

NORAH

Noise-related annoyance, cognition, and health

Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld

Erfassung der Verkehrsgeräuschemexposition

Endbericht, Band 2:

Dokumentation zur Berechnung der akustischen Daten in NORAH

AUTOREN, PROJEKTBEARBEITUNG

Ulrich Möhler
Manfred Liepert
Maximilian Mühlbacher
Alfred Beronius
Martin Nunberger

Möhler + Partner Ingenieure AG, 80336 München

Gerd Braunstein
Michael Gillé
Jochen Schaal

SoundPLAN GmbH, 71522 Backnang

Rüdiger Bartel

Avia Consult, 15344 Strausberg

HERAUSGEBER, AUFTRAGGEBER

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH
Rüsselsheimer Str. 100
65451 Kelsterbach

GESAMTKOORDINATION DER NORAH-STUDIE

Rainer Guski

Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

Dirk Schreckenberger

Zeus GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie,
Umwelt- und Sozialforschung, 58093 Hagen

INTERNE QUALITÄTSSICHERUNG DIESES TEILPROJEKTS

Berthold Vogelsang	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Hannover
Alois Heiß	Garching

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER EXTERNEN QUALITÄTSSICHERUNG

Mark Brink	ETH Zürich Schweiz
Erland Erdmann	Universität zu Köln
Kerstin Giering	Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
Barbara Griefahn	Leibniz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund
Jürgen Hellbrück	Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (ab Januar 2014)
Wolfgang Hoffmann	Universitätsmedizin Greifswald
Christian Maschke	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, Potsdam (bis Dezember 2013)
Lothar Ohse	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
Georg Thomann	Amt für Natur und Umwelt, CH-Graubünden (ab Januar 2013)
Irene van Kamp	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL-Bilthoven
Joachim Vogt	Technische Universität Darmstadt (ab April 2014)

Sämtliche in diesem Dokument enthaltenen wissenschaftlichen Texte, Grafiken, Tabellen und sonstigen Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Sie dürfen ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Urhebers oder des Herausgebers weder ganz, noch auszugsweise kopiert, verändert, vervielfältigt oder veröffentlicht werden. Eine – auch auszugsweise – Veröffentlichung oder Verwendung dieses Dokumentes ist auch mit Zustimmung von Urheber bzw. Herausgeber grundsätzlich nur unter Angabe der vollständigen Quelle zulässig.

Stand 30. September 2015

ZUR STUDIE NORAH - VERKEHRSLÄRMWIRKUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD – ERSCHIENENE BÄNDE

- | | |
|--------|--|
| Band 1 | Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern |
| Band 2 | Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen |
| Band 3 | Belästigung und Lebensqualität |
| Band 4 | Fluglärm und nächtlicher Schlaf |
| Band 5 | Blutdruckmonitoring |
| Band 6 | Erkrankungsrisiken |
| Band 7 | Gesamtbetrachtung |

Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wird die Ermittlung der Verkehrsgeräuschexposition für die 3 Module der NORAH Studie, Modul 1 „Belästigung und Lebensqualität“, Modul 2 „Gesundheit“ und Modul 3 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“ beschrieben und dokumentiert. Ziel war es, für jeden einzelnen Untersuchungsteilnehmer die individuelle Lärmsituation in der jeweiligen Wohnsituation außerhalb und teilweise innerhalb der Wohnung getrennt für Luftverkehrs-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsgeräusche quellenspezifisch möglichst realistisch zu erfassen. Der Untersuchungsraum umfasste für die Studienmodule 1 und 3 das Gebiet um den Flughafen Frankfurt/Main mit einem Dauerschallpegel ≥ 40 dB(A) sowie die entsprechenden Untersuchungsräume im Umfeld der Flughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld. Der Untersuchungsraum des Studienmoduls 2 erstreckte sich auf den gesamten Regierungsbezirk Darmstadt des Landes Hessen und Teile des Landes Rheinland - Pfalz. Im Studienmodul 1 war die akustische Belastung im Bereich des Flughafens Frankfurt für ca. 22.000 Adressen und im Bereich der Vergleichsflughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld für insgesamt ca. 22.200 Adressen zu ermitteln. Im Studienmodul 2 war für ca. 863.200 Gebäudeadressen die Lärmbelastung festzustellen, im Studienmodul 3 für ca. 1.300 Adressen. Der Immissionsort bei der Bestimmung der Lärmexposition durch Straße und Schiene lag vor der „lautesten“ Fassade der jeweiligen Adresse, bei Luftverkehrsgeräuschen am Gebäudeschwerpunkt. In den Studienmodulen 2 und 3 konnten aus den Befragungsdaten Informationen zur Ausrichtung der Schlaf- und Wohnräume zur jeweiligen Verkehrslärmquelle gewonnen werden; in diesen Fällen wurden die Schallpegel auf die so konkretisierte Fassade bezogen. Zusätzlich zu den o.a. Außenpegeln wurden für die Adressen der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken im Studienmodul 2 die Innenpegel auf der Grundlage der erfragten Fensterstellgewohnheit abgeschätzt. Im Zusammenhang mit der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“ des Studienmoduls 2 und mit dem Studienmodul 3 wurden vom Erhebungspersonal detaillierte Angaben zur akustischen Beschaffenheit der Außenbauteile erhoben. Auf der Grundlage dieser Daten wurden für diese ca. 1.400 Adressen zusätzlich Innenpegel berechnet. Die Kennzeichnung der Verkehrsgeräuschbelastung erfolgte sowohl über den Mittelungspegel für unterschiedliche Zeitbereiche als auch über den Maximalpegel. Als Bezugszeiten zur Bildung des Mittelungspegels wurden die - auch in der Gesetzgebung verwendeten - Zeiträume Tag, Abend, Nacht, 24h verwendet; zusätzlich wurden - je nach Aufgabenstellung - die Dauerschallpegel für weitere Zeitscheiben ermittelt. Die so ermittelte Verkehrsgeräuschbelastung sollte sich auf den Zeitraum beziehen, in denen die Befragungen stattfanden; dies waren in den Studienmodulen 1 und 3 die Jahre 2010 bis 2014; für das Studienmodul 2 war es erforderlich, zusätzlich die Verkehrsgeräuschbelastung bei den Probanden in den zurückliegenden Jahren bis zum Jahr 1996 abzubilden. Die Mittelungspegel und Maximalpegel der Luftverkehrsgeräusche wurden nach der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) ermittelt. Für den im Studienmodul 2 zu berücksichtigenden Umgriff war die Grundlage des Datenerfassungssystems (DES) nicht ausreichend; zudem standen die erforderlichen Daten nicht für alle Un-

tersuchungsjahre zur Verfügung. Durch die direkte Verwendung individueller Radardaten konnten die Anforderungen an den Umgriff des Untersuchungsgebietes und an die Dokumentation vergangener Jahre erfüllt werden, jedoch musste hierzu ein Verfahren entwickelt werden, das die Flugbahnen einzelner Flüge, die durch das Radar der Flugsicherung aufgezeichnet werden, einzeln verarbeiten kann. Für dieses Verfahren wurden Möglichkeiten der Berücksichtigung von Radardaten geprüft und Vergleichsrechnungen durchgeführt. Diese wurden mit Messungen verifiziert, indem die berechneten Mittelungspegel mit den an Monitoring-Stationen ermittelten Werten verglichen wurden. Das schließlich festgelegte Verfahren zeigte eine gute Übereinstimmung mit den Messungen. Die Eingangsdaten für die Fluglärmrechnungen wurden von der DFS für die o.a. benötigten Jahre zur Verfügung gestellt; die erforderlichen Daten für Straßenverkehr wurden aus Verkehrszählungen gewonnen, die Daten für den Schienenverkehr wurden aus Angaben des Eisenbahn-Bundesamtes und des Bahnumweltzentrums abgeleitet. Die Ermittlung der Pegelminderung auf dem Ausbreitungsweg zwischen Schallquelle und Immissionsort erfolgt auf der Grundlage eines digitalen Geländemodells, das sowohl das Gelände als auch die Gebäudeumringe umfasste. Für die Festlegung von Schallschutzwänden und Wällen an Straßen- und Schienenwegen wurden zusätzliche Informationsquellen genutzt. Die Mittelungspegel der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche wurden auf der Grundlage der für die EU-Lärmkartierung verwendeten Berechnungsverfahren (VBUS, VBUSCH) ermittelt. Da für den Maximalpegel für Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsgeräusche keine standardisierten Berechnungsverfahren vorliegen, wurden hierfür Methoden zur Abschätzung der Maximalpegel abgeleitet. Die errechneten Daten wurden in Datenbanken abgelegt; vor Übergabe der Daten an die Studienmodule wurden die Berechnungsergebnisse einer Plausibilitätskontrolle unterzogen und ggfs. Korrekturen vorgenommen. Unsicherheiten oder auch Zufallsfehler sind generell in akustischen Kenngrößen enthalten, unabhängig davon, ob es sich um berechnete oder um gemessene Pegelkenngößen handelt. Die messbedingte Unsicherheit ergibt sich bereits aufgrund der Unsicherheit der Messgeräte; sie wird aber noch durch die umgebenden Messbedingungen, d. h. (in der Regel stochastische) Schwankung der Emission, der Wetterbedingungen und der Fremdgeräusche erhöht. Berechnungen gehen dagegen von akustischen Modellen aus, welche die Situation annähern. In beiden Fällen ist bei der Ermittlung der akustischen Belastung immer eine Unsicherheit enthalten, auch wenn dies nicht immer explizit erwähnt wird. Da diese Unsicherheit die Beziehung zwischen Exposition und Wirkung beeinflussen kann, wurde diese Unsicherheit im Rahmen der NORAH Studie bewusst quantifiziert, um deren Auswirkungen auf die Studienergebnisse darstellen zu können und somit zu einer höheren Transparenz beizutragen. Zu diesem Zweck wurde eine detaillierte schrittweise Fehlerbetrachtung getrennt für die betrachteten Verkehrsgeräuscharten und die wesentlichen Einflussfaktoren der Schallemission und der Schallausbreitung ermittelt. Zusammenfassend zeigte sich, dass die kombinierte Standardunsicherheit zwischen 3 und 5 dB liegt. Der Einfluss der Berechnungsunsicherheit auf die Ergebnisse der Exposition-Wirkungsbeziehung wurde am Beispiel des Studienmoduls 3 überprüft. Dabei zeigte sich, dass sich durch den Einbezug der Unsicherheit der Verkehrsgeräuschexposition in die interdisziplinären Auswertungen zwar die Gesamtunsicherheit erhöht, der Verlauf der Expositions-Wirkungsbeziehung jedoch nur unerheblich beeinflusst wird.

Summary

The current report describes and documents the measurement of exposure to traffic noise for the 3 modules in the NORAH study: module 1 "Disturbance and quality of life", module 2 "Health" and module 3 "Effects of chronic aircraft noise pollution on cognitive performance and quality of life of primary school children". The aim was to document, as realistically as possible and specific to the noise source, the individual noise levels for each participant in the study in their respective housing situation, inside and outside their homes, separated into sounds associated with aircraft, road traffic and rail traffic. The study area for modules 1 and 3 was the region around the Frankfurt/Main airport that is exposed to constant sound levels ≥ 40 dB(A) and the corresponding areas around Cologne/Bonn, Stuttgart and Berlin/Schönefeld airports. The area investigated in study module 2 extended across the entire Darmstadt administrative district in the State of Hesse and parts of the State of Rhineland-Palatinate. Study module 1 was to determine the levels of noise pollution in the region of Frankfurt airport for approx. 22,000 addresses and for 22,200 addresses in the areas of the airports used for comparison, Cologne/Bonn, Stuttgart and Berlin/Schönefeld. Noise pollution levels were to be determined for approx. 863,200 addresses in study module 2 and for approx. 1,300 addresses in study module 3. The immission site for the measurement of exposure to noise caused by road and rail traffic was in front of the facade exposed to the highest noise level at a given address and in the centre of the building for aircraft noise. Study modules 2 and 3 obtained information on the orientation of bedrooms and living rooms with reference to the source of traffic noise from data collected in interviews; the sound levels were related to the facade in question. In addition to the outdoor sound levels given above, the indoor sound levels were estimated for the addresses investigated in the case-control study in study module 2 based on answers about habits related to opening the windows; fixed corrections of the estimates were made depending on the position of the window. Detailed data on the acoustic properties of external structural elements of the buildings were collected by the field personnel in association with the substudy "Blood pressure monitoring" in study module 2 and in study module 3. Based on this data indoor sound levels were additionally estimated for the above mentioned. 1,300 addresses in study module 3. Noise pollution was characterized using both the average sound level for different time periods and the maximum sound level. The time periods day, evening, night, 24h – which are also being used in legislation – were applied as reference times for calculating average sound levels. In addition, depending on the given task, constant sound levels were determined for other time slots. Thus the thereby determined noise pollution should refer to the time period during which the interviews were carried out. This covered the years from 2010 to 2014 in study modules 1 and 3. For study module 2, noise pollution experienced by the subjects also had to be assessed for previous years, going back to 1996. Average and maximum sound levels caused by aircraft noise were determined in accordance with the guidelines for calculations for noise abatement zones (AzB). The basis of the data collection system (DCS) was insufficient for the scope that needed to be considered in study module 2. Addi-

tionally the required data were not available for all study years. The requirements of the scope of the study area and of the documentation on past years were fulfilled through the direct use of individual radar data. However, this required the development of a new procedure that can separately process the flight paths of individual flights that are recorded by the flight safety radar. Options for considering radar data were assessed and comparative calculations were carried out for this procedure. These were then verified using measurements by comparing the calculated average sound levels with the values determined using the monitoring stations. The procedure that was finally decided on exhibited the greatest concordance with the measurements. The input data for the aircraft noise calculations were made available by the German flight safety operator, DFS, for the required years given above. The data required for road traffic was obtained from traffic counts and the data for rail traffic was derived from information provided by the Federal Railway Authority and the German Railway environmental department. The reduction in sound levels along the path of propagation between the source of the sound and the immission site is determined based on a digital landscape model that included both the landscape and the footprints of buildings. Additional sources of information were used to determine the position of noise barriers and walls along roads and railway tracks. The average sound levels for road and rail traffic noise were determined based on the methods for calculation (VBUS, VBUSCH) used for EU noise mapping. There are no standard methods for calculating the maximum sound levels for road and rail traffic noise. Therefore methods for estimating maximum sound levels were derived for this purpose. The calculated data were stored in databases. The results of these calculations were subjected to a plausibility check and corrections were made, if necessary, before the data were released to the study modules. Acoustic parameters generally incorporate uncertainties and also random errors, irrespective of whether these are sound parameters that have been calculated or measured. Uncertainty due to the measurement already arises from the uncertainty associated with the measuring devices, but is then increased by the surrounding conditions during measurement, i.e. (generally stochastic) variations in emission, weather conditions and extraneous noise. In contrast, calculations are based on acoustic models that approximate the situation. In both cases, determination of noise pollution always incorporates uncertainty, even if this is not always stated explicitly. This uncertainty was expressly quantified in the NORAH study to allow an illustration of its effects on the results of the study and to thus increase transparency as uncertainty can affect the relationship between exposure and effect. For this purpose, detailed step-wise error measurements were carried out separately for the types of sound source under observation and the essential factors of sound emission and sound propagation. In summary, the combined standard uncertainty is revealed to be between 3 and 5 dB. The effect of the uncertainty associated with the calculation on the results of the exposure-effect relationship was assessed based on the example of study module 3. This revealed that the inclusion of the uncertainty associated with exposure to traffic noise in the interdisciplinary analyses does result in an increase in overall uncertainty, but that the effects on the course of the exposure-effect.

Inhalt

Zusammenfassung	V
Summary	VII
Inhalt	IX
1 Aufgabenstellung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Bestimmung der Luftverkehrsgeräuschbelastung	3
1.3 Bestimmung der Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschbelastung	4
2 Berechnungsmethodik	5
2.1 Schallemissionen	5
2.1.1 Luftverkehrsgeräusche	5
2.1.2 Straßenverkehrsgeräusche	10
2.1.3 Schienenverkehrsgeräusche	12
2.2 Transmission	14
2.2.1 Methodik der Ausbreitungsrechnung	14
2.2.2 Berücksichtigung von Gelände und Hindernissen	16
2.2.3 Berücksichtigung der Gebäudegeometrie für die Hindernisberechnung	17
2.3 Immission	18
2.3.1 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets	18
2.3.2 Zuordnung der Probanden zu Gebäuden	21
2.3.3 Berechnung der Außengeräusche	22
2.3.4 Berechnung der verkehrsbedingten Innenpegel	25
2.3.5 Historisierung der Geräuschbelastung im Untersuchungsgebiet Frankfurt .	28
2.3.6 Abbruchkriterium	29
3 Datengrundlage	33
3.1 Topographie	33
3.1.1 Region Flughafen Frankfurt	33
3.1.2 Vergleichsstandorte Region Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin	37
3.2 Bebauung	40
3.2.1 Region Flughafen Frankfurt	40
3.2.2 Vergleichsstandorte Region Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld	41

3.3	Luftverkehr	42
3.3.1	Flughafen Frankfurt	42
3.3.2	Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld ..	47
3.4	Straßenverkehr	52
3.4.1	Frankfurt	52
3.4.2	Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld ..	55
3.5	Schienenverkehr	56
3.5.1	Region Flughafen Frankfurt	56
3.5.2	Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld ..	59
4	Vergleich Radarbahnen und DES Berechnung zu Messwerten	61
4.1	Ausgangssituation	61
4.2	Konzept zur Ermittlung der Berechnungsgrundlagen für Luftverkehrsgeräusche ..	63
4.3	Vorgehensweise beim Import und der Aufbereitung von Radardaten.....	67
4.4	Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung Phase 1	71
4.5	Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung Phase 2	79
4.5.1	Vergleich mit Messung an Monitoring -Stationen.....	79
4.5.2	Rasterberechnungen	81
4.6	Fazit der Grundlagenermittlung.....	84
5	Prüfung der Plausibilität der Berechnungsergebnisse	86
5.1	Allgemein.....	86
5.2	Luftverkehr	87
5.3	Straßenverkehr	88
5.4	Schienenverkehr	89
6	Ermittlung der Berechnungsunsicherheit	91
6.1	Motivation und Anlass zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit.....	91
6.2	Modell zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit	91
6.3	Allgemeine Methodik zur Unsicherheitsbestimmung	94
6.4	Dokumentation der akustischen Unsicherheiten für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche.....	96
6.5	Unsicherheiten bei der Abschätzung der Innenpegel	98
6.6	Kombinierte Unsicherheit im Bezug zur errechneten Höhe des Pegels.....	99
6.7	Exemplarische Darstellung der Auswirkungen auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen in Studienmodul 3	101
7	Studienmodul 1 „Belästigung und Lebensqualität“	104

7.1 Frankfurt	104
7.1.1 Aufgabenstellung	104
7.1.2 Ergebnisse der Geräuschberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehr	110
7.2 Vergleichsstandorte	115
7.2.1 Aufgabenstellung	115
7.2.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	119
8 Studienmodul 2 „Gesundheit“	123
8.1 Teilstudie „Blutdruckmonitoring“	123
8.1.1 Aufgabenstellung	123
8.1.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr	127
8.2 Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“	130
8.2.1 Aufgabenstellung	130
8.2.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr	133
8.2.3 Abschätzung der Innengeräusche in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken.....	137
9 Studienmodul 3 „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“	143
9.1 Aufgabenstellung	143
9.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr	147
Verzeichnisse	152
Tabellen	153
Abbildungen	156
Literatur	162
Glossar	165
Erläuterungen zu gewählten Schallpegelbezeichnungen.....	165
Verwendete Symbole, Abkürzungen und Begriffe	166
Anhang	175
Anhangsverzeichnis	176

1 Aufgabenstellung

1.1 Allgemeines

Der vorliegende Berichtsband 2, Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen, dokumentiert die schalltechnischen Grundlagen und die verwendeten Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Verkehrsgeräuschexposition durch Luftverkehrs-, Straßenverkehrs- und Schienenverkehrsgeräusche. Ziel der Ermittlung der Geräuschexposition ist es, ein möglichst realistisches und umfassendes Bild über die Verkehrsgeräuschbelastung der für die Untersuchungen ausgewählten Probanden in den Studienmodulen zu erhalten. Neben der Dokumentation der Ausgangsdaten und der angewendeten Berechnungsmethoden umfasst der Bericht auch Ausführungen zur Unsicherheit der ermittelten akustischen Kenngrößen. Die in jeder Berechnung oder Messung auftretenden Unsicherheiten werden in vorliegender Untersuchung abgeschätzt, um deren Einfluss auf Expositions-Wirkungsbeziehungen bewerten zu können. Der Berichtsband 2 umfasst folgende Untersuchungsteile:

- Die Kapitel 2 bis 6 beschreiben modulübergreifend die in allen Studienmodulen verwendeten Ausgangsdaten und Berechnungsmethoden. Darüber hinaus werden Abschätzungen zur Unsicherheit der ermittelten akustischen Kenngrößen getroffen.
- Die Kapitel 7 bis 9 umfassen eine Beschreibung der wesentlichen Ergebnisse der in Studienmodul 1, „Belästigung und Lebensqualität“, in Studienmodul 2 „Gesundheit“ für die Teilstudien „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“ (kurz: Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken), „Blutdruckmonitoring“ und in Studienmodul 3, „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“ ermittelten akustischen Kenngrößen.
- Der Anhang enthält zu einzelnen Themenbereichen detaillierte Ausführungen.

Für die NORAH Studie müssen für ca. 1 Mio. Probanden adressgenau akustische Kenngrößen zur Beschreibung der individuellen langfristigen Geräuschbelastung durch Luftverkehr, Straßenverkehr und Schienenverkehr im Untersuchungsraum im Umfeld des Flughafens Frankfurt bereit gestellt werden. 'Langfristig' meint hier die auf ein Jahr bzw. auf mehrere Monate eines Jahres bezogene Verkehrsgeräuschexposition. Für das Studienmodul 2 müssen zudem akustische Daten bereitgestellt werden, die die Verkehrsgeräuschexposition jeweils in den Jahren von 1996 bis 2014 beschreiben. Der Untersuchungsraum umfasst für die Studienmodule 1, 2 und 3 den gesamten Regierungsbezirk Darmstadt (RP Darmstadt) des Landes Hessen und Teile des Landes Rheinland – Pfalz (RLP). Hinzu kommen für das Studienmodul 1 die Untersuchungsräume im Umfeld der Flughäfen Köln / Bonn, Stuttgart und Berlin / Schönefeld mit jeweils ca. 7.000 Probanden.

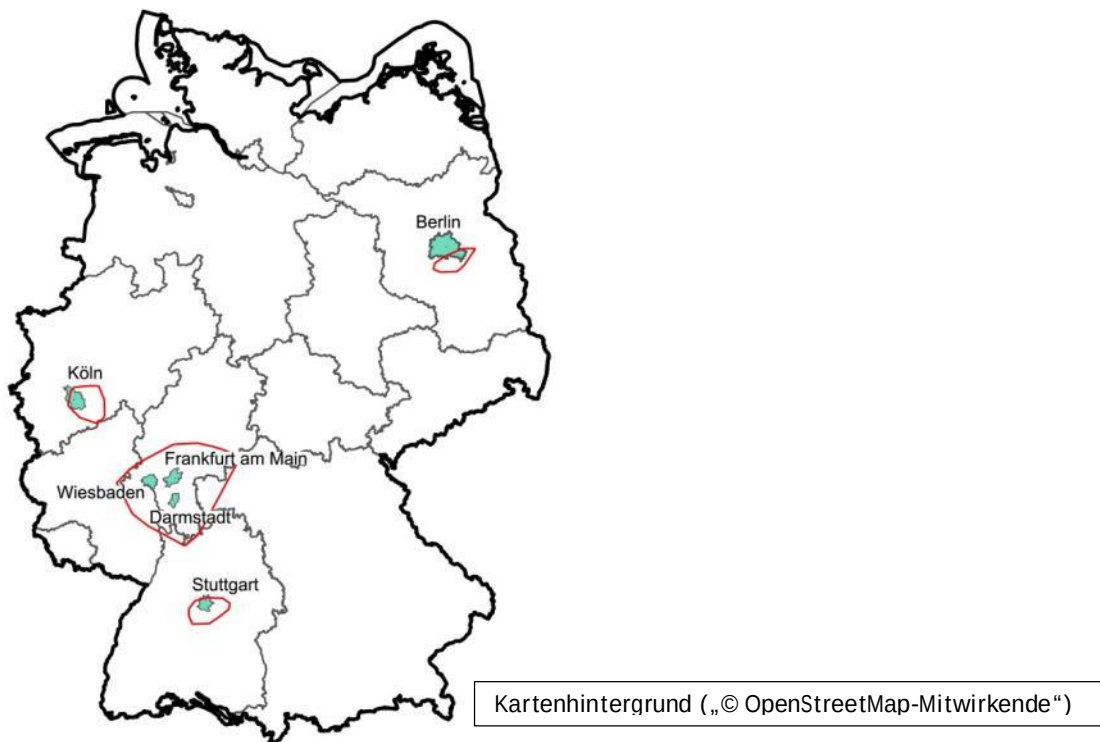


Abbildung 1-1: Untersuchungsräume der NORAH-Studie Frankfurt, Berlin, Köln, Stuttgart

In folgender Abbildung wird ein Überblick über die in der NORAH-Studie erforderliche Anzahl von Probanden- bzw. Gebäudeadressen gegeben, für die an Einzelpunkten die Ermittlung der akustischen Belastung erfolgte. Bei der Fall-Kontrollstudie zu Erkrankungsrisiken ist die Anzahl der Gebäudeadressen angegeben, deren akustische Daten zur Verschneidung mit den Probandenadressen zur Verfügung gestellt wurden.

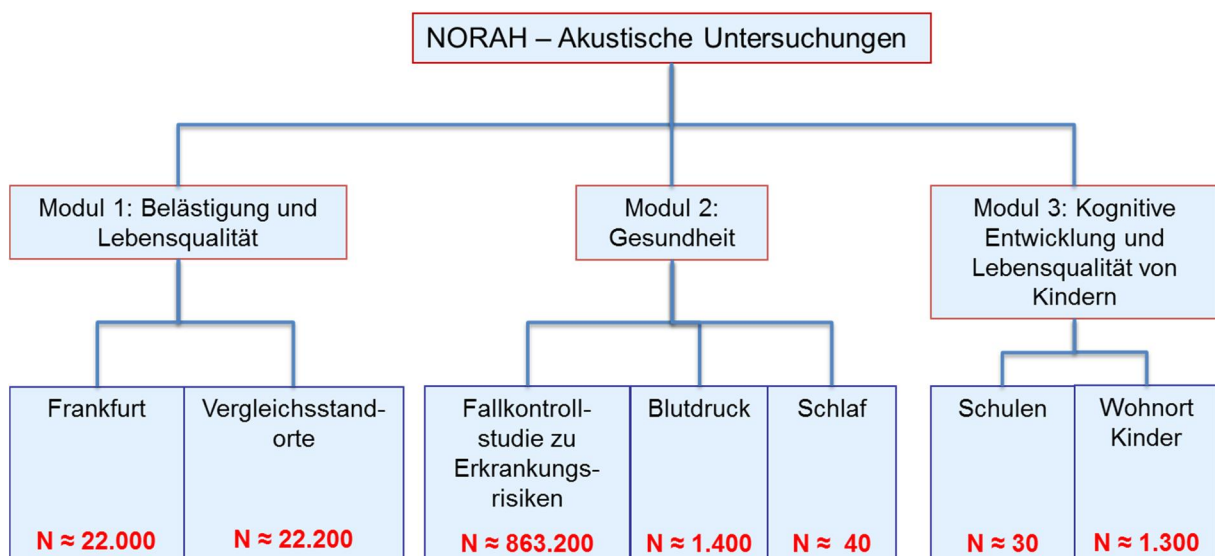


Abbildung 1-2: Überblick über die in NORAH erforderliche Ermittlung der Exposition für N Probanden- bzw. Gebäudeadressen

Aufgrund der hohen Anforderungen an eine möglichst realitätsnahe Beschreibung der akustischen Situation durch geeignete Kenngrößen einerseits und der hohen Anzahl von zu beschreibenden Schallsituationen der Probanden andererseits war eine sorgfältige Planung und Ausführung der akustischen Berechnungen erforderlich. Zu diesem Zweck wurden zu Beginn der Studie die Anforderungen an die akustischen Kennwerte im Detail mit den Vertretern der jeweiligen Studienmodule abgestimmt und schließlich zusammen mit einem Zeitplan festgelegt. Die akustischen Berechnungen wurden Anfang 2012 begonnen und im Jahr 2015 abgeschlossen.

1.2 Bestimmung der Luftverkehrsgeräuschbelastung

Die Luftverkehrsgeräuschbelastung ist für die Probandenauswahl aller Studienmodule und für die inhaltlichen statistischen Auswertungen zur Analyse von Expositionswirkungsbezügen zu bestimmen. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen Langzeitwirkungen, beispielsweise bezogen auf alle Monate eines Bezugsjahres und einer vorhandenen Luftverkehrsgeräuschbelastung, bezogen auf den Zeitpunkt während der Erhebungen. Für die Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken im Studienmodul 2 werden zudem die akustischen Kenngrößen für die Jahre 1996 bis 2014 berücksichtigt. Als Kennzeichnungsgröße der Luftverkehrsgeräuschbelastung für die Probandenauswahl werden der L_{dn} (bzw. das deutsche Pendant L_{tn}) mit einem 10 dB-Zuschlag für die Nacht 22:00 Uhr - 06:00 Uhr sowie die Umhüllenden der 40 dB Tages- und Nachtkonturen als Schichtungsmerkmale (vgl. hierzu Band 3: Belästigung und Lebensqualität) verwendet. Im Rahmen der Expositionswirkungsauswertungen werden weitere Expositionsmaße und Beschreibungsgrößen wie der Langzeitmittelungsschalldruckpegel (kurz: Mittelungspegel) $L_{pA,eq}$ und mittlere Maximalschalldruckpegel (kurz: Maximalpegel) $L_{pAS,max}$ und die Anzahl von Flügen berücksichtigt.

Für die Probandenauswahl an den Vergleichsflughafenstandorten werden die gleichen akustischen Kenngrößen wie für den Flughafen Frankfurt verwendet. Die adressgenaue Bestimmung des Mittelungspegels ist für alle drei Studienmodule erforderlich. Soweit nicht anders beschrieben, ist mit der Ermittlung des Mittelungspegels die Erfassung der Luftverkehrsgeräuschbelastung über alle Monate eines Jahres (im Folgenden 'jahresbezogene' Luftverkehrsgeräuschbelastung) gemeint, im Gegensatz zur Erfassung einer vorhandenen Luftverkehrsgeräuschbelastung zum Zeitpunkt der Erhebung. Je nach Teilmodul und Fragestellung ist das Bezugsjahr für die Berechnung das Jahr der Erhebung und/oder ein bzw. mehrere Vorjahre. Näheres dazu findet sich in den Darstellungen der modulbezogenen Beschreibung der akustischen Erhebungen (Kapitel 7 bis 9).

Die Langzeitbetrachtung der Luftverkehrsgeräuschbelastung dient der Expositionswirkungsauswertungen für die Untersuchungsteilnehmer des Studienmoduls 1 in der Rhein-Main-Region und an anderen Standorten, des Studienmoduls 2 für die Versicherten im Rahmen der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken sowie für das Studienmodul 3 zur kog-

nitiven Entwicklung und Lebensqualität von Kindern. Für jeden Untersuchungsteilnehmer sollen als akustische Kenngrößen für die Luftverkehrsgeräuschbelastung der Mittelungspegel und der Maximalpegel adressgenau berechnet werden. Zur Definition der verwendeten akustischen Kenngrößen siehe Teil III, Glossar. Für Vergleichsflughafenstandorte werden die gleichen akustischen Kenngrößen adressgenau bestimmt.

1.3 Bestimmung der Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschbelastung

Die Bestimmung der Geräuschbelastung für die Probandenauswahl für Straßen- und Schienenverkehr erfolgt wie bei den Luftverkehrsgeräuschen über den L_{dn} (vgl. Kapitel 1.2). Die Berechnung des Beurteilungspegels erfolgt nach den in der Verwaltungspraxis angewendeten Berechnungsverfahren (34. BImSchV, Anlage 2 und Anlage 3, 2006; Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm, 2007) (vgl. Kapitel 2). Zur Beschreibung der Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschbelastung werden Mittelungspegel und Maximalpegel berechnet. Da es für die Ermittlung der Maximalpegel von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen keine gesicherten Berechnungsverfahren gibt, ist es notwendig, hierfür Näherungsverfahren anzuwenden.

2 Berechnungsmethodik

In den folgenden Abschnitten werden die modulübergreifend verwendeten Berechnungsmethoden getrennt für die drei Verkehrsgeräusche jeweils für Schallemission, Transmission und Schallimmission erläutert. Modulspezifische Besonderheiten werden in den Kapiteln 7 bis 9 mit den Ergebnissen der Berechnungen dargestellt.

2.1 Schallemissionen

2.1.1 Luftverkehrsgeräusche

2.1.1.1 Berechnungsmethodik für Mittelungspegel

Allgemeines

Die akustische Belastung durch Luftverkehr wird nach den Rechenalgorithmen der Anlage 2 der Ersten Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen, „Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen“ (AzB) ermittelt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Bei den Vergleichsflughäfen Köln, Stuttgart und Berlin werden die Eingangsdaten, wie in der zugehörigen Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008) vorgesehen, aus den sogenannten Datenerfassungssystemen (DES) (aggregierte Beschreibung von Flugbahnen unter Berücksichtigung von Korridorbreiten) zur Verfügung gestellt. Die ursprüngliche Absicht, diese Grundlage auch für den Flughafen Frankfurt am Main (EDDF: ICAO-Ortskennung ED = Nord-europa, Deutschland; D = internationaler Verkehrsflughafen; F = Frankfurt am Main) zu verwenden, musste nach den ersten Berechnungen verworfen werden. Der Untersuchungsraum, der den Bereich von Mittelungspegeln bis unter 40 dB nachts einschließt, umfasst einen wesentlich größeren Umgriff, als den von den vorhandenen DESe abgedeckten Bereich. Für die Vergleichsflughäfen Köln, Stuttgart und Berlin mit den vergleichsweise geringeren Flugbewegungszahlen sind die DESe in der Ausdehnung ausreichend. Im Fall von Frankfurt am Main, müssen diese jedoch deutlich verlängert werden, um den Umgriff des gesamten Untersuchungsgebiets zu erfassen.

Da diese Verlängerung innerhalb des für NORAH vorgesehenen Zeitplans nicht umsetzbar ist und zudem historische Daten der Jahre 1996 bis 2010 für das Studienmodul 2 (Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken) zu berechnen sind, wird am Flughafen Frankfurt am Main auf Radarbahnen von Einzelflügen als direkte Eingangsgrößen zurückzugriffen. Die Emissionsdaten der AzB sind unverändert übernommen (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Im Rahmen der NORAH-Studie beschränkt sich der Flugbetrieb auf den nicht bodengebundenen Luftverkehr. Rollwege und Beiträge von Hilfsgasturbinen (APUs) bleiben bei den Einzelpunktberechnungen für die Probanden unberücksichtigt, da deren Einfluss auf den Nahbereich um den Flughafen beschränkt ist und die Probanden- bzw. Gebäudeadressen in weiteren Entfernungen liegen. Diese bodennahen Quellen haben daher keinen relevanten Einfluss auf die Geräuschbelastung an den Probanden- bzw. Gebäudeadressen.

