwischen den Subgruppen der Personen, die entweder bei geöffnetem oder geschlossenem Fenster schlafen, gibt es nur sehr geringfügige Unterschiede (siehe Tabelle 77 und Tabelle 78). Die jeweiligen Werte decken sich auch mit den Korrelationswerten der gesamten Stichprobe (Tabelle 36). Eine Überprüfung mit Fishers z (1925) auf signifikante Unterschiede zwischen den Korrelationen der beiden Subgruppen ergab keine signifikanten Unterschiede (siehe Anhang D.3, Tabelle 83).

Tabelle 77: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geöffnet“ (n=2596-2606)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,124**	0,128**	0,182**	1	0,914**	0,916**	0,959**
	N	2601	2596	2598	2606	2606	2606	2606
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,121**	0,127**	0,142**	0,914**	1	0,729**	0,927**
	N	2601	2596	2598	2606	2606	2606	2606
AWR	Pearson-Korrelation	0,086**	0,093**	0,157**	0,916**	0,729**	1	0,835**
	N	2601	2596	2598	2606	2606	2606	2606
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Pearson-Korrelation	0,137**	0,133**	0,204**	0,959**	0,927**	0,835**	1
	N	2601	2596	2598	2606	2606	2606	2606

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

**= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 78: Korrelationen zwischen den Schlafstörungsvariablen und den akustischen Kenngrößen gefiltert nach der Fensterstellung „geschlossen“ (n=811-816)

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Aeq,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,112**	0,144**	0,172**	1	0,921**	0,911**	0,962**
	N	815	813	811	816	816	816	816

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen	$L_{Aeq,Nacht}$	$L_{Amax1,Nacht}$	AWR	$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$
$L_{Amax1,Nacht}$	Pearson-Korrelation	0,110**	0,136**	0,148**	0,921**	1	0,725**	0,939**
	N	815	813	811	816	816	816	816
AWR	Pearson-Korrelation	0,078*	0,110**	0,140**	0,911**	0,725**	1	0,818**
	N	815	813	811	816	816	816	816
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Pearson-Korrelation	0,130**	0,152**	0,193**	0,962**	0,939**	0,818**	1
	N	815	813	811	816	816	816	816

N=Anzahl Teilnehmende; AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

**= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

D.2 Korrelationstabellen

Tabelle 79: Korrelationen zwischen den relevanten Variablen

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
1. Alter	0,577***	-0,027	-0,007	0,118***	0,045**	-0,051**	0,156***	-0,094***	0,117***	0,081***	-0,051**	-0,122***	0,123***	0,106***	-0,066***
2. Wohndauer	1	-0,196***	-0,02	0,078***	0,007	-0,041*	0,108***	-0,054**	0,086***	0,067***	-0,001	-0,044*	0,088***	0,069***	-0,021
3. SWI	-0,196***	1	0,066***	0,102***	0,036*	-0,034*	0,005	-0,109***	0,042*	0,036*	-0,058***	-0,034	-0,002	0,063***	-0,016
4. Zufriedenh. Wohnumgebung	-0,02	0,066***	1	0,357***	-0,233***	0,128***	-0,175***	0,118***	-0,343***	-0,35***	-0,169***	-0,172***	-0,198***	-0,303***	-0,239***
5. Zufriedenh. Wohnung/Haus	0,078***	0,102***	0,357***	1	-0,072***	0,038*	0,01	0,004	-0,078***	-0,082***	-0,115***	-0,241***	-0,033	-0,049**	-0,058***
6. Empfindlichk. Lärm	0,007	0,036*	-0,233***	-0,072***	1	-0,18***	0,213***	-0,18***	0,374***	0,352***	0,065***	0,106***	0,26***	0,425***	0,287***
7. Förderung Weiterentwickl.	-0,041*	-0,034*	0,128***	0,038*	-0,18***	1	-0,247***	0,616***	-0,231***	-0,248***	-0,027	-0,017	-0,249***	-0,309***	-0,233***
8. Wertminderung	0,108***	0,005	-0,175***	0,01	0,213***	-0,247***	1	-0,258***	0,351***	0,372***	0,014	-0,002	0,222***	0,37***	0,234***
9. Neue Arbeitsplätze	-0,054**	-0,109***	0,118***	0,004	-0,18***	0,616***	-0,258***	1	-0,274***	-0,294***	-0,053**	-0,021	-0,249***	-0,334***	-0,245***
10. Lärmbelästigung ins.	0,086***	0,042*	-0,343***	-0,078***	0,374***	-0,231***	0,351***	-0,274***	1	0,745***	0,122***	0,094***	0,342***	0,588***	0,4***
11. Verkehrslärm	0,067***	0,036*	-0,35***	-0,082***	0,352***	-0,248***	0,372***	-0,294***	0,745***	1	0,119***	0,062***	0,335***	0,61***	0,407***
12. Industrie- und Gewerbelärm	-0,001	-0,058***	-0,169***	-0,115***	0,065***	-0,027	0,014	-0,053**	0,122***	0,119***	1	0,169***	0,092***	0,087***	0,126***
13. Lärm von Nachbarn	-0,044*	-0,034	-0,172***	-0,241***	0,106***	-0,017	-0,002	-0,021	0,094***	0,062***	0,169***	1	0,033	0,047**	0,063***
14. Erschrecken	0,088***	-0,002	-0,198***	-0,033	0,26***	-0,249***	0,222***	-0,249***	0,342***	0,335***	0,092***	0,033	1	0,508***	0,414***