Berechnung der Schallemissionen mit DESen an den Vergleichsflughäfen Köln, Stuttgart und Berlin/Schönefeld

In der AzB werden Luftfahrzeugtypen mit ähnlichen technischen Parametern zu Luftfahrzeuggruppen zusammengefasst, die jeweils in eine Startklasse und Landeklasse unterteilt werden. Dabei bilden die für die Schallemission besonders wichtigen Daten, wie Antriebsart, Triebwerksleistung, Startgewicht und Festlegungen der ICAO zu üblichen Flugverfahren, die Grundlage dieser Klassifizierung. Die in der AzB veröffentlichten physikalisch-technischen Daten der Luftfahrzeugklassen bilden eine wesentliche Grundlage für die Durchführung der Berechnungen zur Beurteilung der Luftverkehrsgeräuschbelastung. Die Luftfahrzeuggruppen sind aus Tabelle 3 der AzB ersichtlich (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Für die Luftfahrzeugklassen errechnet sich die emittierte Schallleistung nach den in den Datenblättern der AzB angegebenen Werten. Diese enthalten je Luftfahrzeuggruppe, getrennt nach Start und Landung, Oktavbandpegel und Richtungsfaktoren sowie Leistungsdaten. Die Leistungsdaten beinhalten dabei abhängig von den Flugstreckenkoordinaten die Angaben zu Zusatzpegeln Z zur Berücksichtigung der Änderung in der Triebwerksleistung, Geschwindigkeit v und Flughöhe H . Die Einteilung der Luftfahrzeugtypen in die Luftfahrzeuggruppen erfolgt üblicherweise anhand einer festen Zuordnungstabelle. Das der AzB zu Grunde liegende Modell geht von der Annahme einer bewegten Punktschallquelle aus, für die an jedem Punkt der Bahn die Schallleistung, die Geschwindigkeit sowie die Abstrahlcharakteristik bekannt sind. Die bewegte Punktschallquelle wird durch eine Linien-schallquelle nachgebildet, die für die Berechnung der benötigten Immissionskenngrößen in Teilstücke zerlegt wird. Diese Teilstücke wiederum sind Ausgangspunkt für die Ausbreitungsberechnungen. Die einzelnen sich bewegenden Schallquellen repräsentieren die Luftfahrzeugklassen.

Segmentierung der Flugbahn mit DESen bei den Vergleichsflughäfen

Zur Berechnung der Kenngrößen der Geräuschbelastung werden die dreidimensionalen Flugbahnen der Luftfahrzeuge in lineare Segmente unterteilt. Von jedem dieser Segmente trägt das Luftfahrzeug mit einem Beitrag zur Schallexposition an einem Immissionsort bei. Die Unterteilung der dreidimensionalen Flugbahn erfolgt in drei Schritten (siehe 1. FlugLSV, Anlage 2, 2008):

1. Der erste Schritt der Segmentierung ist die Zerlegung der Flugstrecke bzw. des Flugweges (oder auch Flugspur). Bei der Berechnung werden alle im DES beschriebenen Flugstrecken berücksichtigt. Jede dieser Flugstrecken ist durch eine Folge von Abschnitten (Geraden, Kreisbögen) dargestellt. Kreisbögen werden durch Sehnenstücke mit Bogenwinkeln von maximal 15° approximiert. Dabei muss die Sehnenlänge $d \leq 100$ m sein. Dadurch ergibt sich eine Folge von geradlinigen Streckenteilabschnitten.
2. Die den jeweiligen Luftfahrzeugklassen zugeordneten Vertikalprofile stellen ebenfalls eine Folge von linearen Teilstücken dar, die als Profilsegmente (Flugprofil) bezeichnet werden. Art und Länge der Profilsegmente ergeben sich aus den Datenblättern der Luftfahrzeugklassen. Im zweiten Schritt wird die segmentierte Flugspur mit dem ebenfalls segmentierten Flugprofil verschnitten. Daraus resultiert eine Folge von Flugbahnsegmenten, die als Grundlage der Berechnung dient.

3. Im dritten Schritt werden aus den Bahnsegmenten durch Belegung mit luftfahrzeugklassen-spezifischen Emissionen Bahnteilsegmente generiert. Die Unterteilung in gleich lange Teilsegmente erfolgt so lange, bis die Pegel der längenbezogenen Schalleistungsexposition $L_{W'AE}$ aufeinander folgender Bahnteilsegmente sich in keinem Fall um mehr als 1 dB unterscheiden. Die Bahnteilsegmente gehen dann als Schallquellen in die Berechnung ein.

Bei Vorhandensein eines Flugkorridors werden der segmentierten Flugstrecke in Abhängigkeit von der Korridorbreite über eine Verteilungsfunktion äquidistant verlaufende Flugbahnen zugeordnet. Bei Berechnungen gemäß AzB ist der Korridor in 15 gleichbreite Teilkorridore zu unterteilen, deren Mittellinie als Flugweg bezeichnet wird. Der Anteil der Vorbeiflüge von Luftfahrzeugen auf einem Flugweg (also innerhalb eines Teilkorridors) an der Anzahl der auf der Flugstrecke verkehrenden Luftfahrzeuge ergibt sich durch Integration der Verteilungsfunktion über den Teilkorridor. In Abhängigkeit vom kürzesten Abstand zum Immissionsort erfolgt für die so entstandenen Segmente eine weitere Unterteilung in Teilstücke, deren Länge nicht mehr als 1/10 des kürzesten Abstands beträgt. Bei der Immissionsberechnung wird jedes Teilstück durch eine Punktschallquelle in ihrem Mittelpunkt ersetzt (vgl. 1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

Berechnung der Flugbahnen am Flughafen Frankfurt am Main

In Frankfurt am Main wird aufgrund der o. a. unzureichenden Beschreibungslänge der DESe auf individuelle Flugbahnen von Einzelflügen (Radarbahnen) als direkte Eingangsdaten zurückgegriffen. Während bei den hochaggregierten DEsen die jährlichen Flugbewegungsdaten zu Flugstrecken mit Korridoren, auf denen die einzelnen Bewegungen mit einer Normalverteilung verteilt werden, zusammengefasst sind, repräsentiert jede Radarbahn einen Einzelflug eines bestimmten Luftfahrzeugtyps. Ausgehend von jeder Radarbahn liefert jede Flugbewegung einen Beitrag (Schallexpositionspegel L_{pAE}) an jedem Immissionsort zum Mittelungspegel. Grundlage hierfür sind dieselben Rechenalgorithmen wie die der AzB. Abweichend davon kann jedoch auf eine Korridorbreite verzichtet werden, da der Einzelflug keine Verteilungshäufigkeit über eine Korridorbreite erfordert. Es werden lediglich die Koordinaten der Radaraufzeichnung als (mittlere) Flugspur (bzw. Radarspur) zugrunde gelegt und diese Radarspur in Segmente zerlegt. Für jeden Flug erfolgt zunächst die Modellierung der Schallquellen durch Einordnung in die Luftfahrzeugklasse. Die für jede Luftfahrzeugklasse in der AzB angegebenen Emissionsdaten (Quelldaten, Oktavbandpegel und Richtungsfaktor) werden zur Berechnung der Immissionen verwendet. Die Flugleistungsdaten der Flugzeugklasse werden durch Parameter, die aus den Radardaten ableitbar sind, ersetzt (z. B. werden bei detektierten Horizontalflügen Segmente mit Zusatzpegeln versehen).

Für die Berechnungen werden aus den Radardaten verwendet:

1. Luftfahrzeugtyp, Einordnung in Luftfahrzeuggruppe;
2. x-Koordinaten der Flugbewegungen;
3. y-Koordinaten der Flugbewegungen;
4. z-Koordinate in Funktion der abgewickelten Flugdistanz (Flug- bzw. Radarprofil);
5. Geschwindigkeitsprofile aus den Radardaten.

Die unter Punkt 4. genannten Radarprofile werden ohne barometrische Korrektur als Berechnungsgrundlage übernommen, da in Flughöhen über 2 km keine aktuellen Angaben hierzu vorliegen. Da im Rahmen der NORAH-Studie der Luftverkehr für die Jahre 1996 bis 2014 abzubilden ist und die Radarrohdaten durchschnittlich ca. 450.000 Flüge pro Jahr enthalten, wäre die barometrische Höhenkorrektur mit einem unverhältnismäßig hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden gewesen, zumal der dadurch entstehende Fehler vernachlässigbar gering (vgl. Tabelle 6-3 bzw. Anhang 4) ausfällt. Auf Grundlage dieser Daten werden der Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, der Maximalpegel $L_{pAS,max}$ und die Maximalschalldruckpegel - Häufigkeitsverteilung (kurz Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung) für die Erhebungszeit (Zeitintervall der jeweiligen Untersuchung) in Abhängigkeit von den Kennzeichnungszeiten (Zeitintervall der Mittelung über eine Anzahl von Tagen) und der Mittelungszeiten (Zeitintervall der Mittelung über mehrere Stunden; kurz Teilzeiten) mit Hilfe nachfolgender Vorgehensweise berechnet.

Beispiel: Berechnung des $L_{pA,eq}$

1. Die einzelnen Vorbeiflüge der Luftfahrzeugklassen erzeugen am Immissionsort im effektiven Abstand s innerhalb der Kennzeichnungszeit Teilpegelbeiträge zum Mittelungspegel (Dauerschallpegel) gemäß AzB (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).
2. Diese Teilpegel (Schallexpositionspegel L_{pAE}) werden energetisch aufsummiert und auf einen mittleren Tag bezogen, dessen Definition sich aus der Kennzeichnungszeit ergibt. Anschließend wird dieser Langzeitsummenpegel auf die jeweilige Mittelungszeit (Teilzeit) ≥ 1 h umgerechnet.
3. Die Kennzeichnungszeit kann sich sowohl auf alle Tage innerhalb der Erhebungszeit oder auf eine Teilmenge (z. B. alle Tage eines Monats ohne das Wochenende) beziehen. Bei den berechneten Mittelungspegeln handelt es sich um Langzeitmittelungspegel.
4. Die Zuweisung der Flugbewegungen zu den jeweiligen Teilzeiten erfolgt automatisiert durch Datenbankabfrage der Actual Time of Arrival (ATA) bzw. Actual Time of Depature (ATD).

2.1.1.2 Berechnungsmethodik für Maximalpegel

Allgemeines

Als Maximalpegel wird in vorliegender Untersuchung für alle Verkehrslärmquellen der über die lautesten wiederkehrenden Ereignisse gemittelte Vorbeifahrt-/Vorbeiflugpegel gewertet. Da für den Maximalpegel keine einheitlichen Rechenmethoden und zudem keine einheitliche Definition eines mittleren Maximalpegels bekannt sind, wird im Folgenden – in Anlehnung an das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) – der Wert als Maximalpegel definiert, der innerhalb der Teilzeit und bezogen auf die jeweilige Kennzeichnungszeit durch in Summe sechs Vorbeiflüge (in Anlehnung an das sog. number above threshold (NAT) – Überschreitungshäufigkeit eines Schwellwertes des Maximalpegels gemäß (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008)) erreicht oder überschritten wird (FluLärmG, 2007).

Berechnung mit Radarbahnen am Flughafen Frankfurt am Main

Bei den Berechnungen auf Grundlage der Radarbahnen erzeugt jeder Vorbeiflug entsprechend seiner Luftfahrzeugklasse am Immissionsort im Abstand s innerhalb der Kennzeichnungszeit genau einen Maximalpegel, der für die Maximalpegelverteilung noch mit der Standardabweichung innerhalb der Luftfahrzeugklassen überlagert wird. Dadurch, dass die Flugbahnen jedes einzelnen durchs Radar erfassten Flugzeugs verwendet werden und diese in ihrer Lage untereinander mehr oder weniger stark variieren, erhält man automatisch aus den pro Einzelflug ermittelten Maximalpegeln eine annähernd reale Maximalpegelhäufigkeitsverteilung. Um diese darzustellen, werden Pegelklassen mit einer Schrittweite von 1 dB gebildet und die Häufigkeitsverteilung auf einen mittleren Tag der jeweiligen Kennzeichnungszeit bezogen. Zur Ermittlung eines „mittleren“ Maximalpegels wurden die Werte der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung in 1 dB Klassen aufgeteilt und beginnend mit der besetzten größten Pegelklasse in Richtung kleinerer Pegelwerte aufsummiert. Die Pegelklasse, bei der in Summe sechs Ereignisse erreicht sind, wurde als Maximalpegel $L_{pAS,max}$ ausgewiesen. Da die Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen für verschiedene Teilzeiten berechnet werden, können für jede Teilzeit unterschiedliche Maximalpegel $L_{pAS,max}$ auftreten. Ein Beispiel zur Berechnung des Maximalpegels an einem Immissionsort (Probanden- bzw. Gebäudeadresse) ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Die Abbildung zeigt die Maximalpegel-Häufigkeiten in 1 dB breiten Pegelklassen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr). Die Summation der Maximalpegel-Häufigkeiten beginnt rechts bei der Pegelklasse 109,0 dB – 109,9 dB und wird nach links in Richtung kleinerer Pegelklassen fortgeführt (rot dargestellter Kurvenverlauf). Sind in Summe sechs Ereignisse erreicht oder überschritten, wird die Untergrenze der betreffenden Pegelklasse als Maximalpegel ausgewiesen. Dieser beträgt in diesem Fall 70 dB.

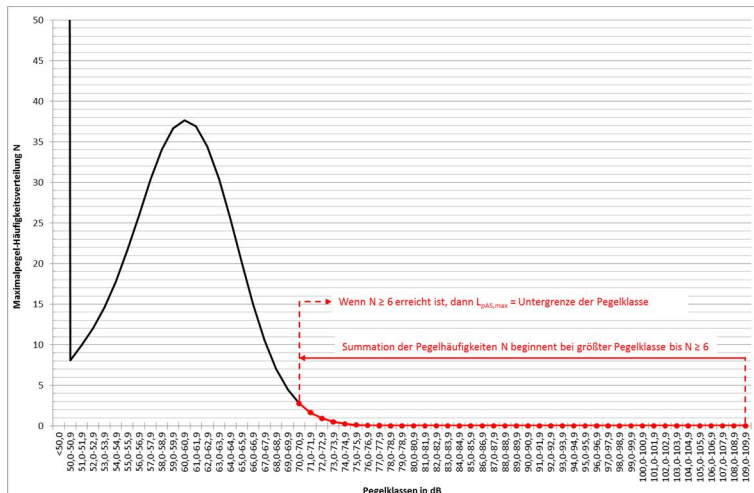


Abbildung 2-1: Beispiel zur Berechnung des Maximalpegels aus der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung (Summation der Maximalpegel-Häufigkeiten)

Berechnung mit DESEN an den Vergleichsflughäfen Köln, Stuttgart und Berlin-Schönefeld

Bei Berechnungen nach AzB auf Grundlage von DESEN ergibt sich, dass Vorbeiflüge einer Luftfahrzeugklasse im gleichen Abstand vom Immissionsort immer denselben Maximalpegel verursachen. Innerhalb der Bewertungsmethode der AzB wird zur Ermittlung eines Überschreitungskriteriums NAT unterstellt, dass die Verteilung der Maximalpegel je Luftfahrzeugklasse durch eine Normalverteilung mit klassenspezifischer Standardabweichung um den rechnerisch ermittelten Mittelwert beschrieben werden kann. Über die Summation der Verteilungen aller Luftfahrzeugklassen und Flugwege ergibt sich je Immissionsort eine Maximalpegelhäufigkeitsverteilung.

2.1.2 Straßenverkehrsgeräusche

2.1.2.1 Berechnungsmethodik für Mittelungspegel

Die Berechnungen der akustischen Belastungen durch Straßenverkehr erfolgen anhand der Vierunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) (34. BImSchV), Anlage 3: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Ergänzend zu den in der VBUS vorgesehenen Beurteilungsgrößen L_{DEN} und L_{night} wurden die ungewichteten Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ für die Teilzeiten (Tag: 06:00 - 18:00 Uhr, Abend: 18:00 - 22:00 Uhr und Nacht: 22:00 - 06:00 Uhr) berechnet (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Die Berechnungsmethode ist eine Anpassung der nationalen Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90, 1992) an die Anforderungen der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Die Berechnungsvorschrift regelt in einem zweistufigen Verfahren die Berechnung von Geräuschen aus dem Straßenverkehr. In einem ersten Schritt wird die Emission der Straße bestimmt und im zweiten Schritt die Ausbreitungsrechnung zum Immissionsort an der Fassade eines betroffenen Gebäudes geregelt. Die einzelnen Fahrzeuge können als bewegte Punktschallquellen angenähert werden. Das Rechenverfahren der VBUS ersetzt die Vielzahl der bewegten Punktschallquellen durch eine Linienschallquelle mit zeitlich über alle Fahrzeuge gemittelter Emission. Die Linienschallquelle beschreibt somit eine zeitlich als gleichförmig angesehene über eine Stunde gemittelte Schallabstrahlung, die durch die Zahl der Fahrzeuge in

der maßgeblichen Stunde und durch den Anteil der Lkw (mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t) an der Zahl der Fahrzeuge ermittelt wird. Die Verkehrsmenge der maßgeblichen Stunde wird dabei anhand eines in der VBUS tabellarisch angegebenen Umrechnungsfaktors aus der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) errechnet. Die über eine Stunde gemittelte Schallemission wird zudem mit Korrekturwerten versehen, welche die zulässige Höchstgeschwindigkeit des Straßenabschnitts, den Einfluss der Straßenoberfläche und den Einfluss von Steigungen bzw. Gefälle berücksichtigen. Zu- oder Abschläge für Straßenkreuzungen sind in dieser Rechenvorschrift im Gegensatz zur RLS-90 (1992) nicht vorgesehen. Die Geschwindigkeitskorrektur geht dabei von einem Ausgangswert eines Pkws bzw. eines Lkws bei einer Geschwindigkeit von 1 km/h aus. Die Geschwindigkeitskorrektur für Pkw sieht eine Erhöhung um 9 dB je Verdoppelung der Geschwindigkeit und für Lkw von 3,8 dB je Verdoppelung vor. Beide Geschwindigkeitskorrekturen gehen anteilig in die Geschwindigkeitskorrektur für den Straßenabschnitt ein. Der rechnerisch berücksichtigbare Geschwindigkeitsbereich ist auf den Bereich zwischen 30 km/h und 130 km/h bei Pkw sowie 30 km/h und 80 km/h bei Lkw begrenzt. Die Geräuschquelle wird als Linienschallquelle auf einer Höhe von 50 cm über der Fahrbahnoberfläche modelliert. Sie repräsentiert u. a. auch wegen des eingeschränkten Geschwindigkeitsbereichs v. a. das in diesem Bereich dominierende Reifen-Fahrbahn-Geräusch. Sämtliche Schallquellen werden als A-bewertete Schallpegel dargestellt. Die anschließende Ausbreitungsrechnung erfolgt ebenfalls A-bewertet und geht von einem mittleren Spektrum von Straßenverkehrsgeräuschen aus. Die Schallquellen werden getrennt für die Teilzeiten Tag 06:00 - 18:00 Uhr, Abend 18:00 - 22:00 Uhr und Nacht 22:00 - 06:00 Uhr berechnet.

2.1.2.2 Berechnungsmethodik für Maximalpegel

Zur Bestimmung des Maximalpegels an Straßen existieren derzeit keine geregelten Berechnungsverfahren. Daher wird die Berechnung des Maximalpegels $L_{pAF,max}$ für Straßen wie folgt abgeleitet:

- Als akustisches Ersatzmodell wird die Fahrzeugbewegung als bewegte Punktschallquelle beschrieben und diese durch einen A-bewerteten Schallleistungspegel L_{WA} gekennzeichnet. Bei kürzestem Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort wird daraus der Maximalpegel $L_{pAF,max}$ berechnet.
- Der Ansatz zur Berechnung des Maximalpegels geht davon aus, dass der höchste Pegel am Immissionsort (IO) maßgeblich durch die Vorbeifahrt eines Lkw verursacht wird.
- Zur Berechnung des Maximalpegels wird als Grundgleichung nach VBUS Gleichung 9 der Mittelungspegel L_{Lkw} für 1 Lkw / h herangezogen:

$$L_{Lkw} = 23,1 \text{ dB} + 12,5 \lg(v_{Lkw}) \text{ dB} \quad (1)$$

L_{Lkw} Mittelungspegel für 1 Lkw / h in dB

v_{Lkw} Geschwindigkeit in km / h

- Aus der Geometrie der Linienquelle und des in 25 m Abstand für eine Messhöhe von 3,5 m angegebenen Mittelungspegels $L_{m,E}$ ergibt sich der längenbezogene A-bewertete Schallleistungspegel $L_{W'A}$ bezogen auf 1 m nach der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), Anlage 2: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)(16. BImSchV, Anlage 2, 2014):

$$L_{W'A} = L_{m,E} + 19,2 \text{ dB} = L_{Lkw} + 19,2 \text{ dB} \quad (2)$$

$L_{m,E}$ Emissionspegel in dB

Über den Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schallleistung $L_{W'A}$ kann auf den A-bewerteten Schallleistungspegel der Straße als Linienschallquelle geschlossen werden. Der längenbezogene Schallleistungspegel gibt die Höhe der Schallleistung verteilt auf den in einer Stunde zurückgelegten Weg an. Dieser Weg l (angegeben in Meter) ergibt sich aus der Geschwindigkeit v_{Lkw} in km/h multipliziert mit der Bezugszeit 1 h und dem Faktor 1.000 zur Umrechnung von km in m. Zusammen ergibt sich:

$$L_{WA} = L_{W'A} + 10 \lg(l/l_0) = L_{W'A} + 10 \lg(1000 * v_{Lkw} * T_B / l_0) \text{ dB} =$$

$$L_{Lkw} + 10 \lg(v_{Lkw}) \text{ dB} + 30 \text{ dB} + 19,2 \text{ dB} \quad (3)$$

L_{WA} A-bewerteter Schallleistungspegel in dB,
 $L_{W'A}$ Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schallleistung in dB,
 L_{Lkw} Mittelungspegel für 1 Lkw/h in dB,
 l Länge der Linienschallquelle in m,
 l_0 Bezugslänge 1m,
 v_{Lkw} Geschwindigkeit in km/h,
 T_B Bezugszeit 1 h,

Bei der Berechnung der Pegel werden im Rechenmodell von jedem Punkt entlang der Straße Ausbreitungsverluste zum Immissionsort gespeichert und zwar sowohl für den Direktschall als auch für alle möglichen Reflexionspfade. Mithilfe der als L_{WA} -beschriebenen Emission und der Ausbreitungsverluste werden die einzelnen Pegel am Immissionsort bestimmt und der höchste Pegel wird im Pegelverlauf als Maximalpegel ausgewiesen.

2.1.3 Schienenverkehrsgeräusche

2.1.3.1 Berechnungsmethodik für Mittelungspegel

Die Berechnungen der akustischen Belastung durch Schienenverkehr erfolgt nach der vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch) (34. BImSchV, Anlage 2, 2006). Die Berechnungsmethode ist eine Anpassung der nationalen Berechnungsvorschrift für Schienenverkehrsgeräusche (Schall 03, 1990) an die Anforderungen der EU-Umgebungslärmrichtlinie. Diese Berechnungsvorschrift regelt in einem zweistufigen

Verfahren die Berechnung von Geräuschen aus dem Schienenverkehr. In einem ersten Schritt wird die Emission der Schienenstrecke bestimmt und im zweiten Schritt die Ausbreitungsrechnung zum Immissionsort an der Fassade eines betroffenen Gebäudes geregelt. Die in der Realität annäherungsweise als bewegte Punktschallquellen entlang der Schienen bewegten Rad-Schiene-Kontakte werden durch zeitliche Mittelung als konstant emittierende Linienquelle in der Mitte der beiden Schienen (Gleisachse) auf Höhe der Schienenoberkante modelliert. Zusätzlich wird für Geschwindigkeiten > 200 km/h in 4,5 m Höhe über der Schienenoberkante eine Linienquelle zur Berücksichtigung von aerodynamischen Geräuschen angesetzt. Die untere Linienquelle repräsentiert ausschließlich das Rollgeräusch, die obere Quelle aerodynamische Geräusche durch den Stromabnehmer und Dachaufbauten. Die Linienquelle zur Berücksichtigung der Rollgeräusche wird aus einem Grundwert für die über eine Stunde gemittelte Emission eines 100 m langen scheibengebremsen Zuges mit 100 km/h unter Berücksichtigung von Korrekturen ermittelt. Die Korrekturen wiederum berücksichtigen Zuschläge für die Emissionen bestimmter Fahrzeugarten, für graugussklotzgebremste Wagen, einen Zuschlag zur Berücksichtigung der Zuglängen (aller Züge gleicher Gattung innerhalb einer Stunde) und einen Zuschlag zur Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit. In der Praxis werden die Emissionen jeder Zuggattung getrennt mit den jeweilig passenden Zuschlägen errechnet und dann die Emissionen der Zuggattungen energetisch aufsummiert. Auf diesen Wert werden noch pauschale A-bewertete Zuschläge für den Einfluss der Fahrbahnart, von Brücken, Bahnübergängen und Kurven vergeben (zur Anwendung der Parameter in der NORAH Studie siehe Kapitel 3.5.1 des vorliegenden Berichts). Der Einfluss von Schienenstößen, Weichen, Abschnitten mit Bremsgeräuschen etc. wird durch den Ansatz der Streckengeschwindigkeit auch innerhalb der Bahnhofs- und Haltepunktbereiche berücksichtigt. Die Linienquelle zur Berücksichtigung aerodynamischer Quellen wird ab einer Fahrgeschwindigkeit von über 200 km/h berücksichtigt. Die Quelle errechnet sich aus einem Grundwert und einem Zuschlag zur Berücksichtigung der Zuglängen (aller Züge der Gattungen mit hohen Fahrgeschwindigkeiten innerhalb einer Stunde) und einem Zuschlag zur Berücksichtigung der Fahrgeschwindigkeit. Weitere Geräuschquellen wie Antriebsgeräusche oder aerodynamische Geräusche niedrigerer Quellen werden vernachlässigt. Sämtliche Schallquellen werden als A-bewertete Schallpegel dargestellt; die anschließende Ausbreitungsrechnung erfolgt ebenfalls A-bewertet. Die Schallquellen werden getrennt für die Teilzeiten Tag 06:00 - 18:00 Uhr, Abend 18:00 - 22:00 Uhr und Nacht 22:00 - 06:00 Uhr berechnet (34. BImSchV, Anlage 2, 2006). Eine Korrektur für die geringere Lästigkeit des Schienenverkehrs (Schienenbonus), wie bisher in der Schall 03 vorgesehen (Schall 03, 1990), ist nicht berücksichtigt.

2.1.3.2 Berechnungsmethodik für Maximalpegel

Der Maximalpegel, verursacht durch Schienenverkehrswege, wird über folgende Schritte berechnet:

1. Bildung des mittleren maximalen Schalldruckpegels auf Basis des Emissionspegels $L_{m,E}$ (Möhler, 1990).

$$\overline{L_{AF,max,Zug}} = L_{m,E} + 10 \lg \left(\frac{1000 \cdot \overline{v_{Zug}}}{l_{Zug} \cdot n} \right) dB \quad (4)$$

$L_{m,E}$	Emissionspegel nach VBUSch Gleichung 2 (34. BImSchV, Anlage 2, 2006; vgl. Schall 03, 1990, Gleichung 1) bezogen auf eine Stunde
$\overline{L_{AF,max,Zug}}$	mittlerer maximaler Schalldruckpegel im Abstand von 25 m
n	Anzahl an Zugfahrten pro Stunde
$\overline{v_{Zug}}$	mittlere Geschwindigkeit in km/h (zulässige Höchstgeschwindigkeit der jeweiligen Fahrzeuggattung oder die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit)
l	Zuglänge

2. Berechnung des mittleren maximalen Schallleistungspegels auf Gleismitte in 0,6 m Höhe über Gelände unter Annahme der geometrischen Dämpfung einer halbzylin- derförmigen Linienschallquelle A_{div} , unter Berücksichtigung des Raumwinkelmaßes D_{Ω} und des Richtwirkungsmaßes D_I gemäß DIN ISO 9613 (1999):

$$\overline{L_{WA,max,Quelle}} = \overline{L_{AF,max,Zug}} + A_{div} - D_{\Omega} - D_I \quad (5)$$

$\overline{L_{WA,max,Quelle}}$	mittlerer maximaler Schallleistungspegel
A_{div}	geometrische Dämpfung
D_I	Richtwirkungsmaß
D_{Ω}	Raumwinkelmaß
für $l > 50$ m	

3. Schallausbreitungsberechnung für die kürzeste Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort. Von jedem Punkt entlang des Gleises werden Ausbreitungsverluste zum Immissionsort gespeichert und zwar sowohl für den Direktschall als auch für alle möglichen Reflexionspfade. Die Position der Linienquelle wird entlang des gesamten Gleises, der Fahrstrecke, durchiteriert. Nun wird über die gesamte Zuglänge aufsummiert und mithilfe der $L_{WA,max}$ -Emission und der Ausbreitungsverluste der „Pegelzeitverlauf“ am Immissionsort bestimmt. Der höchste Pegel im „Pegelzeitverlauf“ ist der Maximalpegel.
4. Der Maximalpegel wird beim Schienenverkehr auch an Strecken mit Mischbetrieb (Personen- und Güterverkehr) tagsüber maßgeblich vom Güterverkehr bestimmt, da der Maximalpegel anhand der lautesten Zugfahrt bestimmt wird. Verkehrt auf einer Strecke kein Güterzug, so wird der Maximalpegel aus der lautesten verkehrenden Zugattung berechnet.

2.2 Transmission

2.2.1 Methodik der Ausbreitungsrechnung

Die Ausbreitungsrechnung ausgehend von den Linienquellen für die Radarbahnen, Schienenwege und Straßen erfolgt nach den jeweiligen Rechenvorschriften für Luftverkehrsgeräusche (AzB), Straßenverkehrsgeräusche (VBUS) und Schienenverkehrsgeräusche (VBUSch). Alle Berechnungsvorschriften segmentieren für die Ausbreitungsrechnung die Linienschallquellen in Teilstücke. Die Kriterien für die Zerlegung in Teilstücke werden in den o. a. Vorschriften geregelt. Ausgehend von den Schallleistungspegeln der Punktschallquellen erfolgt

die Berechnung durch empirisch hergeleitete Formeln, die Korrekturen zur Berücksichtigung der Richtwirkung, des Raumwinkels, des Abstands, der Luftabsorption, Dämpfung durch Bodeneffekte und Dämpfung durch Abschirmung berücksichtigen.

Luftverkehrsgeräusche

Bei den Luftverkehrsgeräuschen sind die Schallleistungspegel der Linienschallquellen in Oktaven zwischen 63 Hz und 8.000 Hz angegeben; dementsprechend erfolgt die Ausbreitungsrechnung in diesen Oktaven (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Die Unterteilung der Radarbahnen erfolgt abhängig vom Abstand eines Segments zum Immissionsort, wobei die Segmentlänge ein Zehntel des Abstands betragen muss. Bei den Luftverkehrsgeräuschen nach AzB wird der Schallleistungsexpositionspegel am Immissionsort durch Abzug des Richtwirkungsmaßes, Abstandsmaßes, Luftabsorptionsmaßes, Bodendämpfungsmaßes und Raumwinkelmaßes berechnet. Dabei werden die Richtwirkung, die Dämpfung durch Luftabsorption und die Bodendämpfung frequenzabhängig berechnet, während Abstandsmaß und Raumwinkelmaß frequenzunabhängig berechnet werden. Das Abstandsmaß berücksichtigt für die Punktschallquellen eine kugelförmige Schallausbreitung. Das Richtwirkungsmaß wird rotationssymmetrisch um die Längsachse des Flugzeugs berechnet. Die Koeffizienten der Richtwirkung sind spezifisch für die Luftfahrzeugklassen angegeben. Die Dämpfung durch Luftabsorption nimmt mit dem Abstand und der Frequenz zu. Das Bodendämpfungsmaß wird in den meisten Situationen (Höhenwinkel $\geq 15^\circ$) zu null gesetzt, lediglich bei flachem Schalleinfall in der Nähe der Startbahn ist dieses anzusetzen. Das Raumwinkelmaß berücksichtigt die Reflexion des einfallenden Schalls am Boden in Immissionsortnähe und beträgt im Regelfall 3 dB. Eine Abschirmung durch Hindernisse wird bei Luftverkehrsgeräuschen nicht berücksichtigt. Lediglich das Gelände wird durch die genaue Lage des Immissionsortes und die Bestimmung des Höhenwinkels berücksichtigt. Dementsprechend enthalten die Rechenmodelle zur Berechnung der Luftverkehrsgeräusche keine Gebäude, jedoch das digitale Geländemodell (DGM).

Straßenverkehrsgeräusche

Bei den Straßenverkehrsgeräuschen erfolgt die Berechnung nach den Vorgaben der VBUS (34. BImSchV, Anlage 3, 2006) auf Grundlage von Emissionspegeln in einem Bezugsabstand von der Linienschallquelle von 25 m als A-bewertete Summenschallpegel. Dementsprechend erfolgt die Ausbreitungsrechnung für einen A-bewerteten Schallpegel. Die Linienschallquelle wird abhängig vom Abstand eines Segments zum Immissionsort unterteilt, wobei die Segmentlänge die Hälfte des Abstands nicht unterschreiten darf. Ausgehend vom Emissionspegel wird der Mittelungspegel am Immissionsort durch Abzug einer Korrektur zur Berücksichtigung von Abstand, der Boden- und Meteorologiedämpfung und der Abschirmung durch Hindernisse gebildet. Das Abstandsmaß berücksichtigt für die Punktschallquellen eine kugelförmige Schallausbreitung. Das Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß wird abhängig von der Höhe des Ausbreitungsweges über Grund und dem Abstand berechnet. Die Abschirmung durch Hindernisse wird bei Straßenverkehrsgeräuschen durch eine Dämpfungskorrektur, die sich durch die Auslenkung des direkten Schallstrahls über ein Hindernis (Schallschutzwand oder Gebäude) ergibt, berücksichtigt. Hindernisse, wie Gebäude, wirken

gleichzeitig als Reflektoren der Schallstrahlen. Für die Berechnungen der Straßenverkehrsgeräusche werden das Gelände und Gebäude bzw. Schallschutzwände als Grundlage für die Ausbreitungsrechnung verwendet.

Schienenverkehrsgeräusche

Bei den Schienenverkehrsgeräuschen erfolgt die Berechnung nach den Vorgaben der VBUSch (34. BImSchV, Anlage 2, 2006) ebenfalls auf Grundlage von Emissionspegeln in einem Bezugsabstand von der Linienschallquelle von 25 m nach den gleichen Ausbreitungsformeln wie bei Straßenverkehrsgeräuschen. Zusätzlich wird eine Richtwirkungskorrektur als eine winkelabhängige Korrektur verwendet, die in Fahrtrichtung des Schienenverkehrs bis zu - 7 dB und senkrecht zur Fahrtrichtung (d. h. seitlich) bis zu + 2 dB beträgt.

2.2.2 Berücksichtigung von Gelände und Hindernissen

Die Maßnahmen des aktiven Schallschutzes, wie z. B. Schallschutzwände und Wälle, werden aus der Zentralen Geodatenbank für Lärm zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Richtlinie EG, 2002) des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) (HLUG, mit Schreiben vom 15.12.2011) und der EU-Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) (2010) übernommen. Im Regierungsbezirk Darmstadt werden diese anhand von Luftbildaufnahmen aus Google Earth, Stand 2005, abgeglichen (Google Earth, 2005). Dazu werden alle Straßen- und Schienenstreckenverläufe am Bildschirm „abgefahren“; fehlende Schallschutzwände werden durch Unterlegen der Bildinformation aus Google Earth im Modell eingepflegt. Die Höhen der Schallschutzwände werden anhand des Schattens und in Relation zu benachbarten Gebäuden abgeschätzt. Schallschutzwände an Straßen werden in der Regel mit einer Höhe von 3 m über der Fahrbahn, Schallschutzwände an Schienenstrecken mit 2 m über der Gleisoberkante und zur Quelle hin als hochabsorbierend angenommen. Schallschutzwälle sind grundsätzlich im DGM 10 enthalten und werden mit zusätzlichen Höhenpunkten vervollständigt, wenn sie im DGM durch die Rasterung nicht mit einer durchgängigen Hinderniskante nachgebildet sind. Die Verläufe der Straßen- und Schienenstrecken werden mit dem DGM überlagert. Durch visuelle Prüfung werden Fälle, in denen Straßen und Schienen aufgrund der Interpolation zwischen Rasterpunkten unter dem DGM verlaufen ggf. durch Einfügen zusätzlicher Stützpunkte korrigiert. Zusätzlich werden an Straßenverläufen die Steigungen überprüft. Aufgrund der Größe des Modells kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Höhenauffälligkeiten (meistens an Abbiegefahrstreifen in Knotenpunkten) übersehen wurden; daher wird mit einer Begrenzung der rechnerisch zu berücksichtigenden Steigung von 10 % gearbeitet. Alle Brücken, die andere Verkehrswege schneiden, sowie große Talbrücken werden im Berechnungsmodell berücksichtigt, wenn dies aus der Gradienten erkennbar ist (z. B. wenn benachbarte Höhenpunkte eine große Höhendifferenz aufweisen, weil einer der beiden auf der Brücke liegt). In diesem Fall wird das Geländemodell unter der Brücke angepasst und die Brücke mit abgeschirmter Ausbreitung nach unten, aber durchgängiger Schallausbreitung unterhalb der Brücke, modelliert.

2.2.3 Berücksichtigung der Gebäudegeometrie für die Hindernisberechnung

Die Datenaufbereitung für die Erstellung des Rechenmodells erfolgt durch Verschneidung der Probandenadressen mit den im Untersuchungsgebiet vorliegenden Gebäudeumringen (vgl. Abschnitt 3.2). Durch die Verschneidung werden den Probanden die entsprechenden Gebäude zugeordnet. Gebäude sind in den Ausgangsdaten systembedingt oft durch die Geometrien einzelner Gebäudebauteile beschrieben. Für die Berücksichtigung als Hindernis und für eine korrekte Zuordnung der Gebäude zu den Probanden werden die einzelnen Gebäudebauteile zu einer Gesamtgeometrie je Gebäude wie folgt behandelt:

- Trennung sich überlappender Flächen durch Ausschneiden kleinerer Flächenobjekte aus größeren Flächen.

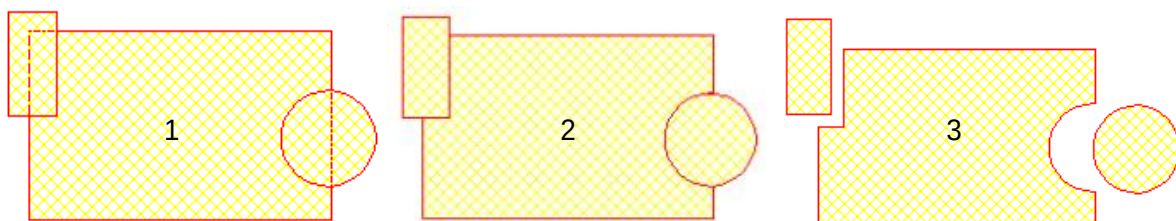


Abbildung 2-2: Trennung sich überlappender Flächen

- Bereinigung von Mauervorsprüngen und Erkern mit einer Länge von < 1 m. Mauervorsprünge, die nicht an den Rändern eines Gebäudes liegen, werden in Punkte umgewandelt, um Fassadenteilstücke zu bilden.

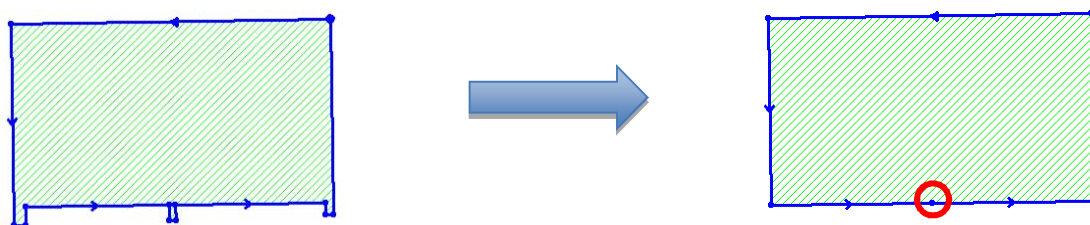


Abbildung 2-3: Bereinigung von Mauervorsprüngen und Erkern

- Zusammenfassung aneinander grenzender Flächen durch Mindestgröße und Größenverhältnis der Flächen, um beispielsweise Anbauten mit Hauptgebäuden zu verbinden.

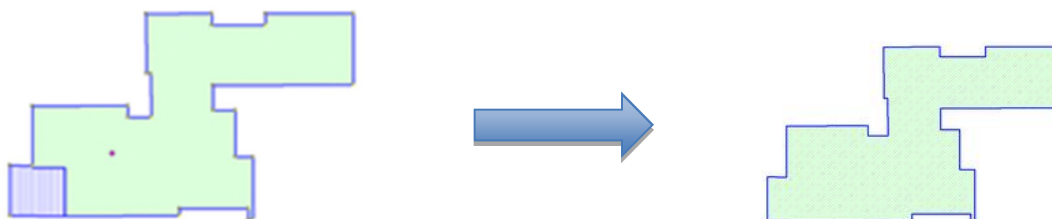


Abbildung 2-4: Zusammenfassung aneinander grenzender Flächen

Damit können die Gebäudedaten in weiten Teilen optimiert werden. Die Gebäudehöhen werden, sofern keine genaueren Informationen vorlagen, pauschal wie folgt angesetzt:

1. Wohngebäude allgemein 9 m;
2. Wohngebäude in Ballungsräumen 12 m;
3. Wirtschafts- und Nebengebäude 8 m;
4. Gebäude ($< 50 \text{ m}^2$) 3 m.

Im Rechenmodell für Luftverkehrsgeräusche sind die Gebäude nicht enthalten. Die Vorgehensweise bei der Festlegung der Immissionsorte bei Luftverkehrsgeräuschen ist in Abschnitt 2.3.3.1 beschrieben.

2.3 Immission

2.3.1 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets

Flughafen Frankfurt am Main

Zur Definition der Untersuchungsteilnehmer wird der Untersuchungsraum auf alle Kommunen bzw. Wohngebiete innerhalb der Umhüllenden des Mittelungspegels für den Tag und die Nacht für Luftverkehrsgeräusche von 40 dB festgelegt. Dies erlaubt die Ziehung einer genügend großen Gesamtstichprobe als Basis für die Studienmodule 1, 2 und 3 im Untersuchungsraum. Der Berechnung dieser 40 dB-Kontur wird das Ist-DES für das Jahr 2007 von der Fraport AG zur Verfügung gestellt und unverändert übernommen. Dies beinhaltet die Sigma-Tabelle (Verteilung der Bewegungsanteile für die bahnbezogenen Betriebsrichtungen, von 1998 bis 2007). Die Berechnungen beinhalten den Rollverkehr sowie die Hilfsgasturbinen der Flugzeuge (auxiliary power units -APU). Die Ermittlung der Fluglärmkontur erfolgt durch den Auftraggeber mit der CadnaA Version 4.1.137 (DataKustik GmbH). Als digitales Geländemodell liegt das DGM-D mit einer Gitterweite 50 m x 50 m des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) mit Datum vom 15.12.2010 zugrunde. Eine Qualitätssicherung für dieses DES wird durch das HLUG durchgeführt.

In nachfolgender Abbildung sind die 40 dB Isolinien für Tag und Nacht sowie der Untersuchungsraum des Regierungsbezirks Darmstadt und RLP (Studienmodul 2) in Frankfurt dargestellt. Die in Abbildung 2-5 dargestellte 40 dB Isolinie für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) liegt weitestgehend innerhalb der 40 dB Isolinie für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr), mit Ausnahme eines ca. 5 km langen Abschnittes nordöstlich des Ballungsraumes Darmstadt. Anhand der 40 dB Isolinie für den Tag wird im Folgenden der Untersuchungsraum der Studienmodule 1, 2 (Blutdruckmonitoring) und 3 dargestellt, denn die Probandenadressen dieser Studienmodule befinden sich nur innerhalb der 40 dB Isolinie für den Tag (vgl. Kapitel 7.1, 8.1 und 9).

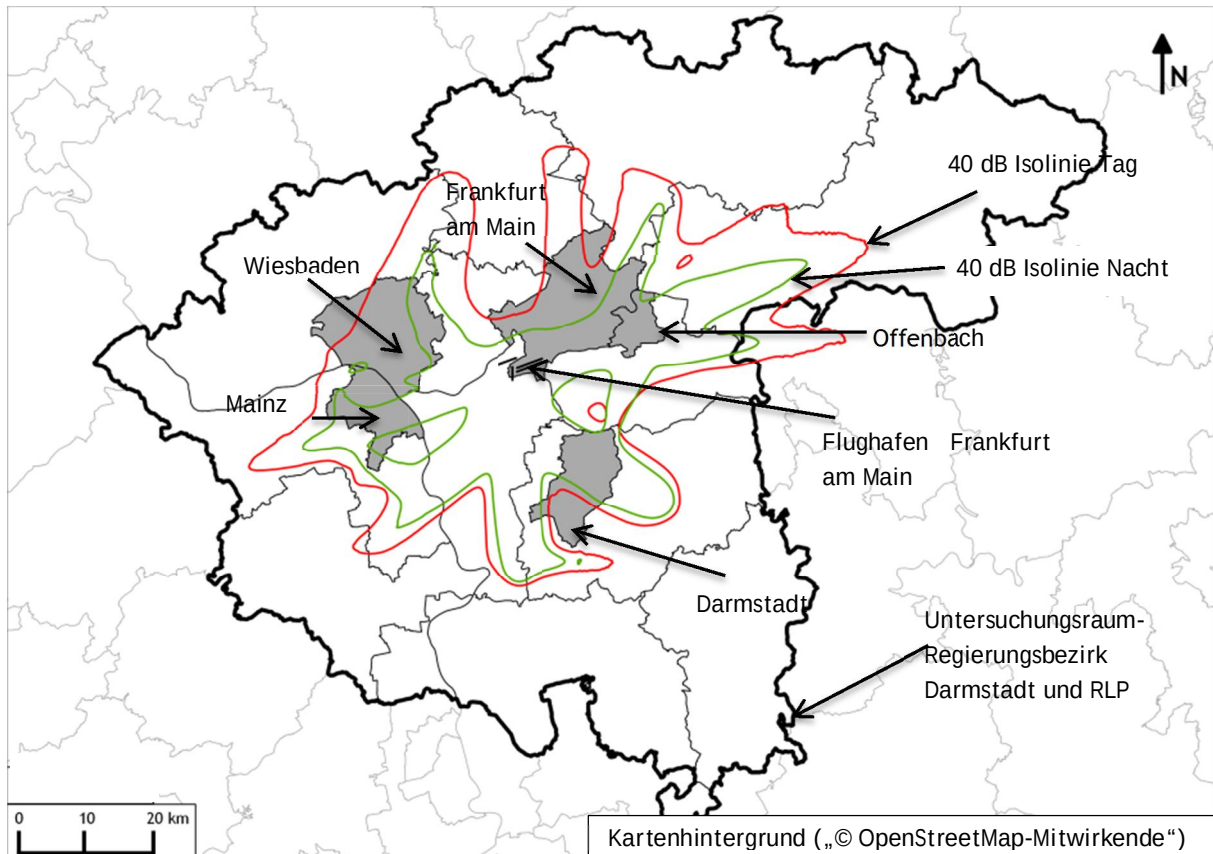


Abbildung 2-5: Eingrenzung Untersuchungsraum Flughafen Frankfurt

Da in Studienmodul 1 die Wirkung der Änderung von Flugverkehrsgeräuschbelastungen aufgrund der Nord-West-Bahneröffnung zu untersuchen ist, wird zusätzlich zu der aktuellen Luftverkehrsgeräuschbelastung (Ist-Jahr 2007) die Differenz zwischen dem Prognosepegel für die künftige Luftverkehrsgeräuschbelastung nach gesamter Ausbaufertigstellung (Prognose-Jahr 2020) und der aktuellen Luftverkehrsgeräuschbelastung gebildet. Diese Differenz wird eingeteilt in drei Stufen (Zu-/Abnahme größer ± 2 dB, keine Änderung), welche als Schichtungsmerkmal für die Gebietsauswahl dienen (siehe hierzu Band 3, Belästigung und Lebensqualität). Hierfür wird auf Mittelungspegel zurückgegriffen, die sich entsprechend der AzB (1. FlugLSV, Anlage 3, 2008) auf die Flugbewegungen der sechs verkehrsreichsten Monate eines Jahres beziehen und auf den aktuellsten verfügbaren DES-Daten (Bezugsjahr 2007) ohne Berücksichtigung der Sigma-Regelung beruhen. Der Zuschlag von 10 dB wird im Mittelungspegel über Tag-Nacht auf die Teilzeit 22:00 bis 06:00 Uhr addiert und dieses Maß im Folgenden als L_{tn} bezeichnet. Der L_{tn} lässt sich aus den verfügbaren Mittelungspegeln für den Sechzehn-Stunden-Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und für die Acht-Stunden-Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) berechnen. Die dann hierauf bezogene Gebietsauswahl und Probandenrekrutierung wird in den Forschungsdesigns der einzelnen Studienmodule beschrieben. Die Isolinie des Mittelungspegels über Tag-Nacht wird für die aktuelle Flugverkehrsgeräuschbelastung und der L_{tn} bezogen auf die Jahre 2020 (Prognosepegel) und 2007 zur Bestimmung der Belastungsänderung für die Ziehung einer geschichteten Teilnehmerstichprobe verwendet. Als Basiskenngröße wird der L_{tn} für die Belastungsänderung vorgeschlagen, damit die gegenüber dem Sechzehn-Stunden-Tag kürzere Teilzeit stärker berücksichtigt wird.

(Eine getrennte Betrachtung aktueller und prognostizierter Mittelungspegel für Tag und Nacht würde für eine danach geschichtete Stichprobenziehung die vierfache Menge an Untersuchungszellen bedeuten; die Wahl des $L_{pA,eq,Tag/Nacht}$ (Umhüllenden) und des L_{tn} verschlankt somit das resultierende Untersuchungsdesign.) Die Beschränkung auf die Umhüllende des Tag- und Nachtpegels $L_{pAeq,Tag/Nacht}$ und auf den L_{tn} bezieht sich nur auf die Gebietsauswahl. Als einzige individuelle Belastungsgröße sind diese Maße für Expositionswirkungsaussagen unzureichend. Im Rahmen der Expositions-Wirkungsauswertungen werden daher auch andere Expositionsmaße (u. a. $L_{pA,eq}$ getrennt für Tag, Nacht und – wenn möglich – Abend, Maximalpegel, Anzahl von Flügen) berücksichtigt. Für die in Studienmodul 2 durchzuführenden Sekundärdatenanalysen wird der Studenumgriff für diese Untersuchungen auf den Regierungsbezirk Darmstadt sowie die vier Landkreise Worms, Alzey-Worms, Mainz und Mainz-Bingen in Rheinland-Pfalz (RLP) erweitert. Zur Probandenauswahl für die Schlafstudie werden die Gemeinden Worfelden, Raunheim, Offenbach Süd, Rüsselsheim, Nauheim, Klein-Gerau, Wixhausen, Gräfenhausen und Gravenbruch hinsichtlich der akustischen Eignung überprüft. Zu diesem Zweck werden aus vorhandenen Lärmkartierungen (Kempiak, R., & Petz, M., 2007) die Geräuschbelastungen aus Straßenverkehr und Schienenverkehr erfasst; als Kriterium für die Eignung für die Schlafstudie wird festgelegt, dass der Mittelungspegel der Nacht $L_{pA,eq,Nacht}$ für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche nicht größer als 45 dB bei der Straße bzw. 50 dB bei der Schiene liegen soll. In folgender Abbildung ist das Vorgehen beispielhaft dargestellt.



Rüsselsheim		
	Abstand	Abstand
Straße/Schiene	Nacht 45 dB(A)	Nacht 50 dB(A)
A 60 / E 42	1050 m	760 m
A 67	1100 m	800 m
B 43	120 m	75 m
Strecke 3250	480 m	220 m
Strecke 3530	600 m	1000 m

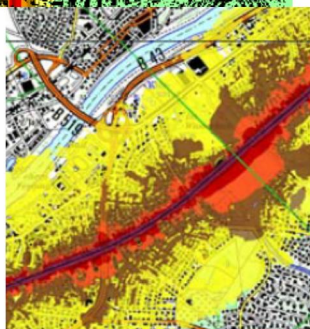


Abbildung 2-6: Methodik zur Festlegung der Untersuchungsgebiete der Schlafstudie

Vergleichsstandorte

Zur Bestimmung der Untersuchungsgebiete werden an den Vergleichsstandorten folgende Berechnungen durchgeführt: Im ersten Schritt werden für den Tag und die Nacht die Isoli-

nien für den Mittelungspegel aus Luftverkehrsgeräuschen von 40 dB aufwärts in Schritten von 5 dB bestimmt. Die Ergebnisse werden auf topographischen Karten dargestellt und im Weiteren für die Definition des Untersuchungsraumes genutzt. Nach der Ermittlung der vorgenannten Isolinien erfolgt mit dem Programm AutoCAD Map eine Verschneidung der für den Untersuchungsraum übergebenen Hauskoordinaten der Zentralen Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe (ZSHH) zur Ermittlung von potenziellen Probandenadressen. Die Verschneidung erfolgt für die Pegelbereiche 40 dB bis 45 dB, 45 dB bis 50 dB, 50 dB bis 55 dB und 55 dB bis 60 dB jeweils getrennt für Tag und Nacht. Im Ergebnis der Probandensuche und Auswahl wurden die Datensätze mit Probandenadressen und den zugehörigen Koordinaten übergeben.

2.3.2 Zuordnung der Probanden zu Gebäuden

Die Ausgangsdaten zu den Gebäuden in Rheinland-Pfalz (RLP) unterscheiden sich von jenen aus Hessen. Während in Hessen die Hausumringe mit Koordinaten und den zugeordneten Adressen (in einer Datei) geliefert wurden, bestehen die Ausgangsdaten aus RLP aus mehreren Dateien. Die Hausumringe müssen zuerst mit den Hausnummern sowie Straßenbezeichnungen verschnitten werden.

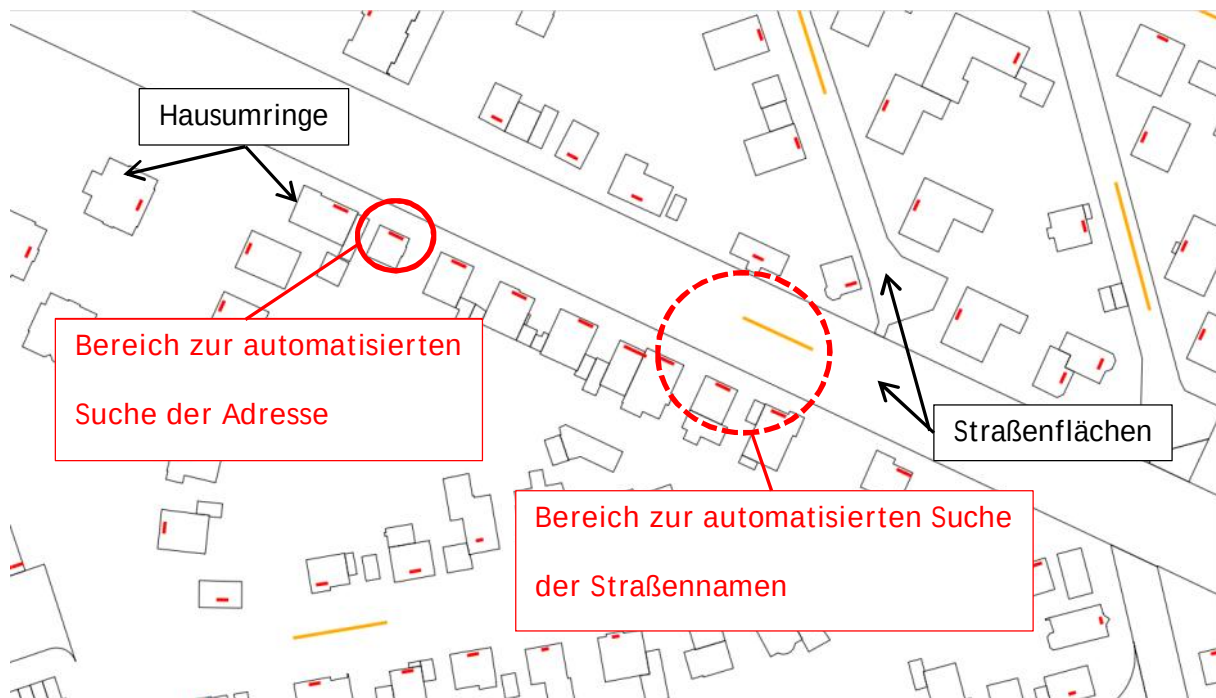


Abbildung 2-7: Auszug innerstädtischer Gebäude aus den Ausgangsdaten aus RLP (vgl. Kapitel 3.2). Hausnummerninformation: rote Balken innerhalb Hausumringen (eingekreist), Straßennameninformation: orange Balken innerhalb Straßenflächen (gestrichelt eingekreist)

Die Hausumringe sind als schwarze Vielecke dargestellt. Diesen werden die Hausnummern (rot eingekreist) über eine Suchabfrage innerhalb des umringten Bereiches in Abbildung 2-7 automatisiert zugeordnet. Die zugehörige Straßenbezeichnung muss durch einen Suchalgorithmus zugeordnet werden. Im innerstädtischen Bereich ist dies, wie in Abbildung 2-7 zu sehen, nicht eindeutig. In diesen Fällen kann keine Adresse erzeugt und mit Koordinaten

versehen werden. Im nächsten Schritt werden die erhaltenen Adressbezeichnungen den Gebäuden im akustischen Rechenmodell automatisiert zugeordnet. Die Gebäude ohne Adressbezug sind, wie in Abbildung 2-8 dargestellt, als Nebengebäude eingestuft worden und weiterhin im akustischen Rechenmodell vorhanden, um deren abschirmende Wirkung bei der Schallausbreitung zu berücksichtigen. Sie werden jedoch als nicht selektierte Gebäude (blau schraffiert) ausgewiesen. Die Berechnung der Fassadenpegel erfolgt nur für bewohnte Hauptgebäude (grün schraffiert). Zur Berechnung konnten 863.200 bewohnte Hauptgebäude innerhalb des Untersuchungsraums ermittelt werden.

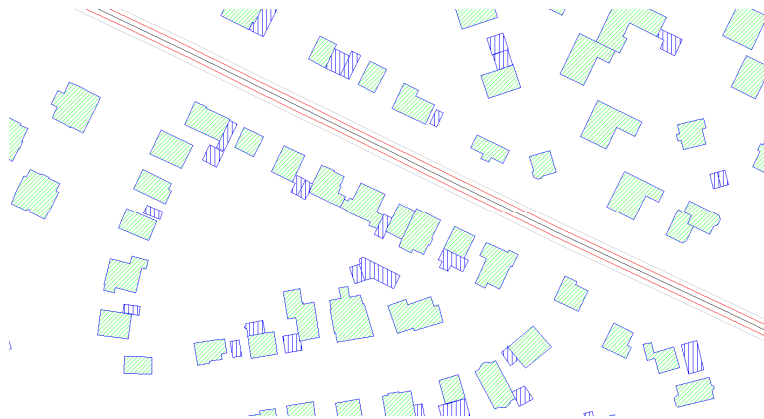


Abbildung 2-8: Auszug innerstädtischer Gebäude aus dem akustischen Rechenmodell. Nebengebäude: blau schraffiert, Hauptgebäude: grün schraffiert

2.3.3 Berechnung der Außengeräusche

2.3.3.1 Luftverkehr

Die Berechnungen der Luftverkehrsaußengeräusche werden im Rahmen der NORAH-Studie mittels Einzelpunktberechnung nach den Berechnungsalgorithmen der AzB für die Gebäudeschwerpunkte (Flächenschwerpunkte der Gebäudeumrisse) durchgeführt. Auf die Modellierung der Gebäude wird entsprechend AzB im Rechenmodell für Luftverkehrsgeräusche verzichtet. Die Abschirmung des Schalls durch Gebäude sowie Reflexionen an Gebäuden bleiben daher gemäß AzB unberücksichtigt (1. FlugLSV, Anlage 3, 2008).

Besonderheiten bei der Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie

Zur Berechnung der Luftverkehrsaußengeräusche für die große Anzahl von Immissionsorten in Studienmodul 2 (Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie) werden die akustischen Parameter im Hinblick auf die zu berechnenden Zeitbereiche und die Vorgehensweise der Berechnung diskutiert. Als geeignet - im Hinblick auf den engen Zeitplan zur Erstellung des akustischen Datensatzes für die Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie sowie den Umfang von knapp 900.000 Gebäuden - wird eine Kombination aus Einzelpunktberechnung und Interpolation aus Rasterberechnung eingestuft. Dabei werden in einer Rasterberechnung mit fester Rasterschrittweite die Ausbreitungsrechnungen für das Untersuchungsgebiet durchgeführt. Die Immissionsorte liegen dann in der Regel innerhalb eines Quadrats aus vier benachbarten Berechnungspunkten. Anstatt die Einzelpunktberechnungen für die Immissionsorte selbst durchzuführen, werden die Rechenergebnisse der umgebenden vier

Rasterpunkte für die Lage des Immissionsorts interpoliert. Um einen Kompromiss zwischen Ersparnis an Rechenzeit und möglichst geringen Abweichungen der interpolierten Immissionspegel - im Vergleich zu Einzelpunktberechnung - bedingt durch die Rasterweite zu finden, wird anhand der Panelteilnehmer aus Studienmodul 1 eine Untersuchung der Präzision der Rechenergebnisse in Abhängigkeit der Rasterschrittweite durchgeführt.

Abbildung 2-9 zeigt den Vergleich von Rasterberechnungen mit unterschiedlichen Rasterschrittweiten Ln anhand der ca. 9.000 Gebäude aus Studienmodul 1.

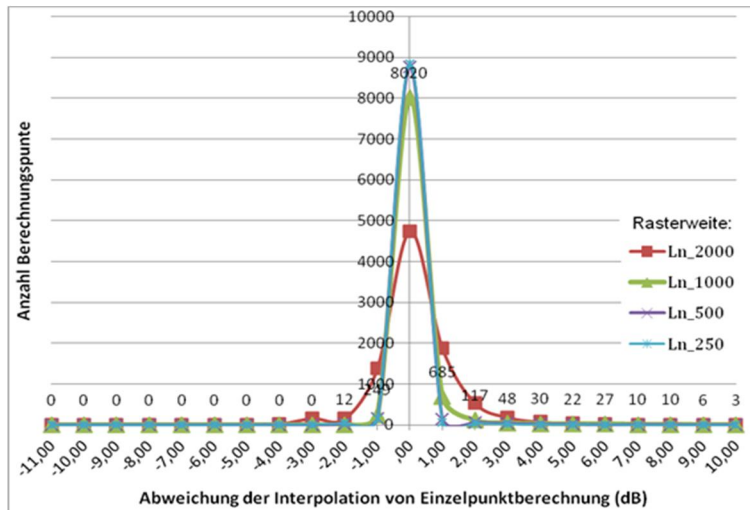


Abbildung 2-9: Pegeldifferenzen zwischen Interpolation und Einzelpunktberechnung bei unterschiedlichen Rasterweiten Ln

8.954 der interpolierten Immissionspegel, die mittels 1.000 m Rasterweite (Ln_1000) berechnet wurden, weisen geringe Abweichungen (± 1 dB) zu Einzelpunktberechnungen bei vergleichsweise geringer Rechenzeit auf. Abbildung 2.10 zeigt zudem, dass die Abweichungen zu Einzelpunktberechnungen ≥ 2 dB vor allem bei Pegeln von $L_{pAeq, Tag} > 55$ dB auftreten.

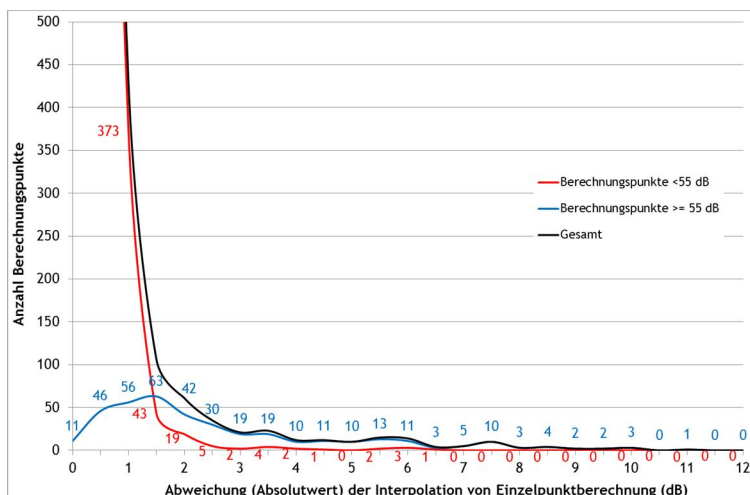


Abbildung 2-10: Abweichung der interpolierten Immissionspegel von Einzelpunktberechnungen

Die Abweichungen im unmittelbaren Umfeld von Flugrouten können bis zu 10 dB betragen. Dieser Zusammenhang lässt sich mit dem sehr schnell ansteigenden Gradienten der Mittelungspegel im Nahbereich des Flughafens, also etwa ab einem Mittelungspegel von größer 55 dB, erklären. Daher wird das Untersuchungsgebiet in einen Bereich kleiner 55 dB und in einen Bereich größer 55 dB aufgeteilt. Innerhalb dieser Unterscheidungslinie werden alle Immissionsorte aufgrund der möglichen höheren Abweichungen mittels Einzelpunktberechnungen gerechnet; außerhalb werden die Berechnungen aus der Interpolation von Rasterberechnungen ermittelt. Zur Ermittlung der Unterscheidungslinie werden innerhalb des Untersuchungsgebiets für alle Erhebungsjahre (1996 – 2010) Immissionsraster mit Rasterweite 1.000 m x 1.000 m in 4 m Höhe über Grund berechnet. Mittels Boolescher Überlagerung der Berechnungsraster der Teilzeiten Tag 06:00 - 22:00 Uhr wird der maximale Umgriff der 55 dB Isolinie erzeugt. Alle Punkte innerhalb dieser Isolinie enthalten für mindestens ein Erhebungsjahr einen mit mindestens 55 dB errechneten Pegelwert. An 26.502 innerhalb des 55 dB Umgriffs liegenden Immissionsorten wurden zur Ermittlung der akustischen Kenngrößen für die Jahre 1996 - 2010 Einzelpunktberechnungen durchgeführt. Außerhalb des 55 dB Umgriffs wurde ein Immissionsraster mit einer Schrittweite von 1.000 m x 1.000 m gerechnet. Die akustischen Kenngrößen der zugehörigen 836.698 Immissionsorte werden aus den Immissionsrastern interpoliert. Dazu wird das im Anhang 1 dargestellte Verfahren angewendet. Die Berechnung der Schallimmissionen wird mit der Software SoundPLAN Version 7.3 (Braunstein & Berndt GmbH) durchgeführt.

2.3.3.2 Straßen- und Schienenverkehr

Zur Ermittlung der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche werden an den zum jeweiligen Probanden gehörigen Immissionsort Fassadenpegel an allen Fassaden jedes Gebäudes berechnet. Die Aufteilung der Immissionsorte an den Gebäuden je Fassade erfolgt nach den Vorgaben der Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm (VBEB) (2007). Entsprechend der VBEB erfolgt die Berechnung für eine Berechnungshöhe von 4 m über Gelände, unter Berücksichtigung der Abschirmung von Gebäuden und Reflexion an den Gebäuden, jedoch ohne Reflexion der zum jeweiligen Immissionsort gehörigen Fassade. Die Anordnung von Aufenthaltsräumen richtet sich in erster Linie nach der Himmelsrichtung. Auch bei Lärmbelastung von Süden werden Aufenthaltsräume i. d. R. nicht auf Nordseiten orientiert. Bei Einfamilien-, Reihen- und Mehrfamiliengebäuden besteht ohnehin kaum eine Möglichkeit alle Aufenthaltsräume „nach hinten“ anzuordnen. Ausnahmen sind nur spezielle Geschosswohnungsbauten als Schallschutztypen bei sehr hoher Lärmbelastung. Die Auswahl des für die Studienmodule maßgeblichen Berechnungspunktes richtet sich dann nach den jeweiligen Anforderungen (lauteste Fassade, Fassadenauswahl entsprechend Fragebogenvariable o. ä.). Bei einzelnen Teilmodulen (z. B. Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken, vgl. Kapitel 8.2.3) wird die Lage des jeweiligen Aufenthaltsraums aus Erhebungsbögen entnommen. Die Berechnung der Schallimmissionen wird mit der Software SoundPLAN Version 7.3 (Braunstein & Berndt GmbH) durchgeführt.

2.3.4 Berechnung der verkehrsbedingten Innenpegel

Für die Studienmodule 2 „Blutdruckmonitoring“ und Studienmodul 3, in denen Innenpegel zu erheben sind, werden Angaben zu den Außenbauteilen der jeweiligen Gebäude in Erhebungsbögen dokumentiert. Die Innenpegel in den Räumen werden auf der Grundlage der zur Dimensionierung des passiven Schallschutzes an Gebäuden verwendeten Verfahren (s. u.) berechnet. Dazu werden anhand der Angaben in den Erhebungsbögen zunächst die maßgeblichen Fassadenseiten der Gebäude anhand der Lage zu Straße oder Schiene ermittelt. Die maßgebliche Fassadenseite ist die der Schallquelle zugewandte Fassadenseite eines Gebäudes. Für den Luftverkehr wird keine maßgebliche Fassadenseite ermittelt, da die Beschallung von oben erfolgt. Mit den Angaben zu Geometrie der Außenwand, Anzahl, Größe und Bauart von Fenstern im Raum sowie der Rollladenkästen etc. werden Abschätzungen zu den vorhandenen bewerteten Schalldämm-Maßen $R'_{w,i}$ der einzelnen Außenbauteile der Räume vorgenommen. Nachfolgende Abbildung enthält beispielhaft einen Erhebungsbogen zur Erhebung der Außenbauteile.