Variablen	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
15. Nervös und gereizt	0,069***	0,063***	-0,303***	-0,049**	0,425***	-0,309***	0,37***	-0,334***	0,588***	0,61***	0,087***	0,047**	0,508***	1	0,565***
16. Kopfschmerzen	-0,021	-0,016	-0,239***	-0,058***	0,287***	-0,233***	0,234***	-0,245***	0,4***	0,407***	0,126***	0,063***	0,414***	0,565***	1
17. Einschlafen	0,004	0,078***	-0,256***	-0,041*	0,397***	-0,27***	0,32***	-0,297***	0,549***	0,565***	0,059***	0,056***	0,403***	0,641***	0,49***
18. Durchschlafen	0,068*	-0,021	-0,125***	-0,011	0,266***	-0,114***	0,161***	-0,107***	0,224***	0,209***	0,055*	0,052	0,166***	0,237***	0,158***
19. Ausschlafen	0,038*	0,113***	-0,237***	-0,025	0,364***	-0,254***	0,332***	-0,296***	0,528***	0,558***	0,054**	0,024	0,382***	0,622***	0,465***
20. Vertrauen Hersteller	-0,013	-0,04*	0,116***	0,002	-0,169***	0,256***	-0,21***	0,215***	-0,241***	-0,242***	-0,049**	-0,033	-0,204***	-0,271***	-0,207***
21. Vertrauen Fluggesellschaft	0,013	-0,087***	0,138***	0,018	-0,169***	0,238***	-0,251***	0,247***	-0,281***	-0,292***	-0,012	-0,031	-0,168***	-0,286***	-0,193***
22. Vertrauen Betreiber	-0,029	-0,06***	0,158***	0,007	-0,237***	0,365***	-0,332***	0,375***	-0,356***	-0,368***	-0,035*	-0,034	-0,261***	-0,399***	-0,259***
23. Vertrauen Behörde	0,004	0,011	0,108***	0,056**	-0,093***	0,139***	-0,072***	0,11***	-0,11***	-0,102***	-0,062***	-0,064***	-0,105***	-0,118***	-0,139***
24. Vertrauen Bundesamt für Luftfahrt	-0,001	-0,101***	0,146***	0,023	-0,212***	0,302***	-0,3***	0,3***	-0,365***	-0,37***	-0,034	-0,024	-0,227***	-0,372***	-0,251***
25. Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen	0,018	-0,009	0,261***	0,174***	-0,263***	0,232***	-0,235***	0,261***	-0,352***	-0,378***	-0,075**	-0,106***	-0,304***	-0,405***	-0,288***
26. $L_{Aeq,Nacht}$	0,17***	-0,101***	-0,1***	-0,01	0,014	0,011	0,029	-0,017	0,13***	0,146***	-0,059***	-0,045**	0,068***	0,106***	0,08***
27. $L_{Amax1,Nacht}$	0,118***	-0,073***	-0,086***	0,008	0,013	0,02	0,02	-0,003	0,103***	0,124***	-0,063***	-0,051**	0,072***	0,103***	0,069***
28. AWR	0,179***	-0,071***	-0,061***	-0,014	0,011	0,008	0,033	-0,017	0,114***	0,123***	-0,065***	-0,045**	0,037*	0,068***	0,06***
29. $L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,144***	-0,098***	-0,11***	0,005	0,014	0,004	0,051**	-0,026	0,148***	0,169***	-0,056**	-0,054**	0,072***	0,127***	0,1***

AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant; ***= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 80: Korrelationen zwischen den relevanten Variablen (fortgeführt)

Variablen	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.
1. Alter	0,018	0,09***	0,088***	0,047**	0,005	-0,013	0,034	-0,061**	0,052*	0,14***	0,149***	0,113***	0,122***
2. Wohndauer	0,004	0,068*	0,038*	-0,013	0,013	-0,029	0,004	-0,001	0,018	0,17***	0,179***	0,118***	0,144***
3. SWI	0,078***	-0,021	0,113***	-0,04*	-0,087***	-0,06***	0,011	-0,101***	-0,009	-0,101***	-0,071***	-0,073***	-0,098***
4. Zufriedenh. Wohnumgebung	-0,256***	-0,125***	-0,237***	0,116***	0,138***	0,158***	0,108***	0,146***	0,261***	-0,1***	-0,061***	-0,086***	-0,11***
5. Zufriedenh. Wohnung/Haus	-0,041*	-0,011	-0,025	0,002	0,018	0,007	0,056**	0,023	0,174***	-0,01	-0,014	0,008	0,005
6. Empfindlichk. Lärm	0,397***	0,266***	0,364***	-0,169***	-0,169***	-0,237***	-0,093***	-0,212***	-0,263***	0,014	0,011	0,013	0,014
7. Förderung Weiterentwickl.	-0,27***	-0,114***	-0,254***	0,256***	0,238***	0,365***	0,139***	0,302***	0,232***	0,011	0,008	0,02	0,004
8. Wertminderung	0,32***	0,161***	0,332***	-0,21***	-0,251***	-0,332***	-0,072***	-0,3***	-0,235***	0,029	0,033	0,02	0,051**
9. Neue Arbeitsplätze	-0,297***	-0,107***	-0,296***	0,215***	0,247***	0,375***	0,11***	0,3***	0,261***	-0,017	-0,017	-0,003	-0,026
10. Lärmbelästigung ins.	0,549***	0,224***	0,528***	-0,241***	-0,281***	-0,356***	-0,11***	-0,365***	-0,352***	0,13***	0,114***	0,103***	0,148***
11. Verkehrslärm	0,565***	0,209***	0,558***	-0,242***	-0,292***	-0,368***	-0,102***	-0,37***	-0,378***	0,146***	0,123***	0,124***	0,169***
12. Industrie- und Gewerbelärm	0,059***	0,055*	0,054**	-0,049**	-0,012	-0,035*	-0,062***	-0,034	-0,075**	-0,059***	-0,065***	-0,063***	-0,056**
13. Lärm von Nachbarn	0,056***	0,052	0,024	-0,033	-0,031	-0,034	-0,064***	-0,024	-0,106***	-0,045**	-0,045**	-0,051**	-0,054**
14. Erschrecken	0,403***	0,166***	0,382***	-0,204***	-0,168***	-0,261***	-0,105***	-0,227***	-0,304***	0,068***	0,037*	0,072***	0,072***
15. Nervös und gereizt	0,641***	0,237***	0,622***	-0,271***	-0,286***	-0,399***	-0,118***	-0,372***	-0,405***	0,106***	0,068***	0,103***	0,127***
16. Kopfschmerzen	0,49***	0,158***	0,465***	-0,207***	-0,193***	-0,259***	-0,139***	-0,251***	-0,288***	0,08***	0,06***	0,069***	0,1***

Variablen	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.
17. Einschlafen	1	0,302***	0,723***	-0,249***	-0,277***	-0,371***	-0,134***	-0,349***	-0,393***	0,127***	0,09***	0,123***	0,141***
18. Durchschlafen	0,302***	1	0,276***	-0,111***	-0,147***	-0,154***	-0,035	-0,106***	-0,175***	0,044	0,05	0,035	0,045
19. Ausschlafen	0,723***	0,276***	1	-0,242***	-0,277***	-0,363***	-0,111***	-0,35***	-0,382***	0,187***	0,159***	0,15***	0,207***
20. Vertrauen Hersteller	-0,249***	-0,111***	-0,242***	1	0,483***	0,461***	0,264***	0,459***	0,226***	0,03	0,033	0,016	0,016
21. Vertrauen Fluggesellschaft	-0,277***	-0,147***	-0,277***	0,483***	1	0,576***	0,256***	0,512***	0,242***	0,015	0,014	0,012	0,003
22. Vertrauen Betreiber	-0,371***	-0,154***	-0,363***	0,461***	0,576***	1	0,297***	0,627***	0,283***	0,049**	0,05**	0,055**	0,035*
23. Vertrauen Behörde	-0,134***	-0,035	-0,111***	0,264***	0,256***	0,297***	1	0,354***	0,118***	0,096***	0,102***	0,079***	0,098***
24. Vertrauen Bundesamt für Luftfahrt	-0,349***	-0,106***	-0,35***	0,459***	0,512***	0,627***	0,354***	1	0,239***	-0,006	-0,003	0	-0,009
25. Zufriedenheit mit Schallschutzmaßnahmen	-0,393***	-0,175***	-0,382***	0,226***	0,242***	0,283***	0,118***	0,239***	1	-0,092***	-0,048	-0,105***	-0,114***
26. $L_{Aeq,Nacht}$	0,127***	0,044	0,187***	0,03	0,015	0,049**	0,096***	-0,006	-0,092***	1	0,916***	0,917***	0,961***
27. $L_{Amax1,Nacht}$	0,123***	0,035	0,15***	0,016	0,012	0,055**	0,079***	0	-0,105***	0,917***	0,733***	1	0,931***
28. AWR	0,09***	0,05	0,159***	0,033	0,014	0,05**	0,102***	-0,003	-0,048	0,916***	1	0,733***	0,833***
29. $L_{Amax6,Nacht,innen}$	0,141***	0,045	0,207***	0,016	0,003	0,035*	0,098***	-0,009	-0,114***	0,961***	0,833***	0,931***	1

AWR=Aufwachreaktionen; *= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant; **= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant; ***= Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,001 (2-seitig) signifikant

D.3 Signifikanzprüfung der Korrelationen

Tabelle 81: Ergebnisse der Signifikanzprüfung für den Vergleich zwischen den Korrelationen von Ausschlafstörungen und den akustischen Kenngrößen

Variablen	Statistik	Ausschlafstörung
$L_{Aeq,Nacht} - L_{Amax1,Nacht}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	5,3909
	p	< 0,001***
$L_{Aeq,Nacht} - AWR$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-4,0587
	p	< 0,001***
$L_{Aeq,Nacht} - L_{Amax6,Nacht,innen}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-4,2732
	p	< 0,001***
$L_{Amax1,Nacht} - AWR$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-0,7302
	p	0,465
$L_{Amax1,Nacht} - L_{Amax6,Nacht,innen}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-9,1241
	p	< 0,001***
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Meng, Rosenthal und Rubin's z	-4,9475
	p	< 0,001***

AWR=Aufwachreaktionen; p =Signifikanzwert; z =z-Wert.

Tabelle 82: NORAH - Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit und ohne Schallschutz

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
$L_{Aeq,Nacht}$	Fishers z	0,3786	0,9921	1,6561
	p	0,705	0,321	0,98
$L_{Amax1,Nacht}$	Fishers z	0,7273	1,1656	3,0369
	p	0,467	0,244	0,002**
AWR	Fishers z	0,1154	0,5782	0,4096
	p	0,908	0,563	0,682
$L_{Amax6,Nacht,innen}$	Fishers z	0,3216	1,3733	1,8496

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
	p	0,748	0,17	0,064

p =Signifikanzwert; z =z-Wert; AWR=Aufwachreaktionen; * = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant;

** = Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Tabelle 83: NORAH - Ergebnisse der Signifikanzprüfung der Korrelationen zwischen den Variablen in den Subgruppen mit geöffnetem und geschlossenem Fenster

Variablen	Statistik	Ein-schlafen	Durch-schlafen	Aus-schlafen
$L_{Aeq,Nacht}$	Fishers z	0,3027	-0,4050	0,2563
	p	0,762	0,685	0,798
$L_{Amax1,Nacht}$	Fishers z	0,2773	-0,2275	-0,1521
	p	0,782	0,244	0,879
AWR	Fishers z	0,2003	-0,4267	0,431
	p	0,841	0,67	0,666
$L_{Amax6,Nacht,in-nen}$	Fishers z	0,1773	0,0758	1,3333
	p	0,859	0,94	0,182

p =Signifikanzwert; z =z-Wert; AWR=Aufwachreaktionen