Anwesen (Straße, Ort)			
Stockwerk			
Fassade, Himmelsrichtung			
Tiefe [m]			
Breite [m]			
Höhe [m]			
Wanddicke [cm]		Putz	ja/nein
Fenster 1		Fenster 2	
Fenster typ		Fenster typ	
Position		Position	
Orientierung Himmelsrichtung		Orientierung Himmelsrichtung	
Breite [m] (inkl. Rahmen)		Breite [m] (inkl. Rahmen)	
Höhe [m] (inkl. Rahmen)		Höhe [m] (inkl. Rahmen)	
Scheibendicke (innen + außen)		Scheibendicke (innen + außen)	
Scheibenzwischenraum		Scheibenzwischenraum	
Rahmen		Rahmen	
Holz / Kunststoff / Alu		Holz / Kunststoff / Alu	
Dichtheit (Test mit Papier)		Dichtheit (Test mit Papier)	
ja/nein		ja/nein	
Anzahl der Dichtungen		Anzahl der Dichtungen	
Anzahl der Flügel		Anzahl der Flügel	
Rolladenkasten		Rolladenkasten	
Höhe [m]		Höhe [m]	
Breite [m]		Breite [m]	
Heizkörpernische		Heizkörpernische	
Höhe [m]		Höhe [m]	
Breite [m]		Breite [m]	
Tiefe der Nische [cm]		Tiefe der Nische [cm]	
Besonderheiten			
(z.B. Holzhaus, Wärmedämmung außen, Fachwerkgebäude, verklümmerte Fassade)			

Fotos:

Skizzen:

Dachraum
(mit Gaube)

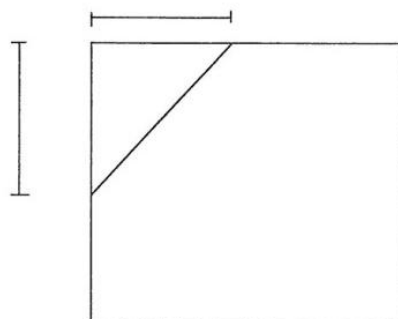


Abbildung 2-11: Exemplarische Darstellung eines Erhebungsbogens zu Außenbauteilen

Grundlegender Ansatz ist das resultierende bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,res}$ der Außenfläche eines Raumes gemäß VDI 2719 (1987).

Die Angaben zu Wanddicken, Glasstärken, Dicke des Scheibenzwischenraums, Dichtheit der Fenster etc. werden von geschultem Personal vor Ort erhoben. Maßgeblich für die Schalldämmung der Außenbauteile sind vor allem die Fenster und die Angaben zu deren Stärke und Dichtheit. Zur Bestimmung der Scheibendicken und des Scheibenzwischenraums werden Glasometer verwendet. Das Vorhandensein von Dichtungsebenen wird durch Augenschein erhoben und die Dichtheit mittels eines Tests mit eingelegtem Papierstreifen bestimmt. Mit Hilfe des Programms PASCHA 2010 (Möhler und Partner, 2010) und den Angaben aus den Erhebungen der Außenbauteile (vgl. Band 1 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistung und Lebensqualität bei Grundschulkindern“) können die vorhandenen Schalldämm-Maße $R'_{w,i}$ aller Teilflächen S_i (Außenwand, Fenster, Rollladenkästen etc.) wie folgt abgeschätzt werden:

1. Außenwände / Fensterbrüstungen / Rollladenkästen nach Beiblatt 1 zu DIN 4109 (1989).
2. Einfachfenster mit Isolierverglasung, Verbundfenster und Kastenfenster nach Beiblatt 1 zu DIN 4109, Tabelle 40 (1989). Einfachfenster mit Einfachverglasung werden nach VDI 2719 Tabelle 3 (1987) ermittelt.

Die Abschätzung der Schalldämmung erfolgt dabei anhand der Kategorisierung der Schallschutzklassen in VDI 2719 und der tabellarischen Angaben aus DIN 4109, Beiblatt 1. Die Quellen geben auf Grundlage des Fensteraufbaus (Einfach-, Kasten- oder Verbundfenster) und des Scheibenaufbaus (Einfachscheibe, Isolierglas mit Angabe zu Gesamtglasstärken und Scheibenzwischenraum) im Fall der VDI 2719 eine Klasseneinteilung des bewerteten Schalldämm-Maßes der Fenster (mit einer Klassenbreite von 5 dB) und im Fall der DIN 4109 einen Rechenwert an. Es wurden folgende Annahmen zu Einfachfenstern mit Einfachverglasung und Verbundfenstern nach PASCHA 2010 (Möhler und Partner, 2010) getroffen:

- Für Fenster ohne Dichtung wird ein $R'_w = 20$ dB angesetzt
- Für Fenster mit Dichtung und einer Glasdicke > 4 mm wird ein $R'_w = 25$ dB angesetzt
- Für Fenster mit Dichtung und einer Glasdicke > 8 mm wird ein $R'_w = 30$ dB angesetzt
- Bei mehrflügeligen Fenstern wird R'_w um 2 dB verringert
- Fensterundichtigkeiten verringert sich der R'_w um 5 dB

Anmerkungen zu Einfachfenstern mit Isolierverglasung:

- Bei mehrflügeligen Fenstern wird R'_w um 2 dB verringert
- Fensterundichtigkeiten verringern R'_w um 2 dB

Anmerkungen zu Verbundfenstern:

- Bei mehrflügeligen Fenstern wird R'_w um 2 dB verringert
- Fensterundichtigkeiten verringern R'_w um 5 dB

Die Berechnung des Innenpegels erfolgt nach VDI 2719 (1987). Bei dieser Berechnung wird ein Korrektursummand K zur Berücksichtigung unterschiedlicher spektraler Verteilungen bei den Geräuschquellen angesetzt. Die Korrektursummanden K können für verschiedene

Verkehrssituationen nachfolgender Tabelle gemäß VDI 2719 (1987), Tabelle 7 entnommen werden.

Tabelle 2-1: Korrektursummanden K in dB für übliche Verkehrssituationen (VDI 2719, 1987)

Immissionsorte an	K in dB (nach VDI 2719)	K in dB (NOR-AH)
- Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0	0
- übrigen Bahnstrecken	3	3
- innerstädtischen Straßen	6	3
- anderen Straßen	3	3
- Verkehrsflughäfen	6	6

Die in Gleichung 5 der VDI 2719 (1987) angegebene Winkelkorrektur wird vernachlässigt. Der Korrektursummand K zur Berücksichtigung des Spektrums des Außengeräusches sowie der Frequenzabhängigkeit des Schalldämm-Maßes der Fenster wird für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche pauschal mit 3 dB veranschlagt. Bei innerstädtischen Straßenverkehrsgeräuschen wird aufgrund der im heutigen Straßenverkehr vorherrschenden Geräuschcharakteristik (Dominanz des Rollgeräusches und damit eher höherfrequenter Geräuschabstrahlung) ein K -Summand von 3 dB entsprechend „anderen Straßen“ (vgl. Tabelle 2-1) gewählt. Für Luftverkehrsgeräusche wird eine Korrektur von 6 dB vorgenommen.

2.3.5 Historisierung der Geräuschbelastung im Untersuchungsgebiet Frankfurt

Luftverkehrsgeräusche

Für Luftverkehrsgeräusche finden Berechnungen der historischen Daten von 1997 bis 2010 jeweils mit den Radardaten für die betreffenden Jahre statt. Die akustischen Kennwerte des Jahres 1996, für die keine Radardaten vorliegen, werden aus dem Jahr 1997 übernommen.

Straßenverkehrsgeräusche

Berechnungen der Straßenverkehrsgeräusche finden ausschließlich für das Jahr 2005 statt. Die Verkehrszählungen aus anderen Jahren (üblicherweise im 5-Jahres-Rhythmus) sind aufgrund geänderter Erhebungsverfahren nicht vergleichbar. Daher werden die historischen Daten gemäß der Gesamtverkehrsentwicklung Hessen auf Grundlage der Veröffentlichung „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“ (Hessen Mobil, 2010) anhand der dort angegebenen durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und der Schwerverkehrsanteile auf die historischen Jahre skaliert, indem man nach Gleichung (8) der VBUS für jedes Jahr aus den DTV und Schwerverkehrsanteilen den $L_{m,E}$ errechnet und dann mit dem Jahr 2005 vergleicht. Die zur Berechnung der Schallpegel in den „historischen“ Jahren verwendeten Durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und Schwerverkehrsanteile sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 2-2: Veränderung des Gesamt- sowie Schwerverkehrs; eigene Tabelle, Berechnung nach Daten aus: Hessen Mobil, Straßen und Verkehrsmanagement „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“, Ausgabe 2010, www.mobil.hessen.de/Downloads&Formulare

Jahr	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h	Schwerverkehrsanteil in %	Skalierungswert in dB
1997	11.159,8	10,0	-0,1
1998	11.308,2	10,3	0,0
1999	11.456,6	10,6	0,1
2000	11.605,0	10,9	0,3
2001	11.578,4	10,8	0,2
2002	11.551,8	10,7	0,2
2003	11.525,2	10,6	0,1
2004	11.498,6	10,4	0,1
2005	11.472,0	10,3	0,0
2006	11.450,8	10,4	0,1
2007	11.429,6	10,4	0,1
2008	11.408,4	10,5	0,1
2009	11.387,2	10,6	0,1
2010	11.366,0	10,7	0,1

Schienenverkehrsgeräusche

Die Berechnungen des Schienenverkehrsgeräusches finden für die Jahre 2002, 2007 und 2010 statt. Für die anderen Jahre liegen keine Verkehrsmengenangaben vor. Zur Ermittlung der historischen Daten von 1996 bis 2010 werden die akustischen Kenngrößen wie folgt ergänzt:

$$\begin{aligned}
 1996 \text{ bis } 2004: & \quad L_x = L_{2002} \\
 2005 \text{ bis } 2008: & \quad L_x = L_{2007} \\
 2009 \text{ bis } 2010: & \quad L_x = L_{2010}
 \end{aligned}$$

2.3.6 Abbruchkriterium

Die Berechnungen der Verkehrsgeräusche ergeben rechnerisch auch dann Pegelwerte, wenn aufgrund des Abstands zum Immissionsort tatsächlich keine Geräuscheinwirkung mehr auftreten kann. Besonders bei Schienenverkehrsgeräuschen ergeben sich aufgrund der geringen Dichte des Schienennetzes rechnerische Pegelwerte an den Gebäuden, die weit unterhalb des ständig vorherrschenden Hintergrundgeräusches liegen. Rechnerisch können sich selbst negative Pegelwerte ergeben. Dies tritt insbesondere bei Schienenverkehrsgeräuschen auf, für die Innenpegel berechnet wurden. Tatsächlich ergibt sich bei geringen errechneten Geräuschbelastungen kein Unterschied, ob der errechnete Wert 20 dB oder 30 dB unterhalb des ständig vorherrschenden Hintergrundgeräusches liegt. In beiden Fällen werden die jeweils als Rechenwert ermittelten Geräuschbelastungen durch

das Hintergrundgeräusch verdeckt und sind nicht mehr unterscheidbar. Daher ist es sinnvoll, mit den Berechnungen unterhalb einer definierten Untergrenze abubrechen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

2.3.6.1 Allgemeines Abbruchkriterium

Um eine möglichst realistische und dennoch hohe Ausnutzung des akustischen Wertebereichs zu erzielen, wird die untere Grenze des vertretbaren Wertebereichs der Geräuschbelastung (Abbruchkriterium) mit Hilfe von Messwerten aus Langzeitmessungen ermittelt. Dazu werden die vom UNH für die Nacht 00:00 bis 04:00 Uhr übermittelten Rohdaten aus Schallmessungen verschiedener Messstationen am Frankfurter Flughafen (UNH, E-Mail vom 17.12.2013) hinsichtlich der vorherrschenden Hintergrundpegel ausgewertet.

Tabelle 2-3: Messstellen zur Ermittlung des Hintergrundpegels in der Umgebung des Frankfurter Flughafens (UNH, E-Mail vom 17.12.2013)

Messstelle	Gemeinde	Erhebungszeit der Messung
MP203	Offenbach	01.09.2013 – 29.09.2013
MP207	Königstädten	01.09.2013 – 29.09.2013
MP208	Gustavsburg	01.09.2013 – 29.09.2013
MP218	Gernsheim	15.11.2013 – 30.11.2013
MP261	Worfelden	15.11.2013 – 30.11.2013

Ausgewertet werden die Pegel-Zeitverläufe anhand des 95 % -Überschreitungspegels $L_{pA,95,TM}$ (Hintergrundpegel). Gemäß DIN 45643 ist dies der Pegel, der von 95 % aller Pegel innerhalb der Messzeit überschritten wird (DIN 45643, 2011). In Abbildung 2-12 ist der Pegel-Zeitverlauf des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstelle Gernsheim zwischen 01:00 Uhr und 02:00 Uhr dargestellt. Die Messzeit beträgt 1 Stunde.

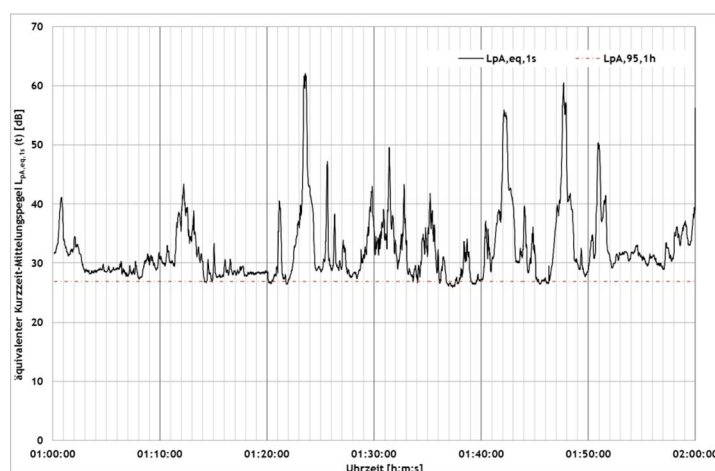


Abbildung 2-12: Zeitverlauf des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Gernsheim 01:00 Uhr bis 02:00 Uhr

Der in dieser Zeit an der Messstation Gernsheim maßgebliche $L_{pA,95,1h}$ liegt bei 28,9 dB. Der Hintergrundpegel kann jedoch je nach örtlicher Lage – dünn besiedelte Gebiete oder dichter besiedelte Gebiete – variieren. Dies zeigt sich anhand des Pegel-Zeitverlaufs des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden zwischen 01:00 Uhr und 02:00 Uhr aus folgender Abbildung. Die Messzeit beträgt 1 Stunde.

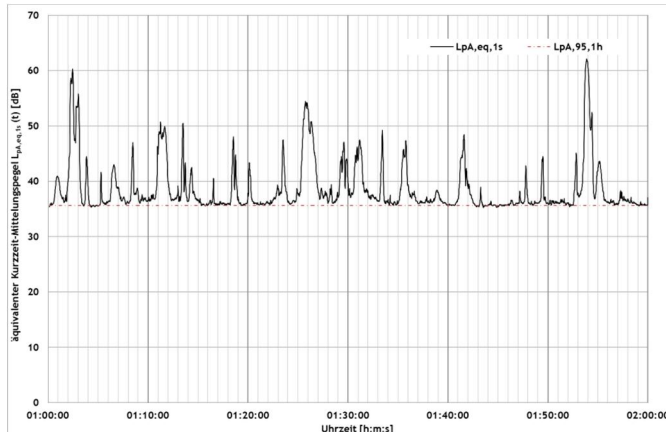


Abbildung 2-13: Zeitverlauf des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden 01:00 Uhr bis 02:00 Uhr

Der in dieser Zeit an der Messstation Worfelden maßgebliche $L_{pA,95,1h}$ liegt bei 35,6 dB. Nachfolgende Tabelle stellt die Hintergrundpegel $L_{pA,95,4h}$ verschiedener Messstationen in der Nacht von 00:00 Uhr bis 04:00 Uhr gegenüber. Die Messzeit beträgt 4 Stunden. Die Messstationen befinden sich in teils dünn besiedelten, teils dichter besiedelten bis innerstädtischen Gebieten.

Tabelle 2-4: Hintergrundpegel $L_{pA,95,4h}$ an den Messstationen

Messstelle	Gemeinde	Uhrzeit der Messung	Hintergrundpegel $L_{pA,95,4h}$ [dB]
MP203	Offenbach	00:00 – 04:00 Uhr	37,8
MP207	Königstädten	00:00 – 04:00 Uhr	42,4
MP208	Gustavsburg	00:00 – 04:00 Uhr	39,2
MP218	Gernsheim	00:00 – 04:00 Uhr	28,2
MP261	Worfelden	00:00 – 04:00 Uhr	35,7

Die Messwerte zeigen, dass innerhalb der Nacht von 00:00 bis 04:00 Uhr nur an wenigen Messstellen Hintergrundpegel kleiner 30 dB auftreten können. Für die weiteren statistischen Analysen wurde die untere Grenze des Abbruchkriteriums für Außenpegel auf 30 dB gesetzt. Auch bei höheren Werten, z. B. 30 bis 45 dB, kann jedoch eine Zuordnung der Verkehrsgeräuschpegel zu den untersuchten Wirkungen der erfragten Belästigung nicht sichergestellt werden. In diesen Pegelbereichen kann es zu Verdeckungen durch Fremdgeräusche von außen (z. B. Hintergrundgeräusche) kommen. Das Abbruchkriterium für Innenpegel wird anhand gängiger Literatur gewählt. Nach VDI 4100 (2012) ist in Wohnräumen in ruhigen ländlichen Einzelwohnlagen mit einem Innenpegel von 15 dB zu rechnen. Dies entspricht auch dem Innenpegel, der sich bei Fenstern in Kippstellung mit einer Pegelminde-

rung von 15 dB gemäß VDI 2719 (1987) bei einem Außenpegel von 30 dB ergibt (vgl. Kötz, 2004). Auch im Innenraum kann eine Verdeckung der Verkehrsgeräuschpegel durch Fremdgeräusche (z. B. haustechnische Anlagen) nicht ausgeschlossen werden. Daher kann die Zuordnung der Verkehrsgeräuschpegel zu den untersuchten Wirkungen der erfragten Belästigung nicht sichergestellt werden. Die bisher verwendeten akustischen Daten für die Nachtzeit werden als kontinuierliche Kenngrößen verwendet. Das bedeutet, dass auch Abwertete Mittelungspegel ab 30 dB (außen) bzw. 15 dB (innen) in die interdisziplinären Berechnungen eingehen (Zeus GmbH, E-Mail vom 08.05.2014). In den Fällen, in denen die errechneten Pegelwerte das jeweilige Abbruchkriterium (bzw. den entsprechenden Pegelwert des Kriteriums) unterschreiten, wurden die Rechenwerte durch Platzhalter „-99“ ersetzt. Diese Rechenpunkte konnten somit in der weiteren Analyse eindeutig erkannt werden.

2.3.6.2 Abbruchkriterium der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken

Im Rahmen der Berechnungen für die Sekundärdatenanalyse werden die folgenden Abbruchkriterien festgelegt. Die Daten zur Luftverkehrsbelastung werden für die Lärmhistorie von 1997 bis 2010 wie folgt nachbearbeitet:

Wenn $L_{pAS,max} - L_{pA,eq} \geq 30$ dB,	dann	$L_{pAS,max} = L_{pA,eq} + 30$ dB
Wenn $L_{pAS,max} - L_{pA,eq} \leq 5$ dB,	dann	$L_{pAS,max} = L_{pA,eq} + 5$ dB
Wenn $L_{pA,eq} < 40$ dB,	dann	$L_{pA,eq} = \text{„--“}$
Wenn $L_{pAS,max} < 50$ dB,	dann	$L_{pAS,max} = \text{„--“}$

Die 20 Tageszeitbereiche des Referenzjahres werden nicht nachbearbeitet, da aus den Pegelwerten dieser Bereiche weitere Teilzeiten gebildet werden. Lediglich die Pegelwerte in den zusammengefassten Teilzeiten von 06:00 - 22:00 Uhr und von 22:00 - 06:00 Uhr wurden wie folgt nachbearbeitet:

Wenn $L_{pA,eq} < 40$ dB,	dann	$L_{pA,eq} = \text{„--“}$
Wenn $L_{pAS,max} < 50$ dB,	dann	$L_{pAS,max} = \text{„--“}$

Das Abbruchkriterium wird für Straßenverkehrsgeräusche wie folgt festgelegt und auf den akustischen Datensatz angewendet:

Wenn $L_{pAF,max} - L_{pA,eq} \geq 20$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = L_{pA,eq} + 20$ dB
Wenn $L_{pAF,max} - L_{pA,eq} \leq 5$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = L_{pA,eq} + 5$ dB
Wenn $L_{pA,eq} < 40$ dB,	dann	$L_{pA,eq} = \text{„--“}$
Wenn $L_{pAF,max} < 40$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = \text{„--“}$

Für Schienenverkehrsgeräusche wird das Abbruchkriterium wie folgt festgelegt und angewendet:

Wenn $L_{pAF,max} - L_{pA,eq} \geq 30$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = L_{pA,eq} + 30$ dB
Wenn $L_{pAF,max} - L_{pA,eq} \leq 5$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = L_{pA,eq} + 5$ dB
Wenn $L_{pA,eq} < 40$ dB,	dann	$L_{pA,eq} = \text{„--“}$
Wenn $L_{pAF,max} < 40$ dB,	dann	$L_{pAF,max} = \text{„--“}$

3 Datengrundlage

3.1 Topographie

3.1.1 Region Flughafen Frankfurt

Der Untersuchungsraum der Region Frankfurt ist in folgender Abbildung dargestellt:

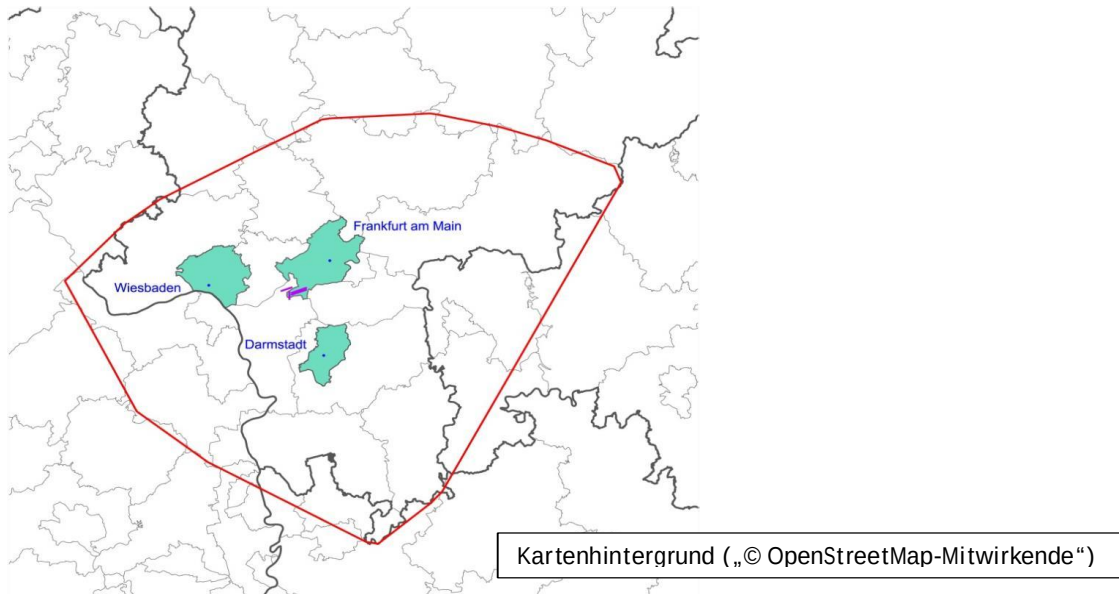


Abbildung 3-1: Studienregion Frankfurt am Main schematisch

Die Erfassung und Aufbereitung von digitalen Höhen- bzw. Geländedaten (DHM/DGM) wird von den Vermessungsämtern der einzelnen Bundesländer vorgenommen. Je nach Anwendungsbereich können DGM-Daten in unterschiedlichen Rasterabständen bezogen werden.

Beispielsweise sind folgende Rasterweiten möglich:

1. 1 m x 1 m (DGM 1)
2. 5 m x 5 m (DGM 5)
3. 10 m x 10 m (DGM 10)
4. 25 m x 25 m (DGM 25)
5. 50 m x 50 m (DGM 50)

Der Unterschied in den verschiedenen DGM-Daten liegt zum einen in der genaueren Abbildung von stark veränderlichem Gelände (dicht aufeinander folgende Höhengsprünge) und zum anderen in den hohen Datenmengen bei abnehmenden Rasterabständen begründet. Als Grundlage für akustische Rechenmodelle zur Abbildung von Straßen- bzw. Schienenverkehr können je nach Gebiet (überwiegend ebenes oder überwiegend hügeliges Gelände) digitale Geländemodelle in der Qualität DGM 5, DGM 10 oder DGM 25 verwendet werden. Damit digitale Höhendaten als Grundlage zur Erstellung eines akustischen Rechenmodells verwendet werden können, müssen diese in die Modell- und Berechnungssoftware impor-

tiert werden. Zur Verringerung der Datenmenge werden die digitalen Höhendaten mit einem Importfilter bearbeitet. Dabei werden die Höhenpunkte innerhalb eines vordefinierten maximalen Punktabstands bzw. eines Rasterabstandes und einer maximalen Höhendifferenz zu den Originaldaten verglichen und redundante Höhendaten vom Import ausgenommen. Alle Höhendaten für Straßen- und Schienenverkehrsberechnungen werden mit einem Filter von 40 cm gefiltert. Das bedeutet, innerhalb eines Rasters werden alle Höhenpunkte vom Import ausgenommen, deren maximaler Höhenunterschied zu den Originalhöhendaten nicht größer ist als 40 cm. Dies führt zu einer Glättung der Höhendaten. Die Genauigkeit des akustischen Modells leidet nicht darunter. Um die Menge an Daten gerade bei sehr großen Modellen gering und damit handhabbar zu halten, ist die Verwendung von größeren Rasterabständen im DGM als Datengrundlage sinnvoll. Ein DGM 1 m x 1 m (DGM 1) gibt es in Hessen zum Zeitpunkt der Modellbildung von NORAH noch nicht. Für die Fläche des Regierungsbezirks Darmstadt wird das digitale Geländemodell mit Rasterabstand 10 m x 10 m (DGM 10) aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) vom Hessischen Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) zur Verfügung gestellt (HVBG, mit Schreiben vom 04.01.2012). Da relevante, dicht aufeinanderfolgende Höhengsprünge im Allgemeinen nur in der Nähe von Straßenverläufen bzw. Schienestrecken - aufgrund von Damm- und Einschnittslagen oder wegen Schallschutzwällen etc. - auftreten, stellt die Verwendung des Rasterabstandes im DGM 10 einen guten Kompromiss zwischen handhabbarer Datenmenge und Detaillauflösung der Geländeoberfläche dar. Der Nachteil dieser Datenersparnis sind die teilweise nicht richtig wiedergegebenen Höhendaten bei Damm- bzw. Einschnittslagen oder Schallschutzwällen. Aus diesem Grund werden die Höhendaten in diesen Bereichen nachbearbeitet. In welcher Höhe die Straßen- und Schienengradienten verlaufen, ist im Aufriss ablesbar. Da sich falsch dargestellte Schallschutzwälle nur sehr nah an der Schallquelle auswirken, ist der Einfluss auf die Gesamtunsicherheit sowie auf das Gesamtergebnis der NORAH-Studie als eher gering einzustufen. Die Auswirkungen werden im Rahmen der Ermittlung der Berechnungsunsicherheit untersucht und dargestellt. Zur Nachbildung der topographischen Gegebenheiten der vier Landkreise in Rheinland-Pfalz (nachfolgend Rheinhessen genannt) wurden Laserscanhöhendaten (DGM 1) sowie das DGM 10 aus dem ATKIS vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) zur Verfügung gestellt (LUWG, mit Schreiben vom 12.12.2011). Da in den Laserscan-Höhendaten Damm- bzw. Einschnittsbereiche sowie Schallschutzwälle korrekt abgebildet werden, werden im Abstand bis zu 20 m von den Fahrbahnrandern der Straßen- und Schienen die Originalhöhendaten auf 40 cm gefiltert; weiter entfernte Bereiche werden mit dem gefilterten DGM 10 abgebildet.

Besonderheiten bei der Geländeaufbereitung

Aus den gefilterten digitalen Höhendaten des Regierungsbezirk Darmstadt und RLP wird ein gemeinsames digitales Geländemodell für den gesamten Umgriff berechnet. Aufgrund der großen Datenmenge wird das berechnete DGM in Kacheln mit einer maximalen Ausdehnung von 20 km x 20 km unterteilt. Dadurch ist es möglich, eine genaue und handhabbare Grundlage für das akustische Rechenmodell zu Straßen- und Schienenverkehr zu bilden. Ein Auszug aus diesem DGM ist für den Bereich Kelsterbach in Abbildung 3-2 dargestellt.

Straßen- und Schienenachsen werden auf das DGM gelegt und geglättet. Bei Unter- und Überführungen von Flüssen, Straßen- und Schienenwegen werden die Höhenverläufe automatisch geprüft und ggf. Brücken eingefügt. Vor allem bei Straßen versagte die automatische Korrektur häufig wegen der zu geringen Länge der Straßenabschnitte. Dort werden die Höhen von Hand korrigiert und ebenfalls von Hand Brücken eingefügt. Aus den Straßen- und Schienengradienten werden die Fahrbahnränder berechnet. Diese werden mit einem Folgerechenlauf in das DGM eingerechnet. In Brückenabschnitten bleibt das ursprüngliche Gelände im Modell. Damit ist gewährleistet, dass das Gelände an keiner Stelle über den Emissionsbändern liegt.

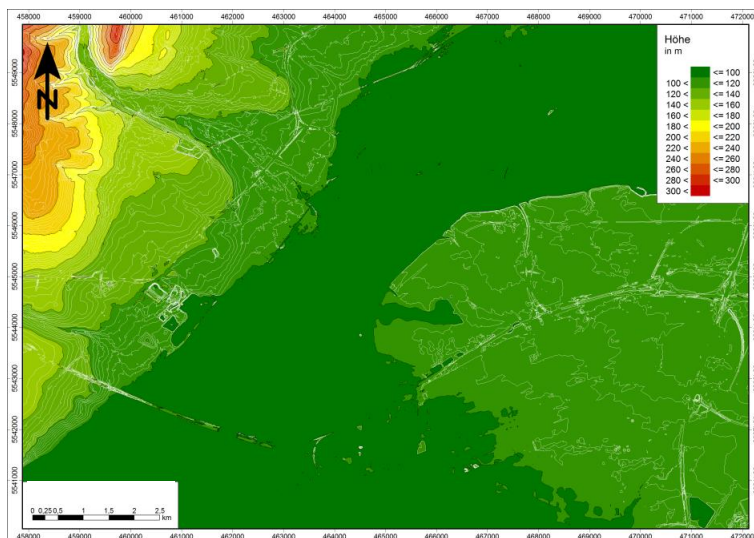


Abbildung 3-2: Beispiel der Detailstufe des berechneten DGM 10 im akustischen Rechenmodell für Straßen- und Schienenverkehr im Bereich Kelsterbach. Die Farbflächen wurden durch Linien in einem Höhenabstand von 2,5 m weiter unterteilt. An manchen Stellen sind Dämme und Einschnittsböschungen an Straßen- und Schienenwegen sichtbar.

Besonderheiten bei Luftverkehrsgeräuschen

Zusätzlich wurde im Rahmen der Nutzungsvereinbarung vom 06.07.2012 zur Berechnung der Luftverkehrsgeräusche für die Flächen des Regierungsbezirks Darmstadt sowie Rheinhessens vom Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH (UNH) das Digitale Geländemodell mit Rasterabstand 50 m x 50 m (DGM 50) zur Verfügung gestellt (UNH, E-Mail vom 06.07.2012). Aufgrund der hohen Datenmenge zu den Flugbewegungen (im DES oder den STANLY- bzw. FANOMOS-Radarbahnen) ist es notwendig, eine möglichst umfangreich gefilterte Ausgangsdatenbasis der digitalen Höhendaten zu verwenden. Zur Filterung der digitalen Höhenpunkte im DGM 50 werden die Voreinstellungen des Filters wie folgt vordefiniert:

1. Rasterabstand = 50 m
2. Maximale Höhendifferenz zur den Originalpunkten = 0,5 m

Das bedeutet, dass innerhalb eines 50 m x 50 m Rasters alle Höhenpunkte vom Import aufgenommen sind, deren maximaler Höhenunterschied zu den Originalhöhendaten nicht grö-

ßer ist als 50 cm. Ein Auszug aus diesem DGM ist für den Bereich Kelsterbach in Abbildung 3-3 dargestellt.

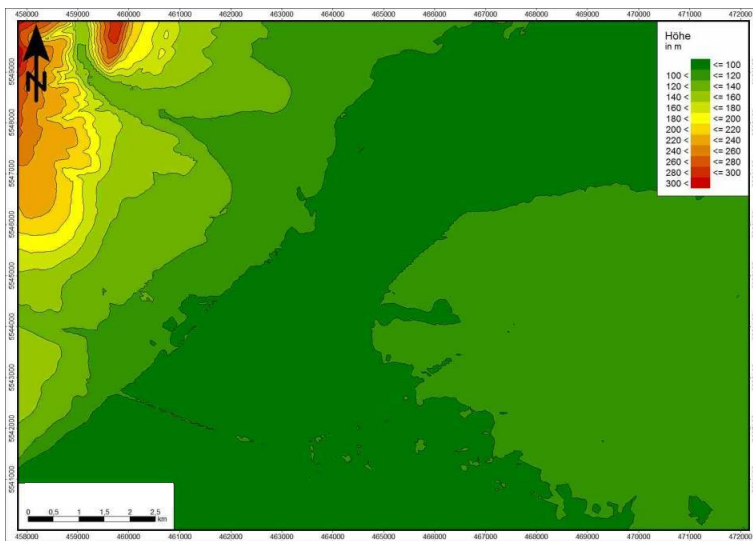


Abbildung 3-3: Beispiel der Detailstufe des berechneten DGM 50 im akustischen Rechenmodell für Luftverkehr im Bereich Kelsterbach

Berücksichtigung des aktiven Schallschutzes

Zur Berücksichtigung des aktiven Schallschutzes an Straßen- und Schienenwegen werden Schallschutzwände im Regierungsbezirk Darmstadt aus der Zentralen Geodatenbank für Lärm, zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (Richtlinie EG, 2002), des HLUG, mit Stand 2007, übernommen (HLUG, mit Schreiben vom 15.12.2011). Die Ausgangsdaten enthalten die georeferenzierte Lage und die Längen der Schallschutzwände. Angaben zu Wandhöhen sind teilweise in absoluter Höhe bezogen auf Normal Null (NN) bzw. relativer Höhe bezogen auf das DGM vorhanden. Angaben zu Reflexionseigenschaften sind teilweise vorhanden. Zusätzlich wird der aktive Schallschutz den Ergebnisdaten der EU-Lärmkartierung des EBA, Stand 2010, entnommen (Eisenbahn-Bundesamt, 2010). Die Ausgangsdaten enthalten sowohl Schallschutzwände an Schienen als auch an Straßen; die georeferenzierte Lage sowie Längen des aktiven Schallschutzes sind enthalten. Die Vollständigkeit der Straßen- und Schienenwege wird anhand von Luftbildaufnahmen aus Google Earth überprüft (Google Earth, Stand 2005). Fehlende Schallschutzwände werden anhand der Luftbildaufnahmen digitalisiert. Ihre Höhen werden anhand des erkennbaren Schattenwurfs ermittelt und in Relation zu benachbarten Gebäuden überprüft. Zur Nachbildung des aktiven Schallschutzes werden, sofern keine konkreten Angaben vorhanden sind, folgende pauschale Annahmen getroffen:

1. Schallschutzwände an Straßen werden mit einer Höhe von 3 m angenommen
2. Schallschutzwände an Schienenstrecken werden mit einer Höhe von 2 m angenommen
3. Die Abschirmwirkung wird zur Quelle hin als hochabsorbierend angenommen

Insgesamt sind Schallschutzwände mit einer Gesamtlänge von 125 km im Modell enthalten.

3.1.2 Vergleichsstandorte Region Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin

Vorbemerkung

In den Vergleichsstandorten wird das DGM nur für den Untersuchungsbereich, in dem Probanden ausgewählt wurden, erhoben; auch die Prüfung der Straßen- und Lärmschutzwände hängt davon ab, ob sich Probanden im Einflussbereich befinden. Die Verkehrsstärken werden aus den Verkehrsstärkenkarten der Bundesverkehrszählung 2010 entnommen, die Straßengeometrie aus Luftbildern (Google Earth). Sofern Daten aus der Lärmkartierung 2012 verfügbar waren, werden diese übernommen.

Köln/Bonn

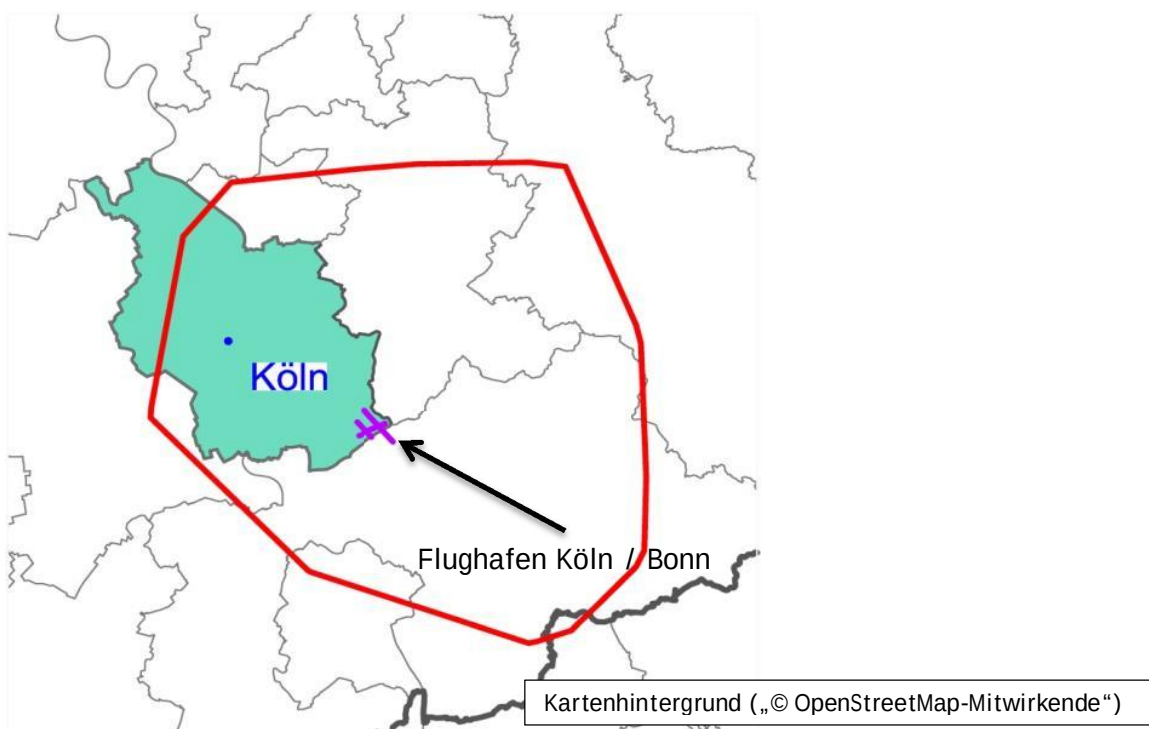


Abbildung 3-4: Untersuchungsraum Köln

In Abbildung 3-4 sind der Untersuchungsraum (rote Linie) am Vergleichsstandort Köln und der Standort des Flughafens (violett) dargestellt. Das DGM 5 für den Untersuchungsraum Köln/Bonn wurde für den gesamten Umgriff des Untersuchungsgebietes um den Flughafen Köln/Bonn vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW zur Verfügung gestellt (LANUV, E-Mail vom 20.03.2014). Zusätzlich wurden die Maßnahmen zum aktiven Lärmschutz aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung 2013, mit Stand 2010, übergeben. Die Ausgangsdaten zu den Schallschutzwänden enthalten die georeferenzierte Lage der Wände und deren relative Höhen in Bezug auf das DGM. Außerdem sind Angaben zum Material, Art des Schirms sowie die Zugehörigkeit zu Straße oder Schiene enthalten. Zur Vervollständigung der Ausgangsdaten mit den teilweise fehlenden Schallschutzwänden innerhalb der Ballungsräume wird die Datenerhebung auf die Ballungsräume Köln, Bonn, Bergisch-Gladbach und Leverkusen ausgeweitet. Das Umwelt- und Verbraucherschutzamt des Ballungsraums Köln stellte die Maßnahmen zum aktiven Schallschutz aus dem zur

Lärmkartierung verwendeten akustischen Rechenmodell zu Straßenverkehrsgeräuschen zur Verfügung (Stadt Köln, E-Mail vom 09.05.2014). Diese Ausgangsdaten enthalten die Reflexionsverluste sowie Angaben zur Höhe der Schallschutzwände. Auch das Amt für Umwelt, Verbraucherschutz und lokale Agenda des Ballungsraums Bonn stellte die Maßnahmen zum aktiven Schallschutz aus dem bei der Lärmkartierung verwendeten akustischen Rechenmodell zu Straßenverkehrsgeräuschen zur Verfügung (Amt für Umwelt, Verbraucherschutz und lokale Agenda, E-Mail vom 07.05.2014). Die Ballungsräume Leverkusen und Bergisch-Gladbach konnten zu den aktiven Schallschutzmaßnahmen keine Ausgangsdaten zur Verfügung stellen. Für diese Ballungsräume werden die Ausgangsdaten des LANUV zugrunde gelegt.

Berlin

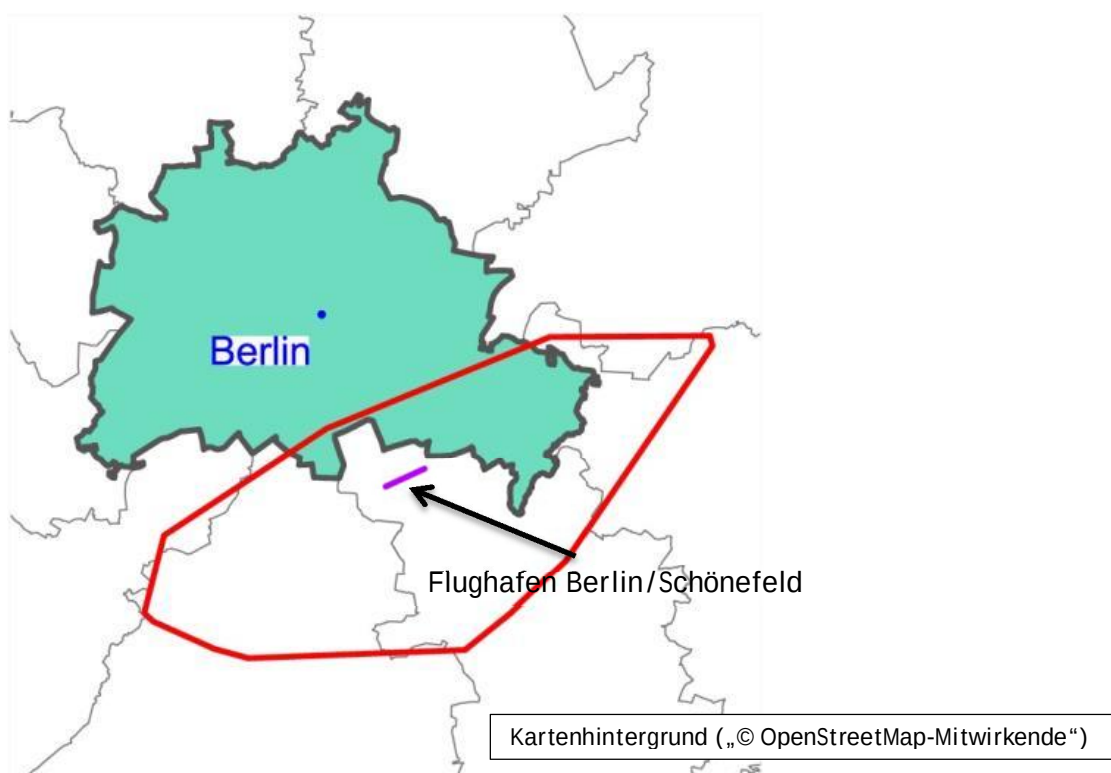


Abbildung 3-5: Untersuchungsraum Berlin/Schönefeld

In Abbildung 3-5 sind der Untersuchungsraum (rote Linie) am Vergleichsstandort Berlin/Schönefeld und der Standort des Flughafens (violett) dargestellt. Das digitale Geländemodell DGM 5 für den Ballungsraum Berlin wurde im Rahmen der Open-Data-Initiative des Landes Berlin von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Abteilung III – Geoinformation – III D 2 zu Verfügung gestellt (SenStadtUm, E-Mail vom 16.04.2014). Außerdem stellte SenStadtUm (SenStadtUm, E-Mail vom 17.04.2014, Schreiben vom 08.05.2014 bzw. E-Mail vom 08.01.2013) die Eingangsdaten zur Lärmkartierung 2012 (Straßen mit Verkehrsstärken, Schallschutzwände) zur Verfügung. Für Brandenburg kann auf das Rechenmodell zur Lärmkartierung 2012 zurückgegriffen werden. Angaben zu Wandhöhen und Absorption sind enthalten. Das digitale Geländemodell für das Land Brandenburg wurde vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV)

zur Verfügung gestellt (LUGV, E-Mail vom 17.12.2012). In den Ausgangsdaten sind ebenso die Maßnahmen zum aktiven Schallschutz mit Angaben zu Wandhöhe und Reflexionsverlusten enthalten.

Stuttgart

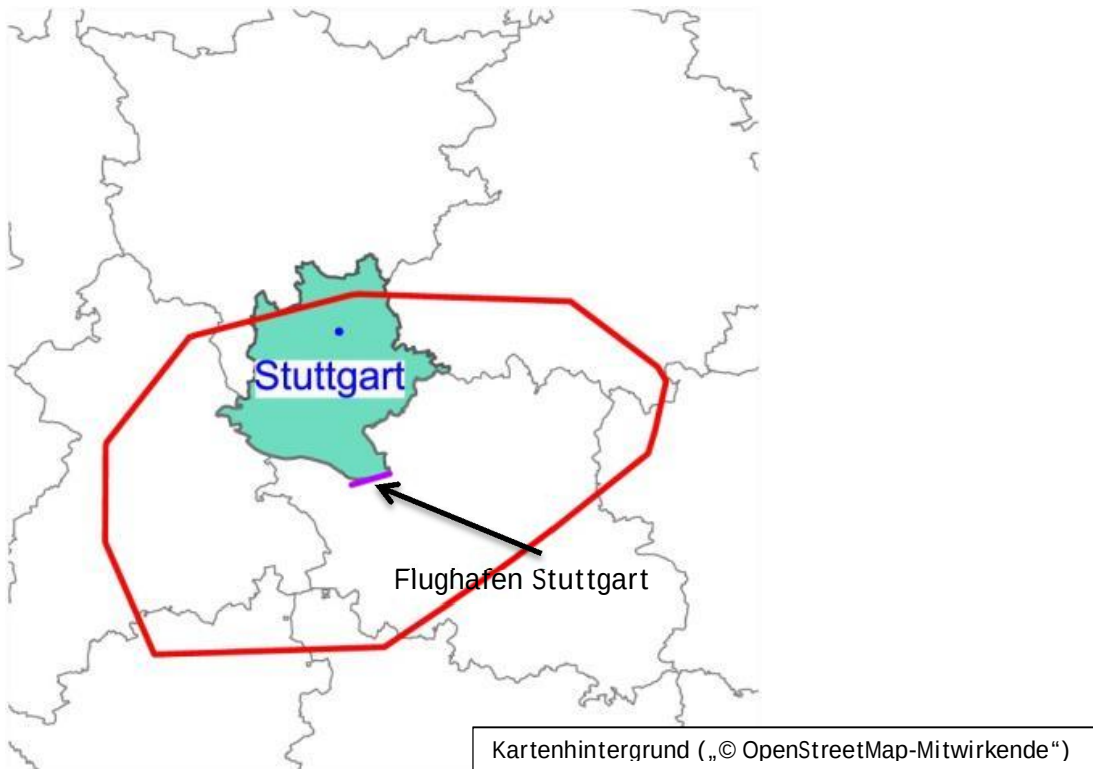


Abbildung 3-6: Untersuchungsraum Stuttgart

In Abbildung 3-6 sind der Untersuchungsraum (rote Linie) am Vergleichsstandort Stuttgart und der Standort des Flughafens (violett) dargestellt. Innerhalb des Umgriffs in Baden-Württemberg wird ein digitales Geländemodell mit einem Rasterabstand von 25 m x 25 m verwendet. Die digitalen Höhendaten DGM 25 für die Region Stuttgart Flughafen wurden vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) zur Verfügung gestellt (LGL, E-Mail vom 01.08.2014). Die Maßnahmen zum aktiven Schallschutz wurden im Zuge der Datenerhebung für den Straßenverkehr erhoben. Die aus der Lärmkartierung entnommenen Ausgangsdaten zum Straßenverkehr enthalten die Maßnahmen zum aktiven Schallschutz und wurden von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) zur Verfügung gestellt (LUBW, E-Mail vom 26.03.2014). Die Daten enthalten sowohl die Art der Maßnahme (Wall bzw. Wand etc.), die Höhe des Bauwerks als auch Angaben über das Material. Für das Stadtgebiet Stuttgart steht das Rechenmodell für den Umgebungslärm aus dem Jahr 2013 zur Verfügung. Die Eigenschaften der Lärmschutzwände und -wälle stammten aus einer Zusammenstellung der Stadt Stuttgart (LH Stuttgart, E-Mail vom 05.03.2014). Auch bei den Vergleichsstandorten wurden die Ränder von Straßen- und Schienenwegen in das DGM eingerechnet und an Querungen oder im Höhenprofil erkennbaren signifikanten Einbrüchen Brücken eingefügt. Die Ausgangsdaten zu den Maßnahmen zum aktiven Schallschutz an Schienenwegen wurden für alle Ver-

gleichsstandorte vom Geodatenmanagement der DB Netz AG zur Verfügung gestellt (DB Netz AG, E-Mail vom 13.05.2014). In den Daten waren die georeferenzierte Lage der Schallschutzwände, deren Längen sowie die Streckenzugehörigkeit angegeben. Angaben über das verwendete Material sowie die Höhe der Wände waren nicht vorhanden. Da nicht alle Ausgangsdaten zu den Maßnahmen des aktiven Schallschutzes vollständig waren bzw. wichtige Angaben wie Wandhöhen nicht vorhanden waren, werden zur Nachbearbeitung des aktiven Schallschutzes an den Vergleichsstandorten die gleichen pauschalen Ansätze wie im Regierungsbezirk Darmstadt und RLP angewandt.

3.2 Bebauung

3.2.1 Region Flughafen Frankfurt

Die Bebauung wird in akustischen Rechenmodellen auf verschiedene Arten und mit Hilfe der unterschiedlichsten Ausgangsdaten nachgebildet. Folgende Datengrundlagen werden von Vermessungsämtern zur Verfügung gestellt:

- Gebäudeumringe bzw. -grundrisse;
- Digitale Oberflächenmodelle;
- Gebäudemodell in level of detail 1 (LOD 1), Klötzchenmodell (Grundfläche hochgezogen);
- Gebäudemodell in LOD 2 (3D-Modell des Gebäudes mit Dachstruktur);

Im Rahmen der Datenerhebung für den Regierungsbezirk Darmstadt im Jahr 2011 wurden zur Modellierung der Gebäude flächendeckend die georeferenzierte Lage der Gebäudeumringe aus dem digitalen Liegenschaftsmodell (DLM) des ATKIS vom HVBG, mit Stand 2011, zur Verfügung gestellt (HVBG, mit Schreiben vom 04.01.2012). 3-D Gebäudemodelle konnten für die Ballungsräume Frankfurt am Main vom Stadtvermessungsamt Frankfurt, mit Stand 2011, und von Darmstadt - Vermessungsamt, mit Stand 2011, zur Verfügung gestellt werden (Stadtvermessungsamt Frankfurt am Main, mit Schreiben vom 11.11.2011; Darmstadt - Vermessungsamt, mit Schreiben vom 14.11.2011). Bei der Datenerhebung in Rheinhessen konnten die Gebäudeumringe flächendeckend für die benötigten vier Landkreise Mainz, Mainz-Bingen, Alzey-Worms und Worms aus dem DLM des Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) bzw. ATKIS vom LUWG, mit Stand 2011, zur Verfügung gestellt werden (LUWG, mit Schreiben vom 12.12.2011). Zusätzlich zu den Gebäudeumringen bzw. -grundrissen waren auch die Gebäudehöhen flächendeckend für die vier benötigten Landkreise in Form der Laserscanhöhendaten vorhanden (vgl. Abschnitt 3.1.1). Man kann davon ausgehen, dass sich der Einfluss der Gebäudehöhe auf die Geräuschexposition von Straßen bzw. Schienen lediglich auf sehr nah an der Quelle gelegene Gebäude beschränkt und in hinteren Bebauungsreihen gering ist. Sofern keine Angaben zu den Höhen der Gebäude vorhanden waren, werden die Gebäudehöhen daher pauschalisiert. Eine detaillierte Recherche zum veränderlichen Bebauungsstand in den Jahren 1996 – 2010 kann aufgrund des hohen Aufwandes und der unvollständigen Datenlage nicht durchgeführt werden. Deren Auswirkungen auf die Gesamtunsicherheit des akustischen Rechenmodells so-

wie das Gesamtergebnis der NORAH-Studie wird im Rahmen einer Unsicherheitsbetrachtung (siehe hierzu Teil I, Kapitel 6.4 bzw. vgl. Anhang 5 oder Anhang 6) überprüft.

3.2.2 Vergleichsstandorte Region Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld

Die Erfahrungen bei der Datenaufbereitung im Regierungsbezirk Darmstadt und den vier Landkreisen in RLP haben gezeigt, dass durch Verwendung von Gebäudeumringen bzw. -grundrissen aus den ALKIS/ATKIS Daten der einzelnen Vermessungsämter ein erheblicher Mehraufwand zur Erstellung von digitalen Gebäudemodellen entsteht. Daher werden im Zuge der Datenerhebung zu den Vergleichsflughäfen direkt digitale Gebäudemodelle aus den akustischen Rechenmodellen der Lärmkartierung bzw. Lärmaktionsplanung bezogen.

Köln/Bonn

Für den Vergleichsstandort Köln/Bonn konnten die digitalen Gebäude als Klötzchenmodell flächendeckend für den gesamten Umgriff des Untersuchungsgebietes aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung, 2. Stufe Stand 2013, vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) zur Verfügung gestellt werden (LANUV, E-Mail vom 20.03.2014). Der Stand der Bebauung entspricht dem Jahr 2010.

Berlin/Schönefeld

Im Umgriff des Vergleichsstandortes Berlin/Schönefeld konnten für den Ballungsraum Berlin die digitalen Gebäude aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung, mit Stand 2012, von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) Berlin zur Verfügung gestellt werden (SenStadtUm, mit Schreiben vom 08.05.2014). Für die im Umgriff befindlichen Gebiete in Brandenburg wurden die digitalen Gebäude aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung, mit Stand 2012, vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) (LUGV, E-Mail vom 17.12.2012) zur Verfügung gestellt.

Stuttgart

Für das Stadtgebiet Stuttgart wurde das digitale Gebäudemodell aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung, mit Stand 2013, vom Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart übernommen (LH Stuttgart, E-Mail vom 05.03.2014). Das digitale Gebäudemodell für die Stadt Stuttgart wurde aus der DSK 5 der Stadt Stuttgart, Stand 2012, generiert. Die Gebäudehöhen wurden aus einem Vergleich der mittleren Höhe aller Höhenpunkte des Oberflächenmodells innerhalb der Gebäude mit der mittleren Geländehöhe ermittelt. Die Gebäudeumringe außerhalb des Ballungsraums Stuttgart wurden über OpenStreetMap bezogen (OpenStreetMap-Mitwirkende, 2014). Dort, wie auch an den Vergleichsstandorten, wurden die Gebäudehöhen pauschalisiert, sofern keine Angaben zur Gebäudehöhe vorhanden waren. In Gebieten, in denen keine detaillierten Daten vorlagen, jedoch Pegel für Probanden ausgewiesen werden mussten, wurden für die Probanden Gebäude generiert und die Gebiete anhand Google Earth als Dämpfungsgebiete (5 dB Pegelabfall je 100 m Bebauungstiefe) definiert.

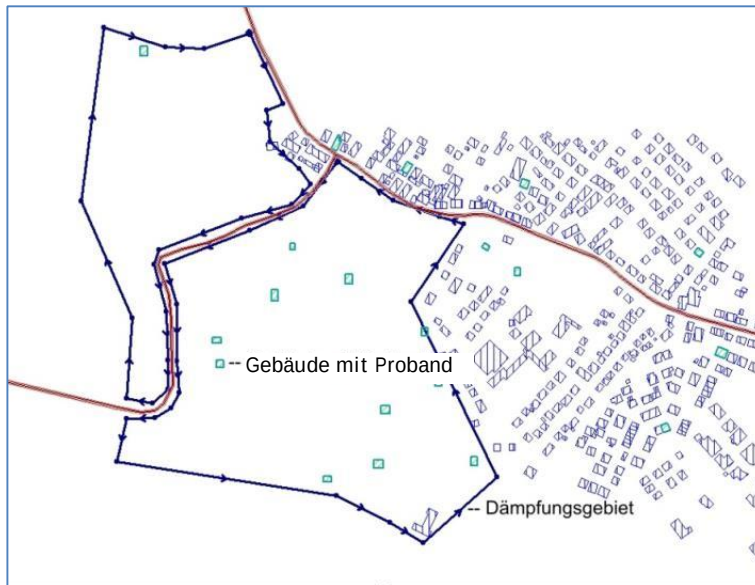


Abbildung 3-7: Behandlung von Gebäuden bei fehlenden Gebäudedaten

3.3 Luftverkehr

3.3.1 Flughafen Frankfurt

Die ursprüngliche Vorgehensweise sah vor, dass alle Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche nach AzB auf Grundlage von Flugroutenbeschreibungen des Datenerfassungssystems erfolgen. Den Berechnungen liegen folgende Ausgangsdaten zugrunde:

1. Datenerfassungssystem (DES) zur Planfeststellungsuntersuchung (PFU) für den Flughafen Frankfurt am Main mit Basis-Streckensystem datiert 03.08.2010. Weiterhin das „rückentwickelte“ Flugstreckensystem 01.01.2011 bis 09.03.2011 und Streckenbelegungsdaten als QSI-Datensatz (DIN 45687, 2006). (Nach Angaben der Betreibergesellschaft des Frankfurter Flughafens (Fraport AG) bestand die „Rückentwicklung“ darin, dass der nördliche Gegenanflug durch entsprechende Verschiebung nach Süden wieder an die Centerbahn angeschlossen wurde, wodurch sich ein Verlauf entsprechend dem Zeitraum bis 09.03.2010 ergab. Um dem sogenannten abhängigen Landebetrieb des Drei-Bahnen-Systems Rechnung zu tragen, wurden alle direkten Zuführungsstrecken von Einflugpunkten, die im Streckensystem der Deutschen Flugsicherung (DFS) vom 03.08.2010 nur entweder die Nordwest- oder die Südbahn anbinden (wegen des im Regelfall unabhängigen Landebetriebs des Vier-Bahnen-Systems), sowohl an die Süd- als auch an die heutige Centerbahn angeschlossen. Außerdem wurden die Südumfliegungstrecken entfernt, die es im Drei-Bahnen-System noch nicht gab. Die im DFS-Streckensystem 03.08.2010 schon an den geplanten künftigen Hubschrauberlandeplatz des Planungsfalls angebundenen Hubschrauberstrecken wurden an den (bis heute) noch aktuellen Hubschrauberlandeplatz beim General Aviation Terminal (GAT) angehängt. (Fraport AG, E-Mail vom 11.02.2013))

2. Streckenbelegungsdaten vom 01.09.2010 bis 31.12.2010 für das Flugstreckensystem 01.01.2011 bis 09.03.2011 als Excel-Tabelle.
3. DES der Rechtsverordnung zur Festsetzung des Lärmschutzbereichs für EDDF mit Basis-Streckensystem datiert vom 15.07.2011. Weiterhin das „rückentwickelte“ Flugstreckensystem ab 10.03.2011 und Streckenbelegungsdaten für die Zeit vom 10.03. – 31.12.2011 als QSI-Datensatz. *(Nach Angaben der Fraport AG beinhaltet dieses DES das ab 10.03.2011 geltende neue Anflugstreckensystem. Als „Rückentwicklung“ zur Abbildung des Zeitraums 10.03.2011 bis 20.10.2011 wurde der nördliche Gegenanflug nicht verschoben, aber statt an die Landebahn Nordwest an die Centerbahn angebunden. Weitere Änderungen erfolgten wie in den Erläuterungen zur „Rückentwicklung“ des DES zur PFU beschrieben. (Fraport AG, E-Mail vom 11.02.2013))*
4. DES zur PFU für EDDF mit „rückentwickeltem“ Flugstreckensystem 01.01.2011 bis 09.03.2011, linear verlängert und Streckenbelegungsdaten für Oktober 2010 als QSI-Datensatz, erhalten von Optimized Traffic Systems Development GmbH (OTSD) (OTSD, E-Mail vom 26.03.2013)
5. DES zur PFU für EDDF mit „rückentwickeltem“ Flugstreckensystem 01.01.2011 bis 09.03.2011, verlängert auf Grundlage von FANOMOS Flugspuren und Streckenbelegungsdaten für den Zeitraum Oktober 2010 als QSI-Datensatz, erhalten von Optimized Traffic Systems Development GmbH OTSD (OTSD, E-Mail vom 26.03.2013)

Der Regelfall eines DES nach Anlage 1 der Ersten Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm der Anleitung zur Datenerfassung für den Flugbetrieb (AzD) ist der Prognosefall, aufgrund dessen ein Lärmschutzbereich zu bestimmen ist (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008). Die für die NORAH-Studie benötigten DESe sollten jedoch den jeweiligen IST-Zustand abbilden. Da die unter den Punkten 1 bis 3 benannten Flugstreckenbeschreibungen des DES gemäß der Ausführungen der AzD zu kurz waren, um im gesamten Untersuchungsgebiet die Belastung durch Luftverkehrsgeräusche einheitlich berechnen zu können, wurde für den Untersuchungsraum Frankfurt am Main auf direkte Radaraufzeichnungen der Deutschen Flugsicherung (DFS) GmbH als Ausgangsdaten zur Beschreibung der Flugbahnen und die Berechnung der Luftverkehrsbelastung zurückgegriffen. Eine detaillierte Beschreibung dieses Sachverhalts sowie der Grundlagenuntersuchung zur Berechnung der Belastung durch Luftverkehrsgeräusche auf Basis von Radaraufzeichnungen von Einzelflügen ist in vorliegendem Band 2, Kapitel 4, enthalten. Zur Nachbildung des Luftverkehrs anhand von Radarbahnen für die Jahre 1997 bis 2010 wurden STANLY-Track Radardaten (Beschreibung siehe Kapitel 4.3) in 80 NM (nautische Meilen) Kantenlänge um den Flughafenbezugspunkt (ARP) von der DFS zur Verfügung gestellt. Für das Jahr 2005 wurden STANLY-Track Radardaten in 100 NM um den ARP von der DFS zur Verfügung gestellt (DFS, E-Mail vom 13.03.2013). Zudem wurden von der DFS Radardaten des Flight Track and Monitoring System (FANOMOS) in einem 65 km Radius um den Flughafenbezugspunkt (ARP) übergeben. Die FANOMOS Radardaten decken die Erhebungszeit 01.10.2010 – 30.09.2011 und 01.10.2011 – 30.09.2012 (DFS, E-Mail vom 13.03.2012), 01.10.2012 – 30.09.2013 (DFS, E-Mail vom 09.10.2013) sowie 01.10.2013 – 31.05.2014 (DFS, E-Mail vom 20.06.2014) ab. Die erhaltenen STANLY-Track Radardaten werden in Flugbewegungsdatenbanken zur weiteren

Verarbeitung importiert und vorausgewertet. Die Auswertung der Flugbewegungen über alle AzB-Klassen ist in nachfolgender Tabelle 3-1 dargestellt. Die darin aufgeführten Mängel beziehen sich auf fehlende Flugplanangaben in den Originaldaten. Dies sind beispielsweise fehlende Angaben zu den Start- bzw. Landebahnen sowie zu den Flugzeugtypen. Fehlen diese Angaben, so kann keine Zuordnung der Flugbewegung zu Start- oder Landebahn oder zu einer Luftfahrzeugklasse und somit zur Emission gemäß AzB erfolgen. Der Anteil dieser Flugbewegungen befindet sich in der Kategorie „Flüge nicht verwendbar“ in Prozent. Die Kategorie „Flüge verwendbar mit Mängeln“ enthält den Anteil an Flugbewegungen, deren Flugplaninformation teils lückenhaft ist oder deren Flugverläufe teilweise fehlerhaft sind. Der Informationsgehalt dieser Flugbewegungen reicht jedoch aus, um die Emission abzubilden.

Tabelle 3-1: Statistik der STANLY-Track Radarbahnen der Kalenderjahre 1997 – 2010 über alle AzB-Klassen

Erhebungszeit	Radarbahnen gesamt	Radarbahnen verwendbar in %	Radarbahnen verwendbar mit Mängeln in %	Radarbahnen nicht ver- wendbar in %	Radarbahnen verwendbar
1997	371.041	91,5	3,9	4,6	353.887
1998	379.941	90,4	4,6	5,0	360.666
1999	417.270	87,0	4,7	8,3	382.861
2000	415.056	88,4	8,5	3,1	402.460
2001	400.837	85,4	10,6	4,0	384.746
2002	399.407	86,4	11,9	1,7	392.256
2003	402.077	86,3	12,5	1,2	397.402
2004	418.990	87,2	12,0	0,8	415.802
2005	488.867	98,3	1,2	0,5	486.173
2006	486.358	99,3	0,4	0,3	484.897
2007	490.122	99,5	0,3	0,2	489.073
2008	483.816	99,4	0,3	0,3	482.552
2009	461.760	99,6	0,2	0,2	460.909
2010	462.088	97,7	0,4	1,9	453.396

Eine Statistik der FANOMOS Radardaten nach dem Import der Originaldaten ist in nachfolgender Tabelle 3-2 dargestellt. Die Statistik zur Auswertung der importierten Originaldaten erfüllt die gleiche Funktion, wie die zur Auswertung der STANLY-Track Radardaten.

Tabelle 3-2: Statistik der FANOMOS Radarbahnen der Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.05.2014 über alle AzB-Klassen

Erhebungszeit	Radarbahnen gesamt	Radarbahnen verwendbar in %	Radarbahnen verwendbar mit Mängeln in %	Radarbahnen nicht verwendbar in %	Radarbahnen verwendbar
01.10.2010 – 31.12.2010	115.034	99,2	0,0	0,8	114.100
01.01.2011 – 30.06.2011	238.127	99,2	0,0	0,8	236.149
01.07.2011 – 30.09.2011	126.912	99,3	0,0	0,7	126.078
01.10.2011 – 31.12.2011	120.978	99,0	0,0	1,0	119.802
01.01.2012 – 31.10.2012	409.088	98,8	0,0	1,2	404.054
01.10.2012 – 31.12.2012	115.312	99,7	0,0	0,3	115.005
01.01.2013 – 30.09.2013	355.967	99,7	0,0	0,3	355.025
01.10.2013 – 31.12.2013	115.172	99,2	0,0	0,8	114.303
01.01.2014 – 31.05.2014	186.840	91,3	0,0	8,7	170.521

Es zeigt sich, dass die Ausfallrate bei den STANLY-Track und FANOMOS Radaraufzeichnungen bis zu 9 % betragen kann. Eine Korrektur dieser Daten erfolgt nicht; die Auswirkungen der Ausfallrate werden bei der Ermittlung der Berechnungsunsicherheit diskutiert. Die STANLY-Track Daten wurden in einem rechteckigen Ausschnitt über das Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt, während bei den FANOMOS-Daten ein kreisförmiger Ausschnitt gewählt wurde. Die Überstandslänge über den Untersuchungsbereich ist jedoch im Referenzjahr mit mindestens 10 km so groß, dass es im Untersuchungsbereich zu keinen systematischen Unterschieden kommt. Alle seit dem Jahr 2009 durchgeführten Berechnungen zu Luftverkehrsgeräuschen zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen an Flughäfen haben ergeben, dass Bodenschall durch Rollverkehr und den Betrieb der Luftfahrzeuge mit der sog. Auxiliary Power Unit (APU, Hilfsgasturbine) an den Parkpositionen nur einen geringfügigen und nur im Nahbereich um den Flughafen vorhandenen Einfluss auf die Größe der Geräuschbelastung hat. Deshalb wurde vom Auftraggeber vorgegeben, wegen der relativ großen Entfernung der Probandenadressen vom Flughafen die Geräuschquellen am Boden nicht zu berücksichtigen. Nachfolgende Tabelle enthält beispielhaft die Aufteilung der Flugbewegungen auf die Luftfahrzeugklassen für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010 aus Studienmodul 1. Die Aufteilungen der Flugbewegungen auf die Luftfahrzeugklassen für die Erhebungszeit 2005 sind in Anhang 3 dargestellt.

Tabelle 3-3: Aufteilung der Flugbewegungen auf die Luftfahrzeuggruppen (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk) für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010

Luftfahrzeuggruppen	Flugbewegungen
unbekannt	13
H 1.1	2
H 1.2	1
P 1.3	4
P 1.4	249
P 2.1	3.519
P 2.2	2
P-MIL 2	16
S 1.0	2
S 4	2
S 5.1	10.875
S 5.2	71.141
S 5.3	462
S 6.1	12.921
S 6.2	2.116
S 6.3	5.627
S 7	7.757
S 8	325
Summe	115.034

Für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010 sind außerdem in nachfolgender Tabelle beispielhaft die am Flughafen Frankfurt am Main operierenden Luftfahrzeugklassen gemäß AzB und deren zugewiesene Flugzeugtypen dargestellt. Die, im Rahmen der NORAH-Studie durchgeführte, generelle Zuweisung der Flugzeugtypen zu Luftfahrzeugklassen gemäß AzB ist im Anhang 2 dargestellt.

Tabelle 3-4: Am Flughafen Frankfurt am Main operierende Luftfahrzeuggruppen (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk) und zugewiesene Flugzeugtypen beispielhaft für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010

Luftfahrzeuggruppe	Flugzeugtyp
H 1.1	B430
H 1.2	EC55
P 1.3	DA42, PA46
P 1.4	BE99, C425, P180, PA31, BE20, PAY1, C340, PC12, PAY3, P46T, BE30, PAY4, BE9L, C208, C421
P 2.1	SH36, AT72, D328, DH8D, B350, SB20, DH8C, AT45, SF34, B190, DH8A, F50, AT43, SW4
P 2.2	AN26
P-MIL 2	C130
S 1.0	FA10
S 4	B703
S 5.1	CRJ7, CRJ1, E170, RJ85, CRJ2, LJ35, RJ1H, CRJ9, LJ55, C56X, H25B, LJ60, F70, F100, E135, F900, FA7X, C525, C25B, C25A, GL5T, F2TH, CL60, GALX, B462, C750, LJ31, C550, B463, E145, GLF4, LJ45, LJ40, GLF5, CL30, GLEX, J328, C680, FA50, PRM1, RJ70, C650, C560, C510, BE40, HA4T, H25C, C551, G150, EA50, C501
S 5.2	B738, A321, A319, B737, A320, B733, E190, B735, A318, B734, B736, B752, B739, ZZZZ, MD90
S 5.3	MD82, MD87, MD83, YK42
S 6.1	B753, B772, A30B, A333, B77L, A332, B77W, B763, B764, A306, B762, B773, A310
S 6.2	MD11, C17
S 6.3	A343, A346, A345, A342
S 7	B744, B743, B742, B74S
S 8	A388

Außerdem wurden zur Durchführung einer Grundlagenuntersuchung zu den Methoden der Berechnungen von Luftverkehrsgeräuschen die Koordinaten und die Höhen über Normal Null (NN) der Standorte sowie die Messergebnisse für Oktober 2010 der stationären Fluglärmmessstellen von Fraport Noise Monitoring(FRA.NoM) von der Fraport AG zur Verfügung gestellt (Fraport AG, E-Mails vom 18., 19. und 20.02.2013).

3.3.2 Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld

An den Vergleichsstandorten können die Berechnungen auf Grundlage von DES durchgeführt werden, da diese den Umgriff der ausgewählten Wohnorte der Probanden hinreichend genau abdecken. Entsprechend der Aufgabenstellung erfolgen die Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche auf der Grundlage der Flugbetriebsangaben der jeweiligen Betreibergesellschaft des Vergleichsflughafens.

Köln/Bonn

Für den Vergleichsstandort Köln/Bonn wurden die Flugbetriebsangaben von der Flughafen Köln/Bonn GmbH für die Erhebungszeit 01.10.2012 – 30.09.2013 zur Verfügung gestellt. Das DES mit den aktuellen Flugverfahren zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches wurde von der AVIA Consult GmbH, mit Stand 2010 (s. Anhang 18), erstellt. Nachfolgende Tabelle enthält die verwendeten Flugbewegungszahlen in den Luftfahrzeugklassen (AVIA Consult GmbH, 2014).

Tabelle 3-5: Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.10.2012 – 30.09.2013 am Flughafen Köln/Bonn (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014), (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk)

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.0	6
H 1.1	3.166
H 1.2	2.007
H 2.1	46
H 2.2	19
P 1.0	2
P 1.1	4
P 1.3	1.542
P 1.4	1.463
P 2.1	10.573
P 2.2	37
P MIL-2	896
S 1.1	2
S 3.1	2
S 3.2	257
S 5.1	9.953
S 5.2	75.849
S 5.3	45
S 6.1	15.348
S 6.2	3.067
S 6.3	181
S 7	1.291
S 8	4
S-MIL 1	12
S-MIL 2	2
S-MIL 3	26
S-MIL 4	6
S-MIL 6	43
Summe	125.849

Für die Erhebungszeit Oktober 2012 bis September 2013 wurden 125.849 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben. Davon waren 1.543 Flugbewegungen von Flugzeugen mit einer maximum take off mass (MTOM) unter 2.000 kg und Flugbewegungen von 5.244 Hubschraubern (60,3 % H 1.1 und 38,3 % H 1.2) enthalten, die in Abstimmung mit den beteiligten Studienmodulen im Weiteren nicht mehr berücksichtigt wurden. Von den verbleibenden 119.062 Flugbewegungen fehlen bei 20.723 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 20.723 Flugbewegungen werden auf der Grundlage von in den Datensätzen enthaltenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 17.487 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort oder von einem Abflugort zugeordnet. 3.252 Flugbewegungen können wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für die Erhebungszeit von den verbliebenen 119.062 Flugbewegungen, insgesamt 115.810 Flugbewegungen (97,3 %) in den Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche verwendet werden (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014). Zur Aufteilung der Flugbewegungen auf die jeweiligen Teilzeiten siehe Kapitel 7.2.1.

Berlin/Schönefeld

Die Flugbetriebsangaben des Flughafens Berlin/Schönefeld wurden für die Erhebungszeit 01.05.2011 – 30.04.2012 von der Flughafen Berlin/Schönefeld GmbH zur Verfügung gestellt. Das DES mit den aktuellen Flugverfahren zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches wurde von der AVIA Consult GmbH, mit Stand 2012, erstellt (vgl. Anhang 18). Nachfolgende Tabelle enthält die verwendeten Flugbewegungszahlen mit Luftfahrzeugklassen (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014).

Tabelle 3-6: Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.05.2011 – 30.04.2012 am Flughafen Berlin/Schönefeld (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014) , (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk)

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.1	747
H 1.2	28
H 2.1	6
H 2.2	4
P 1.0	24
P 1.1	4
P 1.3	2.063
P 1.4	1.357
P 2.1	1.974
P 2.2	104
P MIL-2	2
S 1.0	5
S 3.2	8
S 5.1	9.411
S 5.2	57.090
S 5.3	148
S 6.1	49
S 6.3	6
S 7	14
Summe	73.044

Für die Erhebungszeit Mai 2011 bis April 2012 wurden 73.044 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben. Davon waren 2.091 Flugbewegungen von Luftfahrzeugen mit einer MTOM unter 2.000 kg und Flugbewegungen von 785 Hubschraubern (95,2 % H 1.1, 3,6 % H 1.2, 0,7 % H 2.1 und 0,5 % H 2.2) enthalten, die in Abstimmung mit den beteiligten Studienmodulen im Weiteren nicht mehr berücksichtigt werden. Von den verbleibenden 70.168 Flugbewegungen fehlen bei 6.907 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 6.907 Flugbewegungen können auf der Grundlage von in den anderen Datensätzen enthaltenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 6.112 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort von einem Abflugort zugeordnet. 795 Flugbewegungen konnten wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für die Erhebungszeit, von den 70.168 Flugbewegungen, insgesamt 69.373 Flugbewegungen (98,9 %) in den Berechnungen zu Luftverkehrsgeräuschen verwendet werden (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014). Zur Aufteilung der Flugbewegungen auf die jeweiligen Teilzeiten siehe Kapitel 7.2.1.

Stuttgart

Das DES mit den aktuellen Flugverfahren zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches am Flughafen Stuttgart wurde von der OTSD GmbH, mit Stand 2010, zur Verfügung gestellt. Die Flugbetriebsangaben des Flughafens Stuttgart wurden für die Erhebungszeit 01.10.2012 - 30.09.2013 von der Flughafen Stuttgart GmbH zur Verfügung gestellt (vgl. Anhang 18). Nachfolgende Tabelle enthält die verwendeten Flugbewegungszahlen (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014).

Tabelle 3-7: Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.10.2012 – 30.09.2013 am Flughafen Stuttgart (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014) , (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk)

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.1	118
H 1.2	3.675
H 2.1	40
H 2.2	356
P 1.3	34
P 1.4	3.325
P 2.1	14.135
P 2.2	58
P MIL-2	670
S 1.1	30
S 3.1	8
S 3.2	2
S 5.1	19.645
S 5.2	71.786
S 5.3	252
S 6.1	1.807
S 6.2	90
S 6.3	30
S 7	22
S-MIL 1	28
S-MIL 2	4
Summe	116.115

Für die Erhebungszeit Oktober 2012 bis September 2013 wurden 116.115 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben. Davon waren 34 Flugbewegungen von Luftfahrzeugen mit einer MTOM unter 2.000 kg und Flugbewegungen von 4.189 Hubschraubern (87,7 % H 1.2, 8,5 % H 2.2, 2,8 % H 1.1 und 1,0 % H 2.1) enthalten, die entsprechend der Aufgabenstellung im Weiteren nicht mehr berücksichtigt werden. Von den verbleibenden 111.982 Flugbewegungen fehlen bei 5.813 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 5.813 Flugbewegungen können auf der Grundlage von in den anderen Datensätzen enthal-

tenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 5.516 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort oder einem Abflugort zugeordnet werden. 297 Flugbewegungen können wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für die Erhebungszeit, von den verbliebenen 111.982 Flugbewegungen, insgesamt 111.595 Flugbewegungen (99,7 %) in den Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche verwendet werden (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014). Zur Aufteilung der Flugbewegungen auf die jeweiligen Teilzeiten siehe Kapitel 7.2.1.

3.4 Straßenverkehr

3.4.1 Frankfurt

Dem Straßenverkehr im Regierungsbezirk Darmstadt wird die Verkehrsdatenbasis der Software für Verkehrsanalysen, Verkehrsprognosen und Geoinformationssystem (GIS) orientierte Datenverwaltung (VISUM) des Jahres 2005 des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen (HLSV) zugrunde gelegt (HLSV, E-Mail vom 09.08.2011). Zur Prüfung des VISUM Modells 2005 auf Vollständigkeit sowie der zeitlichen Veränderung der Verkehrssituation werden die georeferenzierten digitalen Straßennetze und die digitalen Zählstellenpunkte der Straßenverkehrszählung (SVZ) - inklusive Verkehrsmengen - der Jahre 2005 und 2010 von Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement (Hessen Mobil) verwendet (Hessen Mobil, E-Mail vom 25.07.2012). Zusätzlich werden zur Prüfung der historischen Veränderung der Verkehrssituation die Ergebnistabellen der Straßenverkehrszählung für den Regierungsbezirk Darmstadt der Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 verwendet (Hessen Mobil, E-Mail vom 22.06.2012). In den Ausgangsdaten sind die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), Schwerverkehrsanteile (SV-Anteile) p_{Lkw} , Straßentypen sowie die Ergebnisse der Bundesverkehrszählung der Zählabschnitte enthalten. Das VISUM Modell des Jahres 2005 enthält alle signifikanten Hauptstraßen der Ballungsräume Wiesbaden, Frankfurt und Darmstadt. Die SVZ erfasst nur einen Bruchteil der Straßen, die im VISUM Modell 2005 vorhanden waren. Allerdings war es möglich, die Verkehrsdaten des VISUM Modells 2005 mit den Verkehrsdaten der SVZ zu vergleichen und Abweichungen vor allem bei den SV-Anteilen des VISUM Modells 2005 zu korrigieren. Ein Vergleich der in der VBUS angegebenen Faktoren zur Verteilung des DTV und der Schwerverkehrsanteile über die verschiedenen Teilzeiten Tag/Abend/Nacht mit den Ergebnissen der Straßenverkehrszählung für das Jahr 2005 konnte nicht durchgeführt werden, da es sich bei den Zählzeiten um 24 Stunden-Werte handelt. Die Verkehrsmengen und das Straßennetz aus Rheinland-Pfalz entstammen der Straßenverkehrszählung 2005 des Landesbetriebs Mobilität Rheinland-Pfalz (LBM RLP) (LBM RLP, E-Mail vom 20.07.2012). In den Ausgangsdaten sind unter anderem das georeferenzierte Hauptverkehrsstraßennetz, die georeferenzierten Zählstellenpunkte sowie die Ergebnisse der Straßenverkehrszählung für die Verkehrsmengen der drei Zeitbereiche Tag (06:00 - 18:00 Uhr), Abend (18:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) enthalten. Die vom LBM RLP übergebenen Ausgangsdaten enthielten zudem die Ergebnisse der Straßenverkehrszählungen der Jahre 1995, 2000 und 2010 (LBM RLP, E-Mail vom 20.07.2012). Nachfolgende Abbildung stellt das im Regierungsbezirk Darmstadt und in RLP modellierte Straßennetz dar.

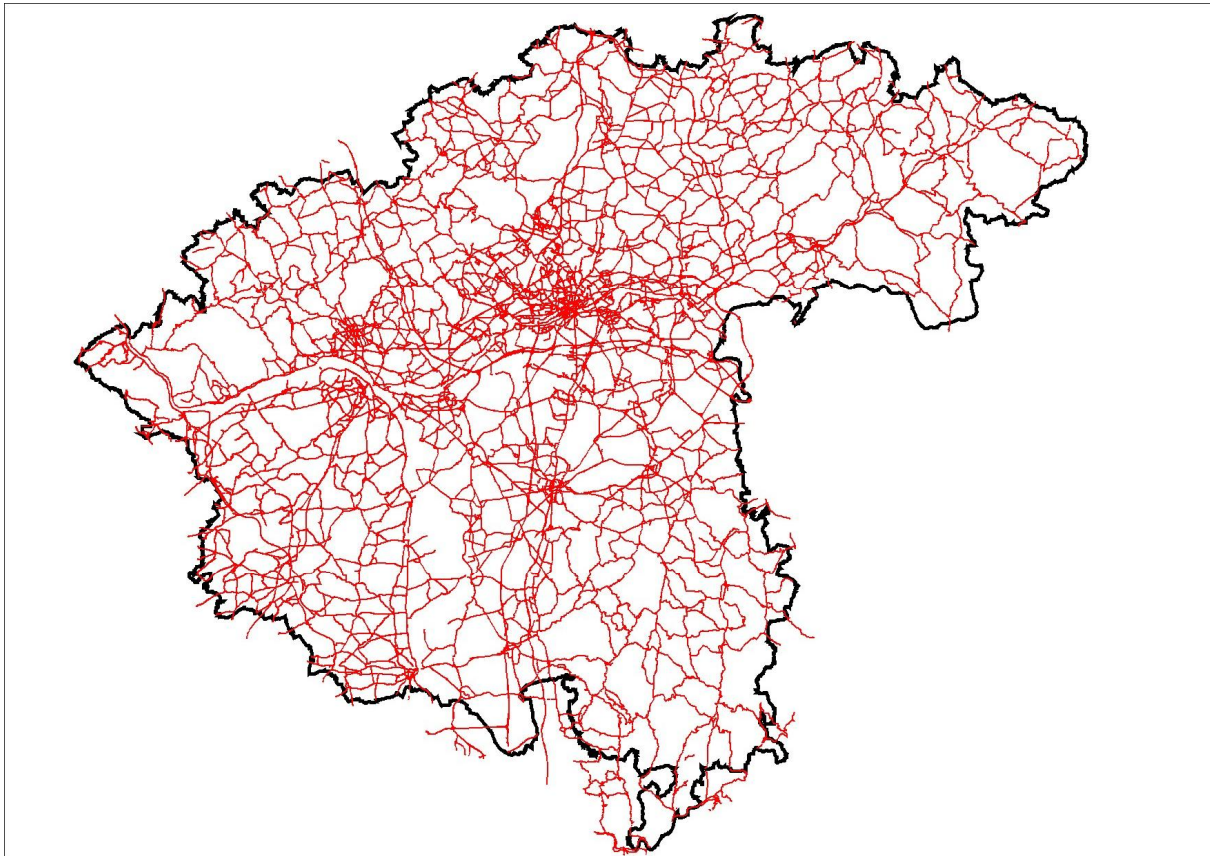


Abbildung 3-8: Im Model abgebildetes Straßennetz

Bei der Modelbildung werden Straßen mit Verkehrsstärken von < 500 Kfz/24 Stunden entfernt, wenn diese Gebäude schneiden oder andere Korrekturmaßnahmen erforderten. Deren Beitrag zur Lärmbelastung ist vernachlässigbar gering. Eine detaillierte Prüfung straßenbaulicher Veränderungen im Bereich des Regierungsbezirks Darmstadt und Rheinhessens zwischen den Jahren 1995 und 2010 (bzw. bis 2014) konnte aufgrund fehlender Daten nicht durchgeführt werden.

Es werden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Verteilung der DTV und der Schwerverkehrsanteile auf die Zeitscheiben Tag, Abend und Nacht erfolgt in Hessen auf Basis der in der VBUS angegebenen Umrechnungsfaktoren in Abhängigkeit von der Straßengattung (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Für die vier Landkreise in RLP wurden die zur Verfügung stehenden Verkehrsmengen gemäß Tag-Abend-Nacht-Verteilung aus den Ergebnissen der Straßenverkehrszählung verwendet.
2. Die Straßengattungen werden für das Land Hessen aus dem VISUM Modell für das Jahr 2005 entnommen (HLSV, E-Mail vom 09.08.2011). Für Rheinland-Pfalz (RLP) sind die Straßengattungen in dem erhaltenen Straßennetz vorhanden und werden daraus übernommen.
3. Die Geschwindigkeiten werden in Hessen den o. a. VISUM-Daten entnommen. Für RLP werden die Geschwindigkeiten anhand der Straßengattung pauschalisiert.

Tabelle 3-8: Exemplarische Modellgeschwindigkeiten in km/h (in Klammern Angaben für Schwerverkehr SV)

Geschwindigkeiten Verkehrsmodell Visum [km/h]	Geschwindigkeiten Akustikmodell [km/h]
30	30
30 - 50	50
50 - 100	100 (SV = 80)
>100	130 (SV = 80)

4. Als Straßenoberfläche wird bei Straßen mit $v = 100/80$ km/h "Asphaltbeton 0/11 ohne Splittung" angesetzt und mit - 2 dB beaufschlagt. Da viele Autobahnen „Gussasphalt, Asphaltbeton, Splitt-Mastix“ entsprechend dem heutigen Einbaustandard aufweisen, werden sie mit 0 dB beaufschlagt. Alle anderen Straßen werden ebenso mit 0 dB beaufschlagt.
5. Steigungen werden aus dem DGM abgeleitet. Zur Vermeidung von Unplausibilitäten (wegen teilweise sehr kurzer Straßenabschnitte in Einmündungsbereichen, die im DGM nicht immer sauber abgebildet werden konnten) wird die Berechnung mit einer Steigungsbegrenzung durchgeführt. Verbliebene Zuschläge für Steigungen > 10 % werden auf 10 % begrenzt.

3.4.2 Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld

Im Zuge der Datenerhebung zu den Vergleichsflughäfen wurden, soweit vorhanden, bereits modellierte Straßen und Verkehrsdaten aus den Lärmkartierungen bzw. Lärmaktionsplanungen der Vergleichsstandorte bezogen.

Köln/Bonn

Für den Vergleichsstandort Köln/Bonn konnte das Straßennetz des Landes NRW flächendeckend für den gesamten Umgriff des Untersuchungsgebietes aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung 2. Stufe, mit Stand 2013, vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) zur Verfügung gestellt werden (LANUV, E-Mail vom 20.03.2014). Das Straßennetz sowie die Verkehrsmengen basieren auf den Ergebnissen der Bundesverkehrszählung mit Stand 2010. In den Ausgangsdaten sind alle Landes- und Bundesstraßen sowie Autobahnen mit einer Verkehrsmenge > 3 Mio. Kfz/Jahr enthalten. Zusätzlich enthält das Straßennetz die Stationierung der Brücken in NRW. Zur Vervollständigung der Ausgangsdaten mit den teilweise fehlenden Straßen innerhalb der Ballungsräume wird die Datenerhebung auf die Ballungsräume Köln, Bonn, Bergisch-Gladbach und Leverkusen ausgeweitet. Das Umwelt- und Verbraucherschutzamt des Ballungsraums Köln stellte als Berechnungsgrundlage das Straßennetz aus dem akustischen Rechenmodell zu Straßenverkehrsgeräuschen zur Verfügung (Stadt-Köln, E-Mail vom 2014). Das Amt für Umwelt, Verbraucherschutz und lokale Agenda des Ballungsraums Bonn stellte das Straßennetz aus dem zur Lärmkartierung verwendeten akustischen Rechenmodell zu Straßenverkehrsgeräuschen zur Verfügung (Amt für Umwelt, Verbraucherschutz und lokale Agenda, E-Mail vom 2014). Die Ausgangsdaten enthalten ferner alle Angaben, die gemäß VBUS zur Berechnung von Straßenverkehrsgeräuschen notwendig sind. Ausgangsdaten in Form von Rechenmodelldaten konnten für die Ballungsräume Leverkusen und Bergisch-Gladbach nicht erhoben werden. Für den Ballungsraum Bergisch-Gladbach konnten, abgesehen von dem Straßennetz, das vom LANUV zur Verfügung gestellt wurde, keine weiteren Ausgangsdaten erhoben werden. Aus diesem Grund werden zur Abschätzung der Verkehrsstärken der fehlenden Straßen in NRW die Verkehrsstärkenkarte des Jahres 2010 sowie die Übersicht des Kartierungsumfangs der 2. Stufe der Lärmkartierung, mit Stand 2011, des Landes NRW verwendet.

Berlin/Schönefeld

Im Umgriff des Vergleichsstandortes Berlin/Schönefeld konnte für den Ballungsraum Berlin das zur Lärmkartierung 2012 verwendete Straßennetz beinhaltend die Verkehrsdaten aus dem akustischen Rechenmodell von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (SenStadtUm) Berlin zur Verfügung gestellt werden (SenStadtUm, E-Mail vom 08.01.2013). Für die im Umgriff befindlichen Gebiete in Brandenburg wurden die zur Lärmkartierung 2012 verwendeten Straßen und Verkehrsdaten aus dem akustischen Rechenmodell vom Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) zur Verfügung gestellt (LUGV, E-Mail vom 17.12.2012). Die Ausgangsdaten enthielten alle Angaben, die gemäß VBUS zur Lärmkartierung von Straßenverkehrsgeräuschen notwendig sind.

Stuttgart

Für den Ballungsraum Stuttgart wurden das Straßennetz und die Verkehrsdaten aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung mit Stand 2013 vom Amt für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart übernommen (LH Stuttgart, E-Mail vom 03.2014). Die Ausgangsdaten enthielten alle Angaben, die gemäß VBUS zur Berechnung von Straßenverkehrsräuschen notwendig sind. Das Straßennetz und die Verkehrsmengen für die Bereiche in Baden-Württemberg außerhalb des Ballungsraums Stuttgart wurden aus dem akustischen Rechenmodell zur Lärmkartierung, mit Stand 2012, vom LUBW zur Verfügung gestellt (LUBW, E-Mail vom 26.03.2014). Zur Überprüfung der Ausgangsdaten auf Vollständigkeit wurde zusätzlich die Verkehrsstärkenkarte der Straßenverkehrszählung (SVZ), mit Stand 2010, verwendet (Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg, 2010). Die Ausgangsdaten enthielten ferner alle Angaben, die gemäß VBUS zur Berechnung von Straßenverkehrsräuschen notwendig sind. Allerdings wurden durch die Verkehrsstärkenkarten zahlreiche innerstädtische Straßenverbindungen nicht erfasst. Deshalb werden zusätzliche Recherchen im Internet vorgenommen und Verkehrsentwicklungspläne ausgewertet oder die entsprechenden Fachabteilungen in den Städten um Unterlagen gebeten (Böblingen-Sindelfingen, Leinfelden-Echterdingen, Nürtingen, Esslingen, Wernau). Die in Kapitel 3.4.1 unter den Punkten 1 bis 5 genannten Annahmen zur Modellbildung werden für die Vergleichsstandorte Köln/Bonn und Stuttgart übernommen, sofern keine genaueren Informationen vorhanden waren.

3.5 Schienenverkehr

3.5.1 Region Flughafen Frankfurt

Zur Beschreibung des Schienenverkehrs wurden die Schienenstrecken den Ergebnisdaten aus der EU-Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (2010) entnommen. Das Streckennetz umfasst alle zur Lärmkartierung verwendeten Schienenstrecken im Regierungsbezirk Darmstadt und enthält die, in nachfolgender Tabelle dargestellten, Attribute:

Tabelle 3-9: Auszug aus Attributdefinition des Schienennetzes aus den Ergebnissen zur Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (2010)

Attribut	Attributwert	Bedeutung
ID		GIS-interner eindeutiger Schlüssel
RAIL_ID		eindeutiger Schlüssel zur Identifizierung des Gleisabschnittes
KLASSE	2	Hauptstrecke
	1	Parallelstrecke
	0	sonstige Strecke
BUEG	0	kein besonders überwachtes Gleis
	<> 0	besonders überwachtes Gleis
NAME		Fahrbahnart in Klartext z. B. Schotterbett - Betonschwelle
RADIUS		Radius in m
BUE	0	kein Bahnübergang
	<> 0	Bahnübergang
BRUECKE	0	keine Brücke
	<> 0	Brücke
TUNNEL	0	kein Tunnel
	<> 0	Tunnel

Die in den Attributlisten des Eisenbahn-Bundesamtes angegebenen Emissionspegel $L_{m,E}$ werden nicht zur Berechnung der Schienenverkehrsgeräusche im Rahmen der NORAH-Studie verwendet. Nur die Lage der Schiene wird aus den Ergebnisdaten der Lärmkartierung des EBA verwendet. Im Rahmen der NORAH-Studie werden die Emissionspegel $L_{m,E}$ aus den im folgenden beschriebenen Zugmengengerüsten gemäß VBUSch für die zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeiten berechnet. Im Rahmen der Datenerhebung zu den Verkehrsmengen für Schienenverkehr im Regierungsbezirk Darmstadt und RLP wurden detaillierte Zugmengengerüste für den Istzustand 2010 beim Bahnumweltzentrum (BUZ) Berlin, Stand 2011, angefragt und übergeben (BUZ, E-Mail vom 22.09.2011). In den Ausgangsdaten sind die Streckennummern, die Anzahl der Zugfahrten tags (06:00 – 22:00 Uhr) und nachts (22:00 – 06:00 Uhr), die Angabe der Zugarten, die Scheibenbremsanteile (SB-Anteil), Höchstgeschwindigkeiten der Züge, Zuglängen, Zuschläge für Zugtypen (D_{Fz}) sowie ein Verzeichnis der örtlich zulässigen Streckengeschwindigkeiten mit georeferenzierten Stützpunktkoordinaten der Geschwindigkeitswechsel sowie Stützpunktkoordinaten für markante Streckenkilometer enthalten. In nachfolgender Tabelle 3-10 ist beispielhaft ein Auszug des erhaltenen Zugmengengerüstes für das Jahr 2010 der Strecke 3610 „Frankfurt (Main) Hbf (tief) – Eschhofen, W 612“ von Streckenkilometer 4,455 bis Streckenkilometer 9,260 dargestellt.

Tabelle 3-10: Zugmengengerüst der Strecke 3610 „Frankfurt (Main) Hbf (tief) – Eschhofen, W 612“ von Streckenkilometer 4,455 bis Streckenkilometer 9,260

Zugart	Anzahl Tag (06:00 – 22:00) Uhr	Anzahl Nacht (22:00 – 06:00) Uhr	SB -Anteil %	V - max (km/h)	Länge (m)	DFz
GZ-E	1	0	0	90	200	0
GZ-E	0	1	0	90	400	0
GZ-V	1	0	0	90	350	0
DR-G	0	2	0	100	300	0
DR-G	0	1	0	100	650	0
GZ-E	1	0	0	100	650	0
RB-E	1	0	60	120	150	0
RB-E	1	0	60	120	160	0
RB-E	2	1	60	120	260	0
RB-E	1	0	60	120	360	0
RE-E	2	0	85	120	170	0
S	89	19	100	120	140	-2
S	104	21	100	140	140	-2
S	5	0	100	140	210	-2
IC-E	1	0	100	200	240	0
ICE	2	0	100	200	140	-3
ICE	1	0	100	200	190	-3
ICE	0	1	100	230	190	-3
ICE	35	35	100	300	400	-3
Summe der Züge	247	81				

Zur Abbildung der historischen Veränderung des Schienenverkehrs in Rheinhessen wurden beim BUZ die Zugmengengerüste der Hauptverkehrsstrecken für die Jahre 2002 und 2007 zur Verfügung gestellt (BUZ, E-Mail vom 06.08.2012). Die Ausgangsdaten enthalten die gleichen Angaben wie die Zugmengengerüste des Jahres 2010. Außerdem enthalten die einzelnen Streckenabschnitte aus den Verkehrsmengen, zur leichteren Identifikation der zugehörigen Streckenabschnitte im Model, georeferenzierte Stützpunktkoordinaten für markante Streckenkilometer. Anhand dieser Stützpunktkoordinaten können fehlende Schienenwege im Streckennetzmodell des EBA identifiziert und entweder manuell nachmodelliert oder aus dem ATKIS im Regierungsbezirk Darmstadt oder dem ALKIS in RLP übernommen werden. In RLP mussten nahezu alle Schienenstrecken aus den ALKIS-Daten bzw. den Verkehrsmengendaten des Jahres 2010 des BUZ übernommen und nachmodelliert werden. Damit enthält das akustische Rechenmodell alle Schienenstrecken des DB-Netzes. Nachfolgende Abbildung stellt das im Regierungsbezirk Darmstadt und in RLP modellierte Schienennetz dar.

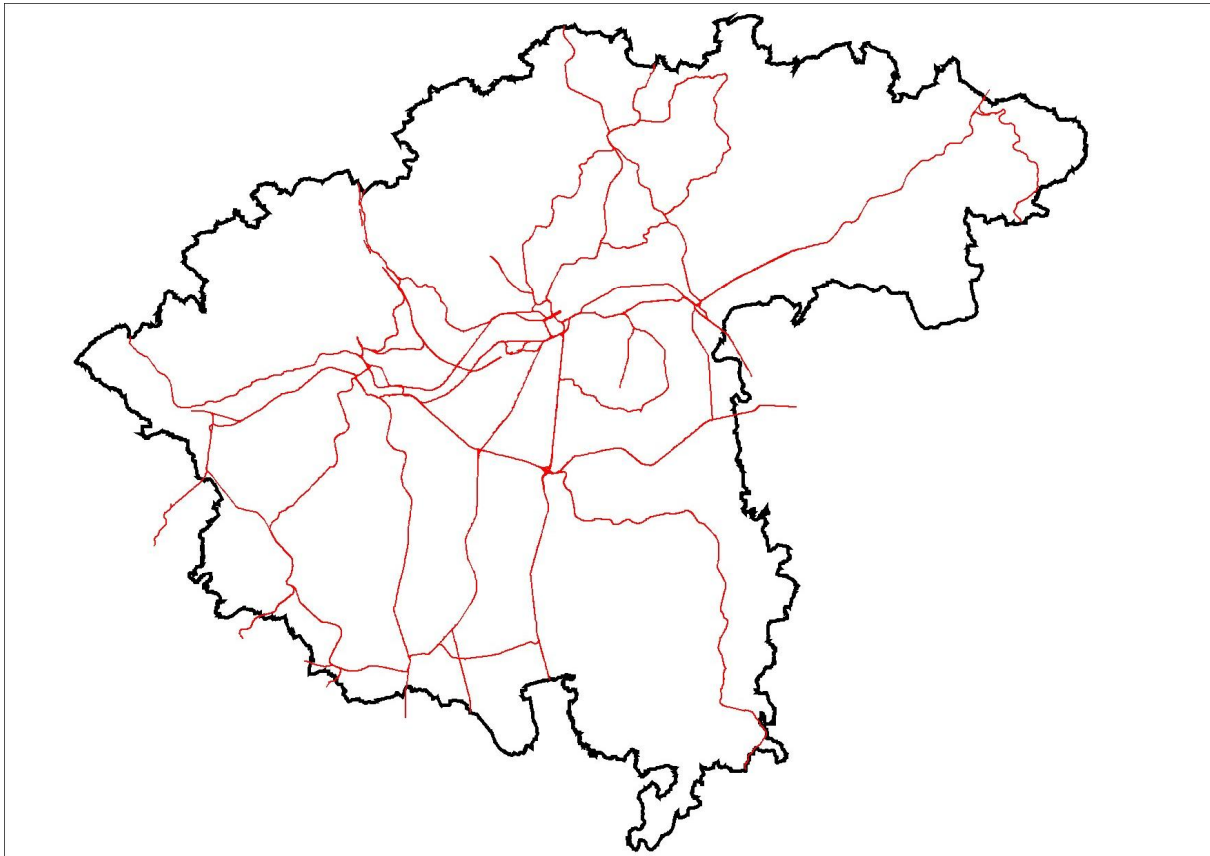


Abbildung 3-9: Im Model abgebildetes Schienennetz

Die Auswirkungen auf die Gesamtunsicherheit des akustischen Rechenmodells zu Schienenverkehr werden näher in Anhang 6 untersucht. Zur Erstellung des akustischen Rechenmodells für den Schienenverkehr werden folgende Annahmen getroffen:

1. Zuschläge für Kurvenradien werden nicht vergeben.
2. Der Gleisoberbau wird mit einem Zuschlag entsprechend Schotterbett mit Beton-schwellen von + 2 dB angenommen.
3. Bahnübergänge bleiben aufgrund des geringen Einwirkungsbereichs unberücksichtigt.
4. Für Brücken wird ein Zuschlag von + 5 dB angesetzt.
5. Straßenbahnen werden nicht berücksichtigt, da diese für die vorliegende Aufgabenstellung als nicht relevant eingestuft werden.

3.5.2 Vergleichsstandorte Flughafen Köln/Bonn, Stuttgart, Berlin/Schönefeld

Aus den Erfahrungen bei der Datenaufbereitung zur Nachbildung des Schienenverkehrs im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen wurden die Streckennetzdaten für die Vergleichsstandorte Köln/Bonn, Berlin/Schönefeld und Stuttgart beim Geodatenmanagement der DB Netz AG angefragt und übergeben (DB Netz AG, E-Mail vom 04.06.2014). Die Ausgangsdaten enthalten georeferenzierte Stützpunktkoordinaten der Streckenverläufe innerhalb der benötigten Umgriffe. Die Ausgangsdaten zu den Streckennetzen enthalten folgende in Tabelle 3-11 dargestellten Angaben:

Tabelle 3-11: Auszug aus den Angaben der georeferenzierten Stützpunkte zur Nachbildung der Streckennetze an den Vergleichsstandorten des Geodatenmanagement der DB Netz AG (DB Netz AG, E-Mail vom 04.06.2014)

Attribut	Bedeutung
ID	laufende Identifikationsnummer des Gleispunktes
KILOMETER_db	Kilometer in Datenbankschreibweise
KM	Kilometerwert
METER	Hektometer und Meter der Kilometrierung
RECHTSWERT	x-Koordinate in System DB_REF
HOCHWERT	y-Koordinate in System DB_REF
HOEHE	Höhe des Gleispunktes über NN in m
STRECKE	Streckennummer
RICHTUNG	Hilfsangabe zum Streckenverlauf; 1 = rechtes Gleis, 2 = linkes Gleis

Im Rahmen der Datenerhebung zu den Verkehrsmengen für Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten wurden detaillierte Zugmengengerüste für die Ist-Zustände 2012 beim Bahnumweltzentrum (BUZ) Berlin, Stand 2014, angefragt und übergeben (BUZ, E-Mail vom 07.05.2014). In den Ausgangsdaten sind die Streckennummern, Kilometer- bzw. Meterangaben (von / bis), die Anzahl der Zugfahrten „tags“ (06:00 – 22:00 Uhr) und „nachts“ (22:00 – 06:00 Uhr), Zugarten, Scheibenbremsanteil (SB-Anteil), Höchstgeschwindigkeiten der Züge, Zuglängen sowie Zuschläge für Zugarten (D_{Fz}) enthalten. Verzeichnisse mit Streckenhöchstgeschwindigkeiten konnte nur in Form von Jahresplänen zur Verfügung gestellt werden (BUZ, 2014). Die übergebenen Jahrespläne spiegeln für Köln und Stuttgart das Jahr 2013 wider. Für den Vergleichsstandort Berlin/Schönefeld wurde der Jahresplan des Jahres 2012 übergeben. Anders als bei den Datenlieferungen für den Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen konnten für die Streckenkilometer und die Stützpunkte der Geschwindigkeitswechsel keine georeferenzierten Koordinaten übergeben werden. Es ist daher notwendig, die Verkehrsmengen anhand der Streckennummer und der Kilometerstände manuell mit den dazugehörigen Streckenabschnitten zu verknüpfen. Die Emissionspegel $L_{m,E}$ werden anhand der Zugmengengerüste gemäß VBUSch für die zulässigen Streckenhöchstgeschwindigkeiten berechnet.

4 Vergleich Radarbahnen und DES Berechnung zu Messwerten

4.1 Ausgangssituation

Zu Beginn des Projektes wird festgestellt, dass die Abflugstrecken in den vorhandenen DES zur Beschreibung des Flugverkehrs am EDDF nicht ausreichend dargestellt sind, um die Berechnung der Belastung durch Luftverkehrsgeräusche in den einzelnen Studienmodulen durchführen zu können, da sich die Untersuchungsgebiete, für die die Berechnungen durchzuführen sind, weit über die üblicherweise zu berechnenden Belastungskonturen hinaus erstrecken. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 4-1 anhand des von der Fraport im März 2011 übergebenen Flugstreckensystems zur PFU 01.01. – 09.03.2011 dargestellt. Nach AzD ist sicherzustellen, dass die Flugstrecken mindestens 5 km über die äußerste zu berechnende Isolinie hinaus beschrieben werden (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008). Ist dies nicht gegeben, so kann der Mittelungspegel eine Abweichung von bis zu 3 dB aufweisen. Wie zu erkennen ist, trifft dies auf die Abflugstrecken in den braun markierten Bereichen zu. Hier enden die Flugroutenbeschreibungen direkt in Bereichen, in denen Berechnungen für Panelteilnehmer durchzuführen sind. Der Umgriff der Berechnungen in Studienmodul 2 umfasst das Gebiet des Regierungsbezirkes Darmstadt und geht über diesen Bereich noch weit hinaus.

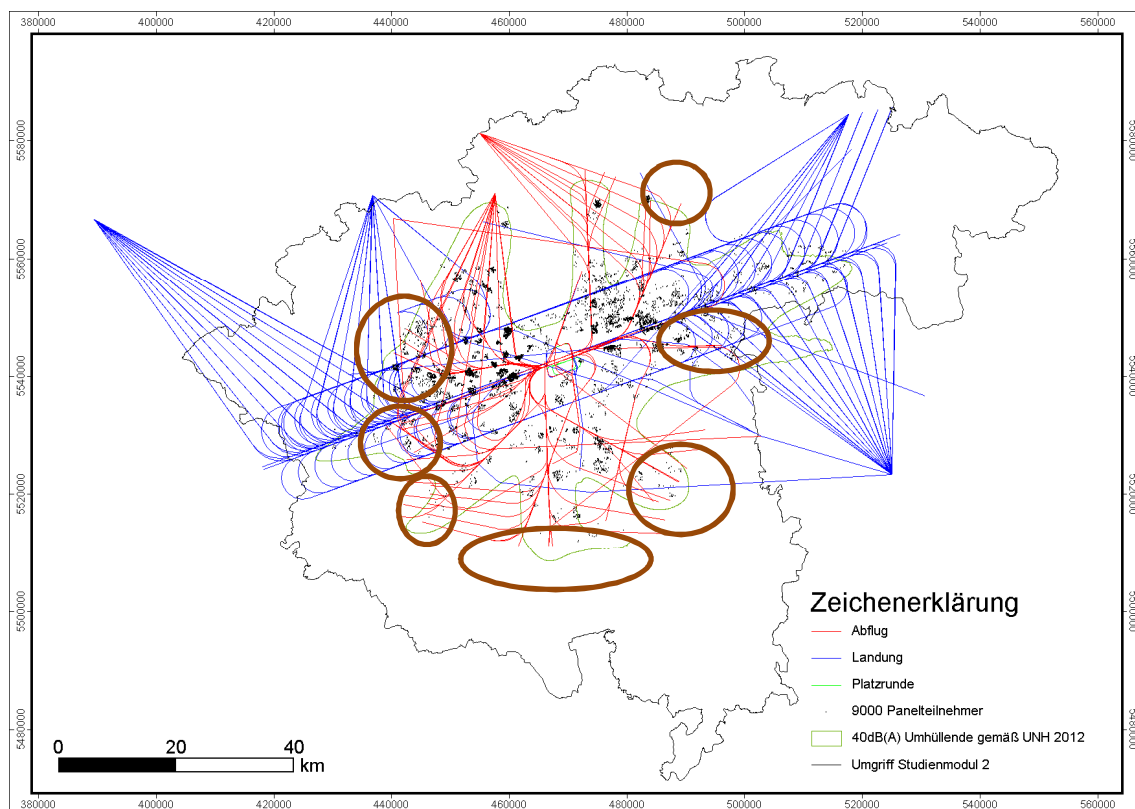


Abbildung 4-1: (3-Bahnen-) Flugstreckensystem 01.01. – 09.03.2011 mit den rd. 9.000 Panelteilnehmern aus Studienmodul 1 (braun eingekreist die zu kurzen Abflugstrecken)

Wie Abbildung 4-2 zeigt, sind auch im zurückentwickelten Flugstreckensystem ab 10.03.2011 Abflugstrecken für Studienmodul 1 zu kurz beschrieben. Die betroffenen Flugstrecken sind mit braunen Umkreisungen gekennzeichnet.

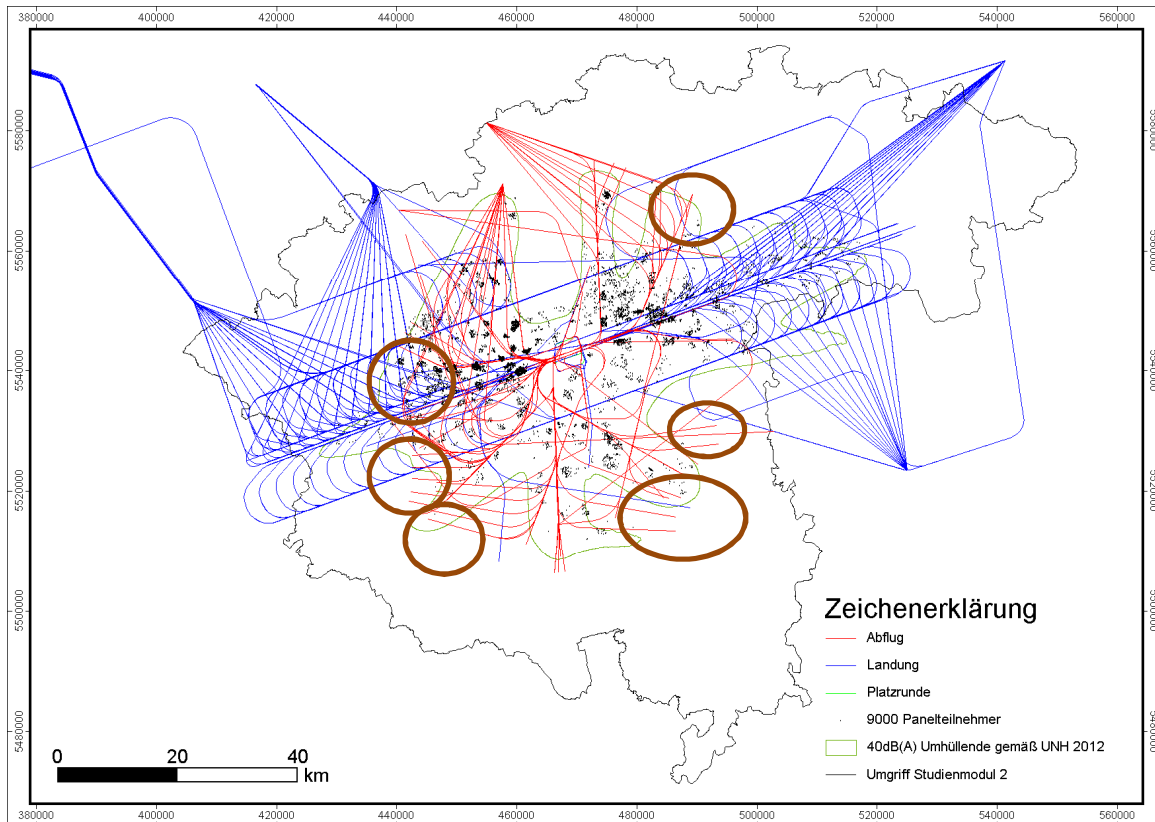


Abbildung 4-2: (4-Bahnen-) Flugstreckensystem ab 10.03.2011 mit rd. 9.000 Panelteilnehmern aus Studienmodul 1 (braun eingekreist die zu kurzen Abflugstrecken)

Für die dargestellten Bereiche sind daher bei Pegelberechnungen auf der Grundlage von DESe Schallpegel mit einer Unterschätzung des tatsächlichen Wertes von bis zu 3 dB zu erwarten. Im Untersuchungsgebiet für die Sekundärdatenanalyse des Studienmoduls 2 sind zudem Bereiche noch weiter außerhalb des beschriebenen Streckensystems enthalten, für die ggf. noch größere Abweichungen resultieren. Um diese Abweichungen zu vermeiden, müssen die vorhandenen Flugstreckensysteme ausreichend verlängert werden. Hierzu soll alternativ überprüft werden, ob eine Verlängerung der Flugrouten auf der Grundlage der vorhandenen DESe erfolgen soll oder ob eine Berechnung der Luftverkehrsgeräusche ohne DES direkt auf der Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen durchgeführt werden kann. Grundlage für die Flugbahnbeschreibungen der DESe sind u. a. Radarbahnaufzeichnungen und Angaben aus dem Luftfahrthandbuch Deutschland. Diese Radarspuraufzeichnungen sind flächendeckend bei der DFS vorhanden und können daher für den erforderlichen räumlichen Umgriff für alle Studienmodule zur Verfügung gestellt werden. Der Untersuchungsplan für das Studienmodul 2 sieht zudem vor, dass für die Probanden der Fall-Kontrollstudie und Sekundärdatenanalyse auch Abschätzungen über die Veränderung in der Lärmbelastung in den Jahren 1996 bis 2010 („historische“ Daten) zur Verfügung gestellt werden. Für diese Jahre sind Aufzeichnungen der Radarbahnen nur als STANLY-Tracks vor-

handen; DESe liegen nicht vor und müssen erst aus den Radarbahnen erzeugt werden. Standardisierte Verfahren zu Berechnungen der Fluglärmbelastung unter direkter Verwendung von Einzelflügen aus Radardaten liegen derzeit in Deutschland nicht vor; daher ist es notwendig, in einer Grundlagenuntersuchung zu prüfen, welche Abweichungen bei der Berechnung der Luftverkehrsgeräusche basierend auf der direkten Verwendung von Radaraufzeichnungen im Vergleich zur Berechnung mittels DES entstehen können und wie vergleichbar die Ergebnisse zu jenen anderer Studien auf Grundlage von DES-basierten Berechnungen sind.

4.2 Konzept zur Ermittlung der Berechnungsgrundlagen für Luftverkehrsgeräusche

Die Grundlagenuntersuchung wird exemplarisch für den Monat Oktober 2010 durchgeführt. Für diesen Monat liegen sowohl Radarbahnen des Formats STANLY-Track als auch die detaillierteren FANOMOS-Tracks vor. Zum Unterschied STANLY- vs. FANOMOS-Tracks siehe Kapitel 4.3. Zudem liegt die Betriebsrichtungsverteilung des Oktober 2010 auch im Bereich des langjährigen Durchschnitts mit überwiegend Westbetrieb:

Betriebsrichtungsverteilung für Okt 2010

Betriebsrichtung	Tageszeit	Stunden	Prozent
25	Tag	308.6	62.2 %
25	Nacht	149.3	60.2 %
07	Tag	187.4	37.8 %
07	Nacht	98.7	39.8 %

Abbildung 4-3: Betriebsrichtungsverteilung für Oktober 2010 aus <http://apps.fraport.de/laerschutz/public?area=messung&date=1.10.2010&date2=1.04.2010> (Betriebsrichtung 25: Abflug nach Westen, Betriebsrichtung 07: Abflug nach Osten)

Das Untersuchungskonzept sieht folgende beiden Bearbeitungsstufen vor (vgl. Abbildung 4-4):

Phase 1: Berechnung der Schallimmissionen auf der Grundlage der direkten Verwendung von Radarbahnen und Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messergebnissen an den Messpunkten des Fluglärmüberwachungssystems

Phase 2: Berechnung der Schallimmissionen auf der Grundlage von DES-Daten und Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Ergebnissen aus Phase 1

Die Berechnung der Schallimmissionen wird mit der Software SoundPLAN Version 7.3 (Braunstein & Berndt GmbH) durchgeführt.

Die Grundlagenermittlung wird in die beiden Phasen, wie in Abbildung 4-4 dargestellt, unterteilt.

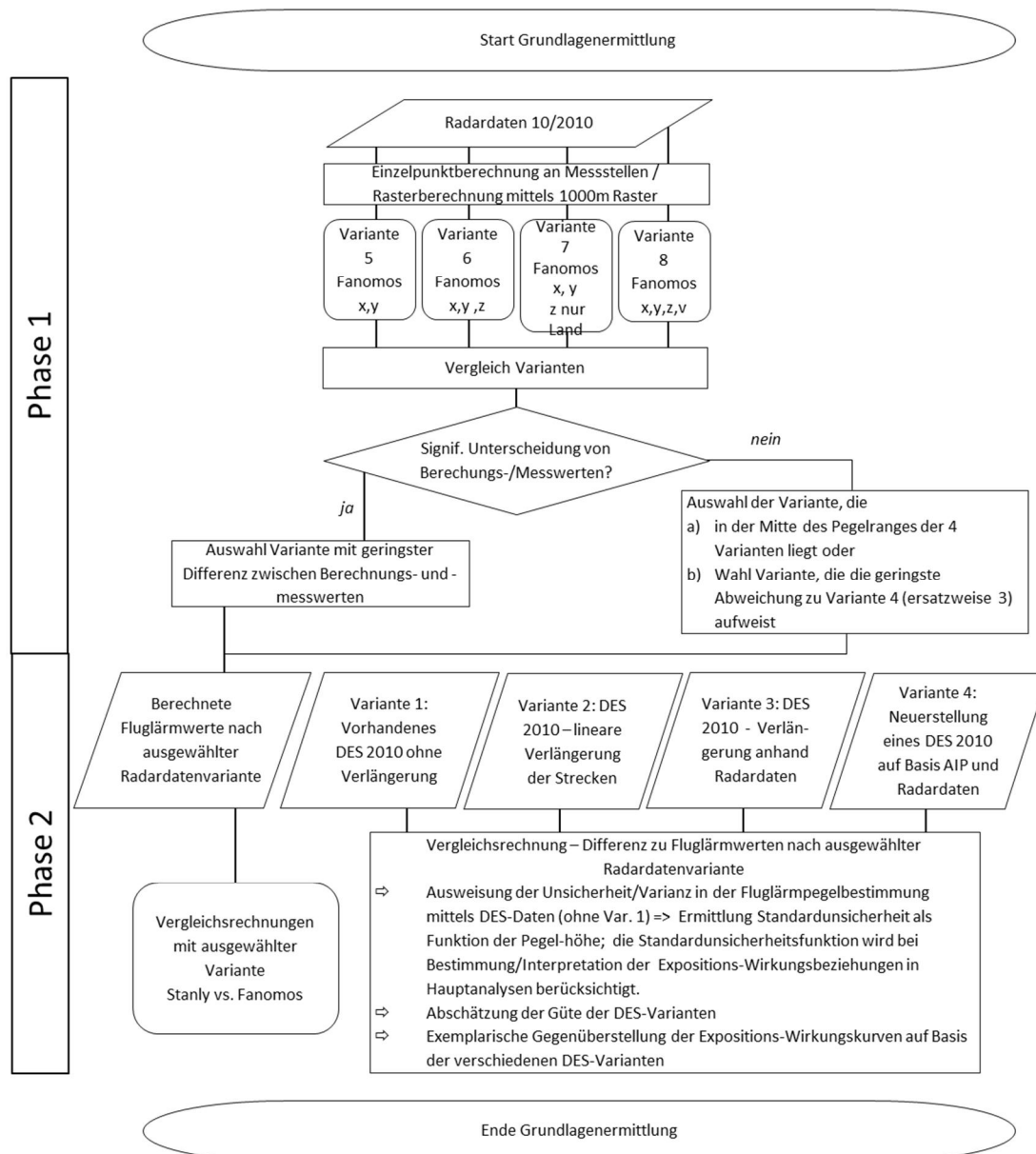


Abbildung 4-4: Konzept zur Ermittlung der Berechnungsgrundlage für Fluglärm

In Phase 1 der Grundlagenuntersuchung werden zunächst die Berechnungsmethoden der AzB-Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen betrachtet. Die AzB gibt für jede Luftfahrzeugklasse ein Leistungsprofil mit Angaben zu Höhe H (Radarprofil), Geschwindigkeit v und Zusatzpegel Z in Abhängigkeit von der Flugspur σ' (bzw. Radarspur) vor (s. Datenblatt Abbildung 4-5). Diese sind jedoch grundsätzlich auch direkt aus den Radardaten verfügbar. In einem ersten Schritt ist zu untersuchen, welche Parameter aus den Radardaten übernommen werden sollen, um eine möglichst gute Übereinstimmung mit Messergebnissen zu erzielen.

Luftfahrzeugklasse S 5.1 – L
Datenblatt

$s_{\text{On}} = 300 \text{ m}$

n	(1) O_n [dB]	(2) R_n
1	65,0	{0,0,0}
2	73,0	{0,0,0}
3	71,0	{0,0,0}
4	72,0	{0,0,0}
5	69,5	{0,0,0}
6	66,5	{0,0,0}
7	67,0	{0,0,0}
8	53,5	{0,0,0}

(3) P_F : Landeschwelle

σ' [m]	(4) Z [dB]	(5) V [m/s]	(6) H [m]
-300 - S_V	-10	15	0
-400	5	60	0
-300	0	65	0
7400	0	65	-
X	-1	108	h_0
$X + S_z$	-1	108	h_0
σ' [m]	$dZ/d\sigma'$ [dB/m]	$dV/d\sigma'$ [s ⁻¹]	$dH/d\sigma'$
$> X + S_z$	0	0	$\tan w$

(7) $h_0 = 2,5 \text{ m}$

(8) $Q_\sigma = 3 \text{ dB}$

(9) $S_V = 900 \text{ m}$

zugehörige APU-Klasse: APU 1 - L

$$X = \frac{h_0}{\tan w} - 300$$

Die Werte für die Flughöhe h_0 , die Länge des Zwischenanflugsegmentes S_z und den Gleitwinkel w ergeben sich aus dem DES. Die Angaben in der Spalte „ H “ gelten nur für den Fall, dass im DES keine Abschnittshöhenangaben enthalten sind.

Abbildung 4-5: Beispiel für ein Datenblatt mit Leistungsprofil der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L (Landung eines Strahlflugzeugs der Klasse 5.1 beim Landeanflug. Die Variablen (5) und (6) (Geschwindigkeit und Flughöhe) können der Radaraufzeichnung oder aus obiger Tabelle entnommen werden, wobei die Höhe des Zwischenanflugs h_0 und der Gleitwinkel w auch in diesem Fall aus den Radarprofilen abgeleitet werden müssen (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008, S. 95)

Als Vergleichsgröße wurden die Messergebnisse aus derselben Erhebungszeit an den stationären Fluglärmmessstellen von FRA.NoM verwendet.

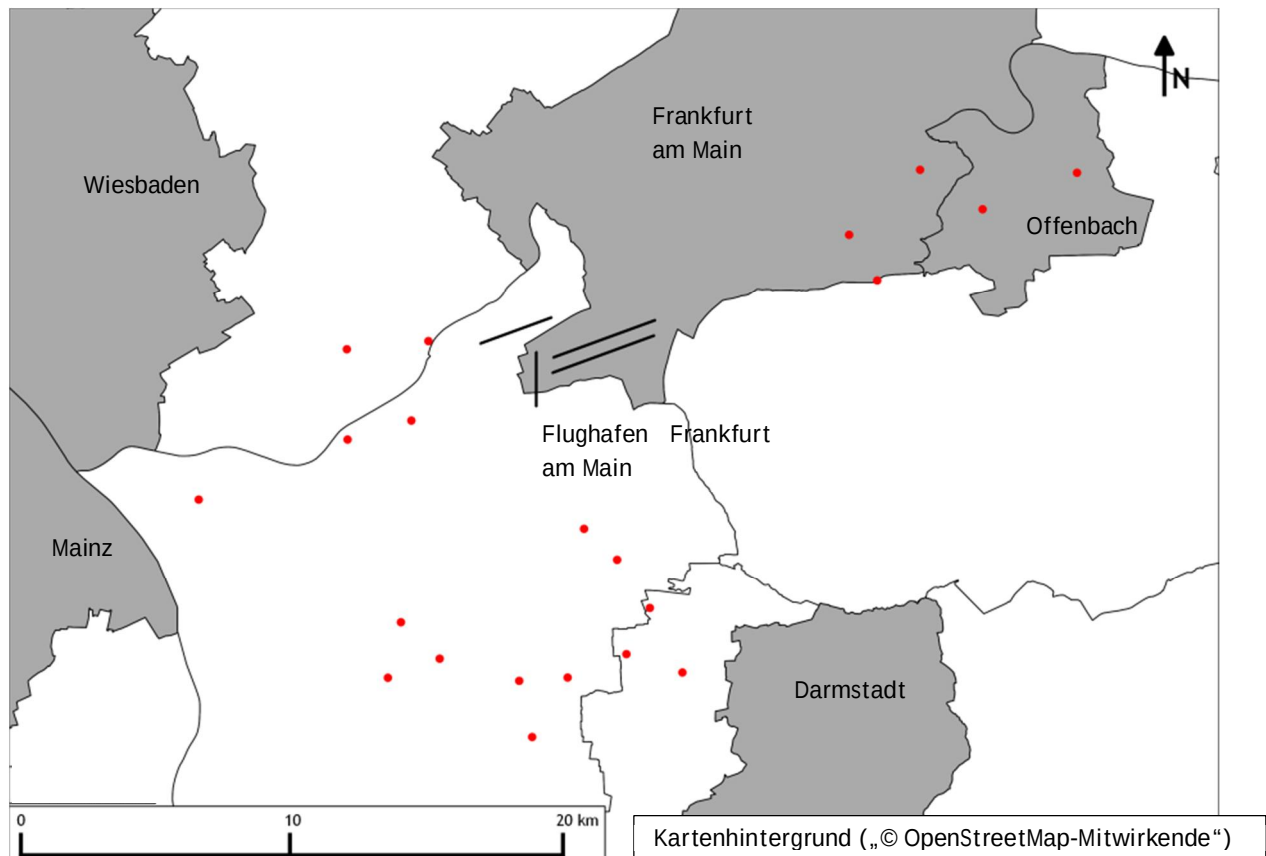


Abbildung 4-6: Lage der zu Vergleichszwecken verwendeten Messpunkte von FRA.NoM

Für den Monat Oktober 2010 werden durch unterschiedliche Parameterwahl vier unterschiedliche Varianten für die Berechnung auf Grundlage von STANLY-Tracks und FANOMOS-Tracks erstellt:

- | | |
|------------|--|
| Variante 5 | Import der x- und y-Koordinate aus Radarspuren; Nachbildung des Flugprofils z nach den Angaben zur Flughöhe H aus den Datenblättern der AzB und Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB; |
| Variante 6 | Import der x- und y-Koordinate sowie des Radarprofils z aus Radarbahnen; Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB; |
| Variante 7 | Import der x- und y-Koordinate aus Radarspuren; Radarprofil z nur für Landungen aus den Radarbahnen, für Starts Flugprofil aus den Datenblättern der AzB; Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB; |
| Variante 8 | Import der x- und y-Koordinate, des Radarprofils z sowie der Geschwindigkeit v aus Radarbahnen. |

Für jede „Radarvariante“ werden Einzelpunktberechnungen an den 21 Fraport-Messstellen für den Monat Oktober 2010 durchgeführt, um die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung abbilden zu können. Die „Radarvariante“ mit den geringsten Abweichungen zu den Messwerten wird als Berechnungsvariante für die Fluglärm-berechnungen gewählt.

In der zweiten Phase der Grundlagenuntersuchung werden die Abweichungen der DES-basierten Luftverkehrsgeräuschberechnungen zu den Berechnungen mit direkter Verwendung von Einzelflügen aus den Radaraufzeichnungen dargestellt, um die Ergebnisse von Expositions-Wirkungskurven auf Grundlage von DES-Berechnungen vergleichbar zu machen. Da diese Kurven sich auch auf Bereiche in niedrigen Pegeln erstrecken, konnten die Berechnungsergebnisse nicht alleine mit den in unmittelbarer Umgebung liegenden stationären Messstellen verglichen werden, sondern mussten auch untereinander sowie im Vergleich zu den Radarberechnungen im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebiets dargestellt werden. Dazu werden die teils zu kurzen Abflugstrecken des ursprünglichen von Fraport gelieferten DES mit Flugstreckensystem zur PFU 01.01. – 09.03.2011 von Optimized Traffic Systems Development GmbH (OTSD) auf zwei unterschiedliche Arten verlängert. Es werden folgende Varianten zur Untersuchung herangezogen:

- | | |
|------------|---|
| Variante 1 | DES mit Flugstreckensystem zur PFU 01.01. – 09.03.2011 ohne Streckenverlängerung; |
| Variante 2 | DES mit Flugstreckensystem zur PFU 01.01. – 09.03.2011 mit linearer Streckenverlängerung; |
| Variante 3 | DES mit Flugstreckensystem zur PFU 01.01. – 09.03.2011 mit Verlängerung der Flugspuren auf Basis von FANOMOS-Tracks; |
| Variante 4 | Neuerstellung des DES mit Flugstreckensystem zur PFU 01.01. – 09.03.2011 auf der Grundlage des Luftfahrthandbuches (AIP) und Radarspurauswertungen. |

Letztgenannte Variante wird bei den weiteren Untersuchungen nicht betrachtet, da die DES Neuerstellung mit erheblichem Kostenaufwand verbunden ist und weitere zeitliche Verzögerungen die Folge gewesen wären.

Die Streckenbelegungsdaten entsprechen der gewählten Erhebungszeit. Auch für diese drei Varianten werden zunächst Einzelpunktberechnungen an 21 Fraport-Messstellen durchgeführt, um die Abweichungen zwischen Messung und Berechnung in einem Bereich von bis zu 30 km um EDDF abbilden zu können. Zur Untersuchung der Abweichung zwischen gewählter Radarreferenzvariante und den DES-Varianten im weiteren Umfeld ab ca. 30 km vom Flughafen werden Rasterberechnungen mit einer Rasterweite von 1.000 m im Untersuchungsgebiet des Regierungspräsidiums Darmstadt sowie der vier Landkreise in Rheinland-Pfalz durchgeführt.

4.3 Vorgehensweise beim Import und der Aufbereitung von Radardaten

Grundsätzlich unterscheiden sich FANOMOS- und STANLY-Tracks durch die unterschiedliche Abtastrate. Während Flugbewegungen bei FANOMOS mit einem zeitlichen Abstand von 4,3 Sekunden zwischen den einzelnen Punkten erfasst werden, erfasst das STANLY-Tracking Flugbewegungen nur alle 60 Sekunden. Somit würden zwar grundsätzlich die FANOMOS-Tracks besser für die Beschreibung der Flugstrecke geeignet sein, jedoch werden diese erst seit dem Jahr 2010 aufgezeichnet, so dass zumindest bei den historischen Luftverkehrsgeräuschen auf STANLY-Tracks zurückgegriffen werden muss. Nach Bartel & Vogelsang (2010)

können die Daten der Radarspuraufzeichnungen stark fehlerbehaftet sein, wodurch sich teils unplausible Flugbewegungen gerade bei Landeanflügen ergeben können. Daher müssen die Rohdaten beim Import mittels Software nachbearbeitet werden. Da bei dem Radarsystem STANLY-Track zwischen jeder Abtastung ca. 1 Minute liegt, können

1. sich aus den Rohdaten im Kurvenflug bei der Interpolation zu Polygonzügen größere Abweichungen zu den tatsächlich geflogenen Kurvenzügen ergeben,
2. viele Flugbewegungen (FANOMOS- und STANLY-Track) in den Rohdaten weit vor den ihnen zugeordneten (Start/Lande-) Bahnen enden.

Um die Flugbahnen realistischer zu beschreiben (Problem 1), wird in der für die akustischen Berechnungen verwendeten Software SoundPLAN für den Import der Rohdaten in die Flugbewegungsdatenbank eine kubische Spline-Funktion implementiert. Mit dieser Funktion werden zwischen zwei Radarpunkten innerhalb eines vorgegebenen Bereichs weitere Punkte hinzugefügt, die ein Bogensegment beschreiben. Die Funktion verursacht beim Übergang in den Geradeausflug ein geringes Überspringen der Radarspur. Da die Beschreibung der Radarspur durch STANLY-Track selbst bereits fehlerbehaftet ist, wurden diese „Überschwinger“ in Kauf genommen. Die Software (Problem 2) ordnet jeder Radarspur eine Startlandebahn zu (STANLY-Tracks enthalten nur die Betriebsrichtung und sind somit nicht eindeutig). Es werden alle Punkte der Rohdaten näher als 3 km zum Bahnbezugspunkt (BBP) gelöscht und durch 3 Ersatzpunkte und zusätzliche Zwangspunkte (abhängig vom AzB-Profil der Klasse) ersetzt. Radarspuren, die einen größeren Abstand als 15 km zum BBP haben, werden verworfen. In Abbildung 4-7 sind exemplarisch eine Splinekorrektur sowie die Verlängerung auf die Bahnen anhand eines Abflugs von der Bahn 25R dargestellt.

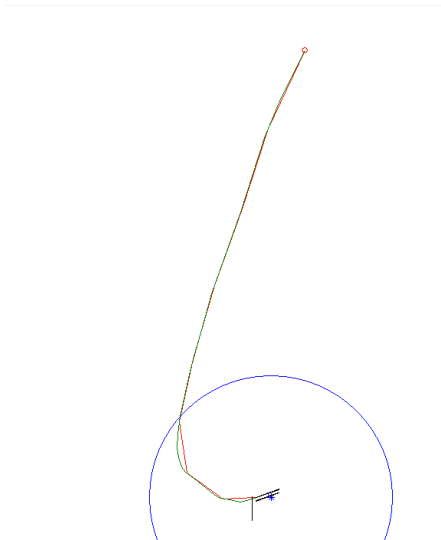
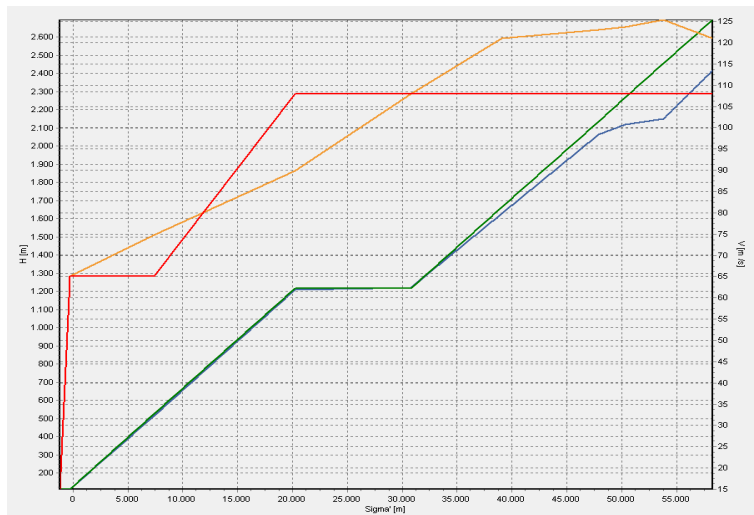


Abbildung 4-7: Exemplarische Darstellung eines importierten Abfluges von Bahn 25R aus STANLY-Tracks (rot: Rohdaten, grün: Spline-Korrektur, blau: informative Darstellung eines 20 km Radius)

Beim Import der FANOMOS-Tracks entfällt die Spline-Korrektur, da die Flugbewegungen ca. alle 4 Sekunden erfasst werden und somit die resultierende Segmentlänge den Anforderungen der AzB an die Unterteilung von Flugspuren entspricht. Die Verlängerung der Radarspuren auf die Start- bzw. Landebahnen erfolgt demgegenüber auch bei den FANOMOS-Tracks,

da dies Voraussetzung für die korrekte Bestimmung der Bogenlänge σ und damit des Zusatzpegels Z ist. Die teils hohen Punktdichten bei FANOMOS-Tracks werden mittels Importfilter (Filterbreite 100 m) reduziert. Auch die STANLY-Tracks werden beim Import mit diesem Punktfiler gefiltert, jedoch erst nach Anwendung der Spline-Korrektur. Die unter Kapitel 4.2 beschriebenen Berechnungsvarianten sehen unterschiedliche Eingangsdaten der Geschwindigkeit und der Flugprofile (bzw. Radarprofile) vor: Berücksichtigung der Angaben aus den Datenblättern der AzB oder Übernahme der Daten aus den Radaraufzeichnungen. Letztere geben zwar das tatsächliche Radarprofil und die Fluggeschwindigkeit korrekt wieder, die Datenblätter der AzB fassen jedoch andererseits Flugzeugtypen zu Luftfahrzeugklassen mit entsprechenden Emissionsangaben zusammen, die bei unterschiedlichem Höhen- und Geschwindigkeitsprofil vergleichbare Pegel am Boden verursachen (akustische Immissionsäquivalenz). Von daher ist im Rahmen der Grundlagenuntersuchung beim Import der Rohdaten in die Flugbewegungsdatenbank zusätzlich zu der Variante mit den Geschwindigkeits- und Höhenprofilen aus den Radardaten auch eine Variante mit Geschwindigkeits- und Höhenprofilen aus den Datenblättern nach AzB dargestellt. Bei der Berücksichtigung der Geschwindigkeits- und Höhenprofile aus den Datenblättern nach AzB tritt eine Besonderheit auf: Während die Geschwindigkeitsprofile aller Luftfahrzeugklassen für Starts (S) und Landungen (L) in den Datenblättern konkret angegeben sind, wird bei den Angaben zur Flughöhe, der Zwischenanflugsegmente und der Gleitwinkel bei Landungen (L) auf die Angaben aus dem DES verwiesen. Bei der direkten Verwendung von Radardaten zur Abbildung der Flugbewegungen liegt aber kein DES vor. Daher müssen die Flugprofile der Datenblätter der AzB bei Landungen mit Zwischenanflugsegment und Gleitwinkel aus den Radarprofilen abgeleitet werden. Die Bedeutung eines Zwischenanflugsegments ergibt sich insbesondere durch die in diesem Segment zu vergebenden Zusatzpegel Z für die waagerechten Flugstrecken. Zur Nachbildung des AzB Flugprofils werden in den Radarprofilen Zwischenanflugsegmente aus den letzten waagerechten Radarspurabschnitten der Radardaten vor der Landung durch einen Algorithmus detektiert. In diesem Abschnitt werden die entsprechenden Zusatzpegel nach AzB vergeben. Der Gleitwinkel bis zum Aufsetzpunkt ergibt sich aus der linearen Verbindung zwischen Zwischenanflugsegment und Aufsetzpunkt. Abbildung 4-8 zeigt exemplarisch die Geschwindigkeits- sowie Radarprofile aus den Radardaten und die Nachbildung des AzB Flugprofils aus Radardaten für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L (Landung eines Strahlflugzeugs der Klasse 5.1 mit Höchststartmasse bis 50 t). Wie man sieht, weist das unveränderte Radarprofil aus den Radardaten (blaue Linie) zwei annähernd waagrechte Flugphasen auf. Aus der in etwa 1.200 m Höhe gelegenen waagerechten Flugphase wird die Zwischenanflughöhe für die Nachbildung des Höhenprofils nach AzB (grüne Linie) detektiert. Diese Zwischenanflughöhe entspricht auch der im DES nachgebildeten Zwischenanflughöhe beim Gegenanflug. Die Zusatzpegel für Horizontalflugabschnitte werden bei dieser Höhe vergeben. Das zweite Höhenniveau der blauen Linie bei ca. 2.000 m ist eine Radarführungshöhe. Radarführungshöhen sind in der AzB nicht beschrieben und werden daher bei der Nachbildung des AzB Flugprofils aus Radardaten (grüne Linie) nicht zusätzlich als Horizontalflugabschnitt berücksichtigt, wenn bereits eine Zwischenanflughöhe in geringerer Höhe detektiert wurde.



Monat 10_2010

Höhenprofil aus Radardaten

Flugprofil detektiert aus Radardaten

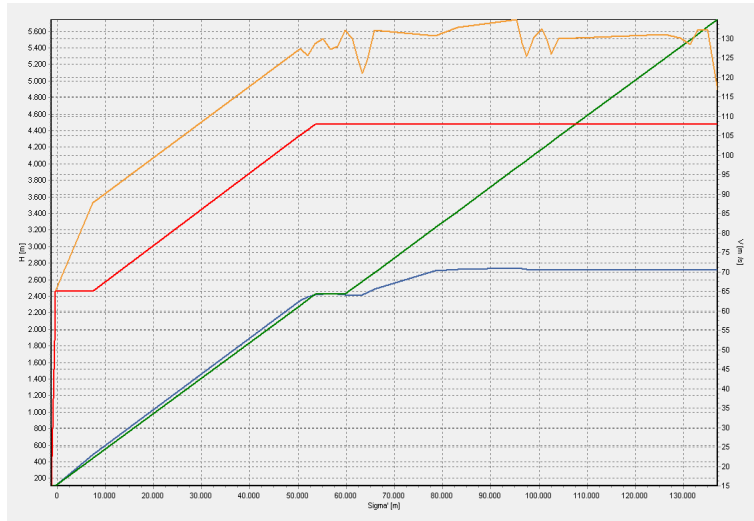
zur Nachbildung des AzB-Höhenprofils

Geschwindigkeit aus Radardaten

Geschwindigkeit aus AzB

Abbildung 4-8: Geschwindigkeits- sowie Höhenprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L (Landung eines Strahlflugzeugs der Klasse 5.1 mit Höchststartmasse bis 50 t); für Grundlagenermittlung blaues und grünes Höhenprofil verwendet, für endgültige Berechnung blaues Höhenprofil verwendet

Ist die Zwischenanfluglänge zu kurz (bei STANLY-Track aufgrund der 60 s- Messung zwischen zwei Punkten) oder spiegelt sie sich in den Daten nicht wider (z. B. bei STANLY-Track, da der Punktabstand zu groß ist), kann der Algorithmus die Zwischenanflughöhe nicht korrekt detektieren. In diesem Fall kann es passieren, dass das letzte waagerechte Anflugsegment vor dem Aufsetzen als Zwischenanflughöhe interpretiert und mit dem dazugehörigen Zusatzpegel versehen wird. Dies sind in der Regel Radarführungshöhen in größeren Entfernungen. Aus akustischer Sicht und im Vergleich mit Abbildung 4-5 ist die Berücksichtigung des Zusatzpegels auch in dieser Höhe korrekt, da horizontale Flugsegmente unabhängig davon, in welcher Höhe sie stattfinden, Zusatzpegel erfordern. Abbildung 4-9 enthält exemplarisch die Geschwindigkeits- sowie Radarprofile aus den Radardaten und die Nachbildung des AzB Flugprofils aus Radardaten für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L, bei dem die Radarführungshöhe als Zwischenanflughöhe detektiert wurde. Die Zusatzpegel für Horizontalflugabschnitte werden bei dieser Höhe vergeben. Bei Verwendung der Höhenprofile (Radarprofile) aus den Radardaten (blaue Linien in Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9) werden Zusatzpegel für Horizontalflugabschnitte vergeben, wenn waagerechte Flugphasen detektiert werden.



Monat 10_2010
Höhenprofil aus Radardaten
Flugprofil detektiert aus Radardaten
zur Nachbildung des AzB-Höhenprofils
Geschwindigkeit aus Radardaten
Geschwindigkeit aus AzB

Abbildung 4-9: Geschwindigkeits- sowie Höhenprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L mit Radarführungshöhe detektiert als Zwischenanflugsegment (für Grundlagenermittlung blaues und grünes Höhenprofil verwendet, für endgültige Berechnung blaues Höhenprofil verwendet)

Im Rahmen der Grundlagenermittlung werden Flug-, Radar- und Geschwindigkeitsprofile wie folgt verwendet:

- Variante 5 Nachbildung des Flugprofils z nach den Angaben zur Flughöhe H aus den Datenblättern der AzB (grüne Linie) und Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB (rote Linie);
- Variante 6 Höhenprofil z aus Radardaten (blaue Linie); Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB (rote Linie);
- Variante 7 Höhenprofil z nur für Landungen aus Radardaten (blaue Linie), für Starts Flugprofil aus den Datenblättern der AzB (vgl. grüne Linie Abbildung 4-12); Übernahme des Geschwindigkeitsprofils v aus den Datenblättern der AzB (rote Linie);
- Variante 8 Höhenprofil z (blaue Linie) sowie Geschwindigkeitsprofil v (gelbe Linie) aus Radardaten

Für die endgültigen Berechnungen werden das Höhenprofil z (blaue Linie) und das Geschwindigkeitsprofil v (gelbe Linie) aus den Radardaten verwendet.

4.4 Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung Phase 1

Zwischen Messung und Berechnung im Abstandsbereich der Messstellen des Frankfurter Flughafens ergeben sich für die auf FANOMOS basierenden Luftverkehrsgeräusche folgende Unterschiede. Die Fraport-Messwerte sind nicht nach DIN 45643 (2011) ausgewertet, d. h. sie verwenden die Dreiecksummation. Dies führt zu einem Überschätzen des Pegels um 0,5 dB bis 1,0 dB. Gleichzeitig wurde bei der Rechnung nicht mit einem Schwellenpegel zur

Nachbildung der Messung gearbeitet, was zu einer Überschätzung im Vergleich zu Messwerten führt.

Tabelle 4-1: Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von FANOMOS-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Tag in dB (Anzahl Messstellen N = 21)

Messstellenfunktion	Messstation	Messung	Messung - x;y aus FANOMOS / z;v aus Datenblatt	Messung - x;y;z aus FANOMOS / v aus Datenblatt	Messung - x;y aus FANOMOS z bei Landungen / v aus Datenblatt	Messung - x;y;z;v aus FANOMOS
			Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
	ID	$L_{pA,eq,Tag}$ [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]
Typische Anflug-Messstellen	MP01	59,3	-0,1	0,3	0,3	0,2
	MP02	56,9	-0,2	0,2	0,2	0,2
	MP05	60,8	0,6	0,9	0,9	0,8
	MP06	62,8	-0,2	0,1	0,0	0,0
	MP89	56,6	0,6	1,0	1,1	0,9
Typische Abflug-Messstellen	MP12	59,3	1,7	2,8	1,7	2,2
	MP31	51,0	0,9	0,9	0,7	0,7
	MP32	52,4	1,5	1,7	1,3	1,5
	MP35	52,9	0,9	1,4	0,8	1,2
	MP51	56,4	1,6	2,0	1,6	1,7
	MP52	54,9	0,5	0,9	0,5	0,7
	MP55	55,5	0,5	1,2	0,5	1,0
	MP57	56,4	-0,9	-0,8	-0,9	-1,2
	MP71	57,7	0,5	1,1	0,5	0,9
	MP72	53,0	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8
	MP75	54,4	0,1	0,5	0,1	0,4
	MP77	54,5	0,8	0,8	0,7	0,4
Überwiegend Abflug	MP07	57,9	1,3	1,7	1,3	1,2
	MP45	54,0	-0,2	-0,1	-0,2	-0,3
An- / Abflüge etwa gleich	MP41	59,5	-0,6	-0,4	-0,6	-0,6
	MP42	55,1	-1,9	-1,7	-1,9	-1,9

Tabelle 4-2: Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von FANOMOS-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Nacht in dB (Anzahl Messstellen N = 21)

Messstellenfunktion	Messstation	Messung	Messung - x;y aus FANOMOS / z;v aus Datenblatt	Messung - x;y;z aus FANOMOS / v aus Datenblatt	Messung - x;y aus FANOMOS z bei Landungen / v aus Datenblatt	Messung - x;y;z;v aus FANOMOS
			Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
	ID	$L_{pA,eq,Nacht}$ [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]
Typische Anflug-Messstellen	MP01	53,9	-0,1	0,3	0,3	0,1
	MP02	51,5	0,1	0,6	0,6	0,4
	MP05	55,8	1,1	1,4	1,4	1,2
	MP06	57,1	0,2	0,5	0,5	0,4
	MP89	51,1	0,8	1,3	1,3	1,2
Typische Abflug-Messstellen	MP12	46,9	0,5	2,1	0,5	1,6
	MP31	48,5	1,5	1,7	1,5	1,3
	MP32	49,6	1,9	2,1	1,9	1,7
	MP35	50,7	1,9	2,1	1,9	1,7
	MP51	52,7	1,9	2,1	1,9	1,8
	MP52	51,0	0,6	0,8	0,6	0,5
	MP55	51,8	0,8	1,0	0,8	0,7
	MP57	52,2	-0,5	-0,3	-0,5	-0,7
	MP71	53,4	0,8	1,4	0,8	1,1
	MP72	49,2	-0,2	0,0	-0,3	-0,3
	MP75	50,4	0,6	0,9	0,6	0,7
	MP77	50,3	1,3	1,4	1,2	1,0
Überwiegend Abflug	MP07	47,9	1,2	1,6	1,2	0,9
	MP45	48,9	0,0	0,3	0,0	0,0
An- / Abflüge etwa gleich	MP41	56,0	0,0	0,3	0,1	0,0
	MP42	51,1	-1,0	-0,8	-1,0	-1,1

Eine zusammenfassende Darstellung ist als Häufigkeitsverteilung für den Tag 06:00 - 22:00 Uhr in Abbildung 4-10 zu sehen. Diese zeigt die Zahl der Abweichungen der Messwerte von den Rechenwerten innerhalb einer Pegelklasse mit der Klassenbreite 1 dB und dem Klassenmittelpunkt bei den ganzzahligen Abweichungen (d. h. bspw. von + 0,5 dB bis - 0,5 dB).

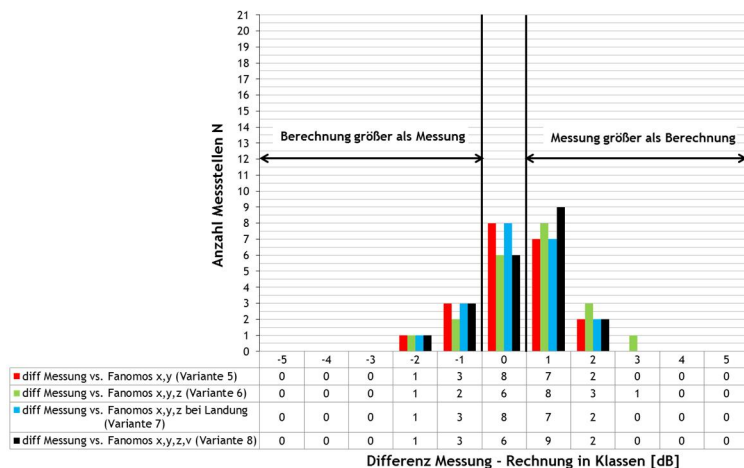


Abbildung 4-10: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS Oktober 2010 06 – 22 Uhr Anzahl Messstellen N = 21

Bei den Berechnungen auf Grundlage von FANOMOS-Tracks zeigt sich, dass die Abweichungen zu den Messwerten näherungsweise unabhängig davon sind, welche Parameter (x, y, z und v) von den Radardaten berücksichtigt werden. Ein ähnliches Bild zeigt auch die Häufigkeitsverteilung für die Nacht 22:00 - 06:00 Uhr.

Werden STANLY-Tracks als Grundlage für Berechnungen zugrunde gelegt, ergibt sich ein differenzierteres Bild:

Tabelle 4-3: Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von STANLY-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Tag in dB (Anzahl Messstellen $N = 21$)

Messstellen-funktion	Messstation	Messung	Messung - x;y aus STANLY / z;v aus Datenblatt	Messung - x;y;z aus STANLY / v aus Datenblatt	Messung - x;y aus STANLY z bei Landungen / v aus Datenblatt	Messung - x;y;z;v aus STANLY
			Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
	ID	$L_{pA,eq,Tag}$ [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]
Typische Anflug-Messstellen	MP01	59,3	-1,6	-0,2	-0,2	0,0
	MP02	56,9	-2,2	-0,7	-0,7	-0,4
	MP05	60,8	-0,5	1,0	1,0	1,0
	MP06	62,8	-1,2	0,2	0,2	0,1
	MP89	56,6	-1,4	0,3	0,3	0,5
Typische Abflug-Messstellen	MP12	59,3	2,8	3,5	2,8	2,9
	MP31	51,0	0,8	1,0	0,8	0,6
	MP32	52,4	1,5	1,9	1,5	1,6
	MP35	52,9	1,0	1,6	1,0	1,2
	MP51	56,4	1,9	2,2	1,9	1,8
	MP52	54,9	0,6	0,9	0,6	0,5
	MP55	55,5	0,7	1,3	0,7	0,9
	MP57	56,4	-2,0	-1,9	-2,0	-2,6
	MP71	57,7	0,7	1,3	0,7	0,9
	MP72	53,0	-1,1	-0,8	-1,1	-1,1
	MP75	54,4	-0,4	0,2	-0,4	-0,1
	MP77	54,5	-0,9	-0,8	-0,9	-1,2
Überwiegend Abflug	MP07	57,9	1,7	2,1	1,7	1,4
	MP45	54,0	-0,5	-0,4	-0,7	-0,6
An- / Abflüge etwa gleich	MP41	59,5	-1,1	-0,7	-0,9	-0,8
	MP42	55,1	-1,6	-1,5	-1,7	-1,6

Tabelle 4-4: Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von STANLY-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Nacht in dB (Anzahl Messstellen N = 21)

Mess- stellen- funktion	Mess- station	Messung	Messung - x;y aus STANLY / z;v aus Da- tenblatt	Messung - x;y;z aus STANLY / v aus Daten- blatt	Messung - x;y aus STANLY z bei Landungen / v aus Datenblatt	Messung - x;y;z;v aus STANLY
			Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
	ID	$L_{pA,eq,Nacht}$ [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]	ΔL [dB]
Typische Anflug- Mess- stellen	MP01	53,9	-1,1	0,1	0,1	0,1
	MP02	51,5	-1,6	-0,2	-0,2	0,1
	MP05	55,8	0,1	1,4	1,4	1,4
	MP06	57,1	-0,3	0,7	0,7	0,6
	MP89	51,1	-0,8	0,7	0,7	0,8
Typische Abflug- Mess- stellen	MP12	46,9	2,0	3,1	1,9	2,4
	MP31	48,5	1,4	1,7	1,4	1,2
	MP32	49,6	1,5	1,5	1,6	1,1
	MP35	50,7	1,6	1,9	1,6	1,4
	MP51	52,7	1,9	1,9	1,9	1,6
	MP52	51,0	0,6	0,6	0,6	0,2
	MP55	51,8	0,8	0,8	0,8	0,5
	MP57	52,2	-1,6	-1,3	-1,6	-2,2
	MP71	53,4	1,1	1,6	1,1	1,2
	MP72	49,2	-1,0	-0,6	-1,0	-1,0
	MP75	50,4	-0,3	0,2	-0,3	-0,1
	MP77	50,3	-0,2	0,0	-0,2	-0,6
Über- wiegend Abflug	MP07	47,9	1,1	1,6	1,1	0,6
	MP45	48,9	-0,3	0,0	-0,4	-0,3
An- / Abflüge etwa gleich	MP41	56,0	-0,5	0,1	-0,2	-0,2
	MP42	51,1	-1,1	-1,0	-1,2	-1,4

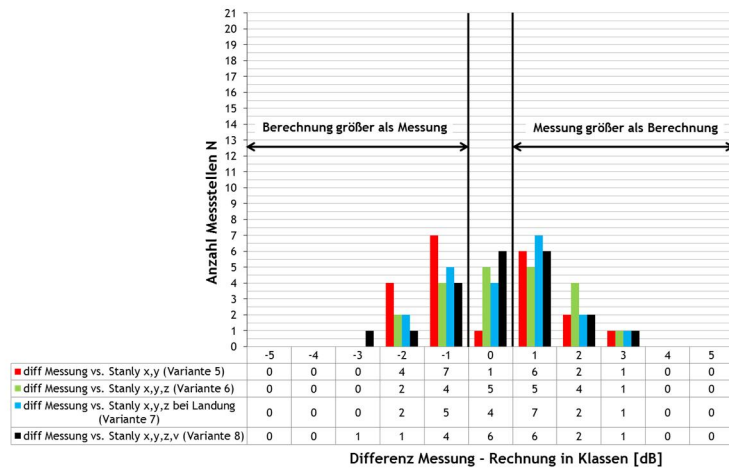


Abbildung 4-11: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung STANLY Oktober 2010 06:00 – 22:00 Uhr Anzahl Messstellen N = 21

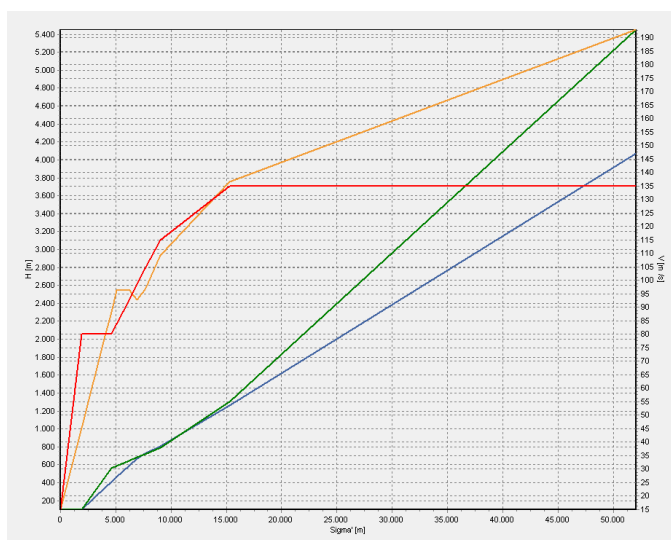
Bei den STANLY-Track-Varianten ergibt sich unter Berücksichtigung lediglich der x- und y-Komponente eine deutlich zweipolige Verteilung der Abweichungen zu Messergebnissen. Wird die z-Variante zusätzlich berücksichtigt, ergibt sich eine bessere Übereinstimmung zwischen Berechnung und Messung. Die Mittelwerte (M) und zugehörigen Schätzwerte der Standardabweichungen (SD) zwischen Messung und Rechnung an den 21 stationären Messstationen sind in folgender Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 4-5: Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen Messung und Berechnung an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 in dB (Anzahl Messstellen N = 21)

	V5: x,y aus Radarbahnen / z;v aus Datenblatt	V6: x;y;z / v aus Datenblatt	V7: x;y;z aus Radarbahnen bei Landung / v aus Datenblatt	V8: x;y;z;v aus Radarbahnen
FANOMOS Tag [dB]				
M	0,3	0,7	0,4	0,4
SD	0,9	1,0	0,9	1,0
FANOMOS Nacht [dB]				
M	0,6	1,0	0,7	0,7
SD	0,8	0,8	0,8	0,8
STANLY Tag [dB]				
M	-0,1	0,5	0,2	0,2
SD	1,4	1,4	1,2	1,3
STANLY Nacht [dB]				
M	0,2	0,7	0,5	0,4
SD	1,2	1,1	1,0	1,1

Im Konsortium wurde in Übereinstimmung mit dem Wissenschaftlichen Beirat zur Qualitätssicherung (WBQ) entschieden, die Berechnungen auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen unter Berücksichtigung aller Parameter der Radardaten (x, y, z und v) durchzu-

führen (AG Akustik, Protokoll der Sondersitzung vom 25.02.2013). Dadurch können im weiteren Umfeld des Flughafens die Leistungsprofile der Luftfahrzeugklassen zuverlässiger beschrieben werden. Besonders ab einem Abstand von etwa 20 km bis 25 km vom ARP basieren die Angaben der Datenblätter der AzB zu Flugprofil und -geschwindigkeit auf Vereinfachungen und Annahmen. So werden z. B. bei den häufigsten Luftfahrzeugklassen die Geschwindigkeiten bei Starts ab einem klassenabhängigen Abstand als konstant angenommen und der Steigwinkel ebenfalls. Vergleichbar verhält es sich bei Landungen (vgl. Abbildung 4-8). Exemplarisch sind in folgender Abbildung das Flug- und Geschwindigkeitsprofil aus den AzB-Datenblättern als grüne (Höhe) und rote Linie (Geschwindigkeit) für die Luftfahrzeugklasse S 5.1-S dargestellt. Ab einem Abstand in der Bogenlänge von 15 km sind die Geschwindigkeit und die Steigung als konstant angenommen.



Monat 10_2010

Hd = Radarprofil aus Radardaten

Hc = Flugprofil detektiert aus Radardaten
zur Nachbildung des AzB-Höhenprofils

Vd = Geschwindigkeit aus Radardaten

Vc = Geschwindigkeit aus AzB

Abbildung 4-12: Geschwindigkeits- sowie Radarprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Start der Luftfahrzeugklasse S 5.1-S

Beim Vergleich der FANOMOS- und STANLY-Track-Varianten unter Berücksichtigung aller Parameter zeigt sich zudem eine gute Übereinstimmung, wie Abbildung 4-13 zeigt.

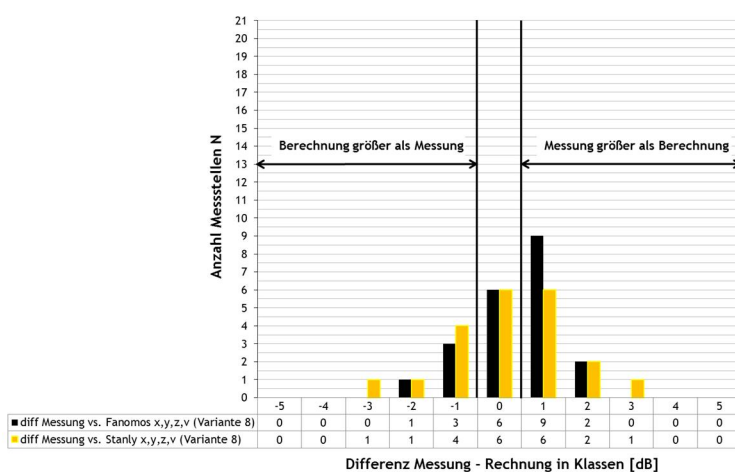


Abbildung 4-13: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung - Berechnung FANOMOS vs. STANLY Oktober 2010 06:00 - 22:00 Uhr Anzahl Messstellen N = 21

4.5 Ergebnisse der Grundlagenuntersuchung Phase 2

4.5.1 Vergleich mit Messung an Monitoring -Stationen

Abbildung 4-14 zeigt einen Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der gewählten FANOMOS- und STANLY-Track-Varianten zu den DES-Varianten an 21 stationären Fraport-Messstationen. Wie zu erwarten, treten bei allen DES-Varianten die gleichen Abweichungen zu den Messwerten auf, da die Verlängerungen der Datenerfassungssysteme (DES) deutlich außerhalb des Bereichs der Messstationen erfolgen. Der Vergleich der DES-Berechnungen mit den einzelflugbasierten Berechnungsmethoden zeigt, über alle 21 Messstationen betrachtet, eine ähnliche Verteilung, so dass zunächst im Nahbereich des Frankfurter Flughafens für die Teilzeit Tag 06:00 - 22:00 Uhr kein signifikanter Unterschied bei der Berechnung der Luftverkehrsgeräusche basierend auf einem DES oder basierend auf Einzelflugberechnungen vermutet werden kann.

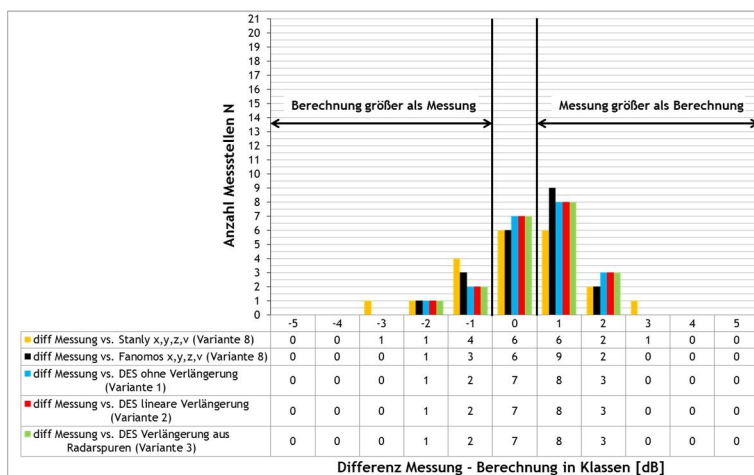


Abbildung 4-14: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06:00 - 22:00 Uhr Anzahl der Messstellen N = 21

Unterteilt man die Messstationen in typische Anflug- und Abflugmessstationen, zeigt sich ein systematischer Unterschied zwischen den DES-basierten Berechnungen und den Berechnungen unter direkter Verwendung von Einzelflügen aus Radardaten. Bei den typischen Anflug-Messstellen unterschätzt die DES-basierte Berechnung die tagsüber gemessene Mittelungspegel um etwa 1 dB bis 2 dB, während sie diese nachts um 1 dB bis 2 dB überschätzt. Demgegenüber zeigen die Berechnungen auf Grundlage der Radarbahnen von Einzelflügen tags und nachts gute Übereinstimmungen mit den Messergebnissen (siehe Abbildung 4-15 und Abbildung 4-16).

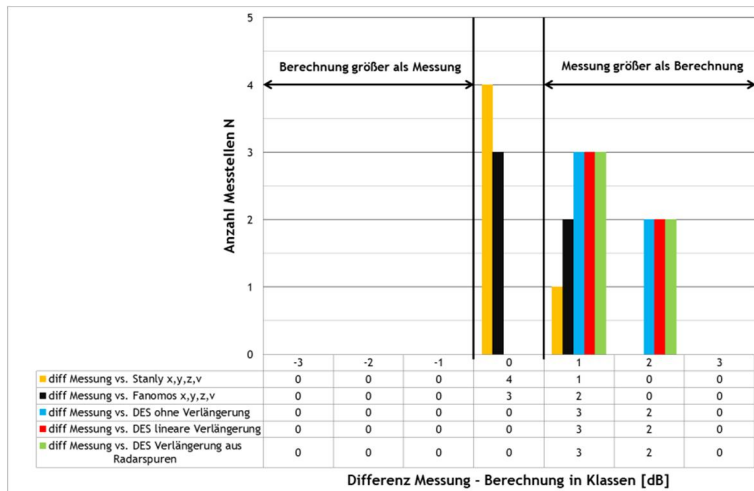


Abbildung 4-15: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06:00 - 22:00 Uhr an typischen Anflug-Messstellen (N = 5)

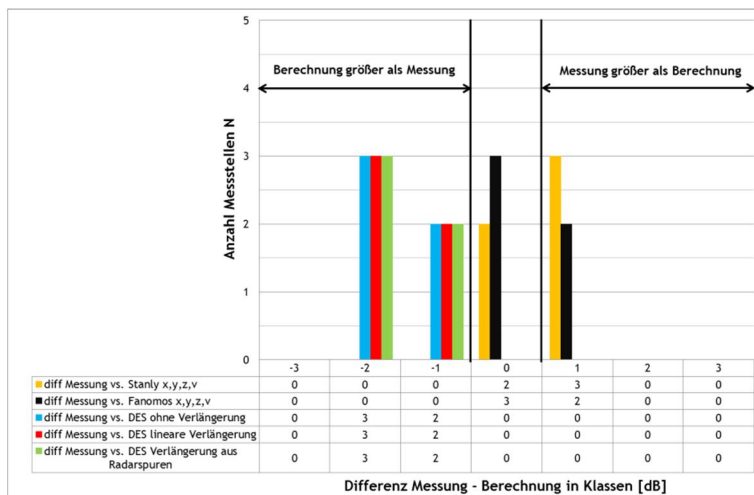


Abbildung 4-16: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010; 22:00 - 06:00 Uhr an typischen Anflug-Messstellen (N = 5)

Werden nur die Abflug-Messstellen betrachtet, zeigen sich tags und nachts gute Übereinstimmungen zwischen den Berechnungen auf Grundlage von DEsen und Radarbahnen von Einzelflügen. Offensichtlich ergeben sich beim Erstellen der DESe besonders im Bereich der Anflugrouten (vgl. Abbildung 4-16) beim Zusammenfassen der Flugspuren in Korridore Vereinfachungen, die zu Abweichungen von den Messwerten führen können.

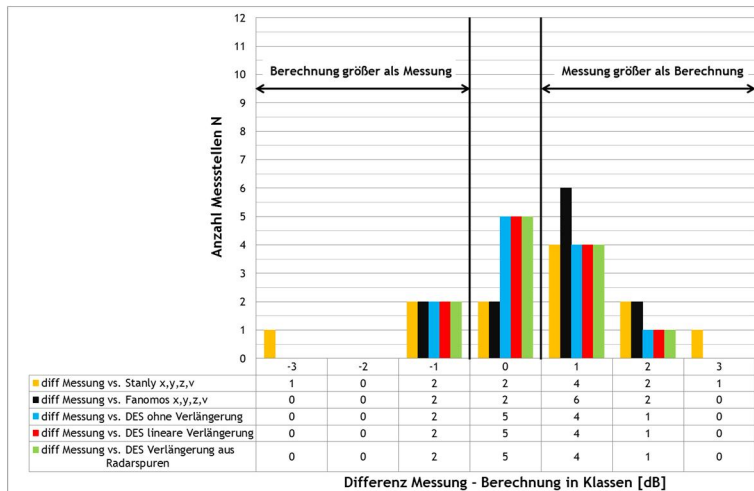


Abbildung 4-17: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06 – 22 Uhr an typischen Abflug-Messstellen (N = 12)

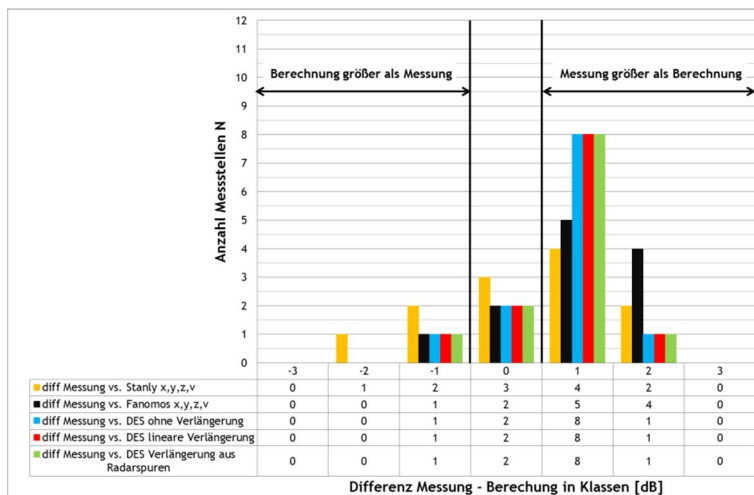


Abbildung 4-18: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010, 22:00 – 06:00 Uhr an typischen Abflug-Messstellen (N = 12)

4.5.2 Rasterberechnungen

Im gesamten Untersuchungsgebiet von Studienmodul 2 werden Rasterberechnungen in 1.000 m Rasterweite durchgeführt, um die Abweichungen zwischen den Berechnungsmethoden auch im weiteren Umgriff außerhalb des Einzugsbereichs der Messpunkte zu ermitteln. Zur graphischen Darstellung werden folgende Differenzkarten erstellt:

- FANOMOS / STANLY – DES ohne Streckenverlängerung;
- FANOMOS / STANLY – DES Abflugstrecken linear verlängert;
- FANOMOS / STANLY – DES Abflugstrecken verlängert aus FANOMOS-Tracks.

Exemplarisch sind in Abbildung 4-19 die Differenzen STANLY – DES-Varianten dargestellt.

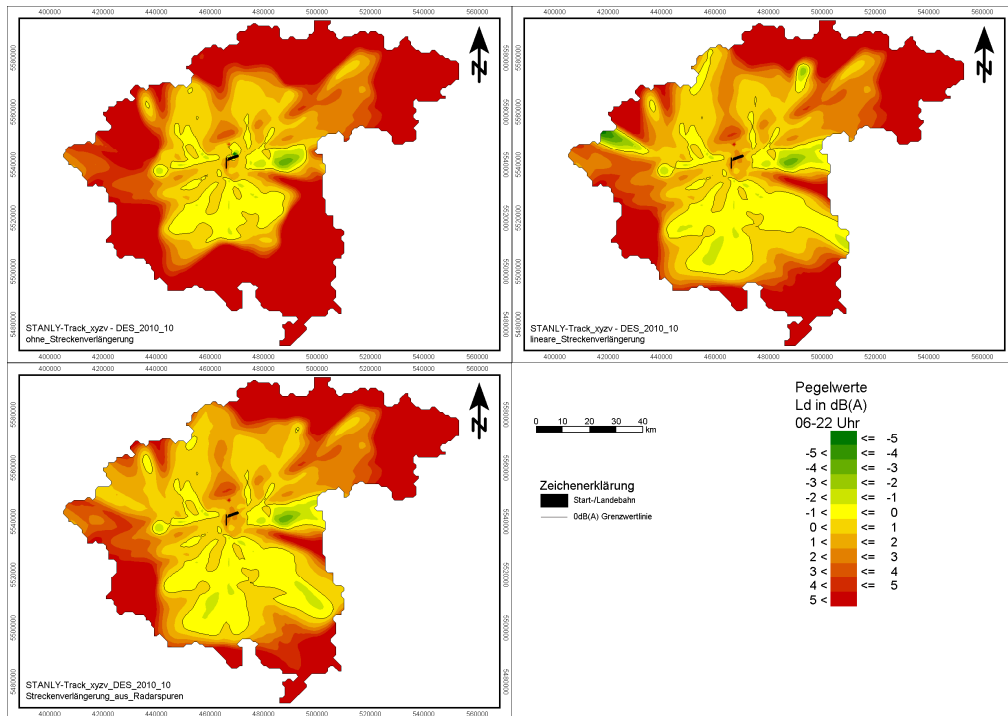


Abbildung 4-19: Differenzrasterdarstellungen des Mittelungspegels Tag (L_d) zur Untersuchung der Abweichungen zwischen Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen zu DES-Berechnung im weiteren Umfeld (ca. 30 km) des Flughafens (exemplarisch für STANLY).

Es zeigt sich, dass im weiteren Umfeld des Untersuchungsgebietes (ca. 30 km) trotz Verlängerung der Abflugstrecken Mittelungspegeldifferenzen für den Tag von mehr als 5 dB auftreten. In diesen Gebieten werden mit Radarbahnen von Einzelflügen höhere Pegel berechnet als mit einem DES. In den Bereichen zwischen den Flugbahnen werden die vereinzelt auftretenden Flugspuren im DES den Flugbahnen zugeordnet. Hier kommt es durch das DES zu einer Unterschätzung der Geräuschbelastung. Demgegenüber ist im Bereich unterhalb der Flugbahnen eine Verdichtung durch das DES vorhanden, die in höheren Pegeln resultiert. Die Mittelungspegel werden durch die DES-Berechnung direkt unterhalb der Flugspuren überschätzt und am Rand unterschätzt. Radarbahnen hingegen weisen keine definierten Korridore auf. Die tatsächlich geflogenen Flugbewegungen sind über den gesamten Umgriff des Regierungspräsidiums Darmstadt sowie der vier Landkreise in Rheinland-Pfalz verteilt. Eine Gegenüberstellung der auf Grundlage von FANOMOS-Radarbahnen berechneten Pegel und der auf Grundlage des (mittels Radarbahnen) verlängerten DES-berechneten Pegels ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

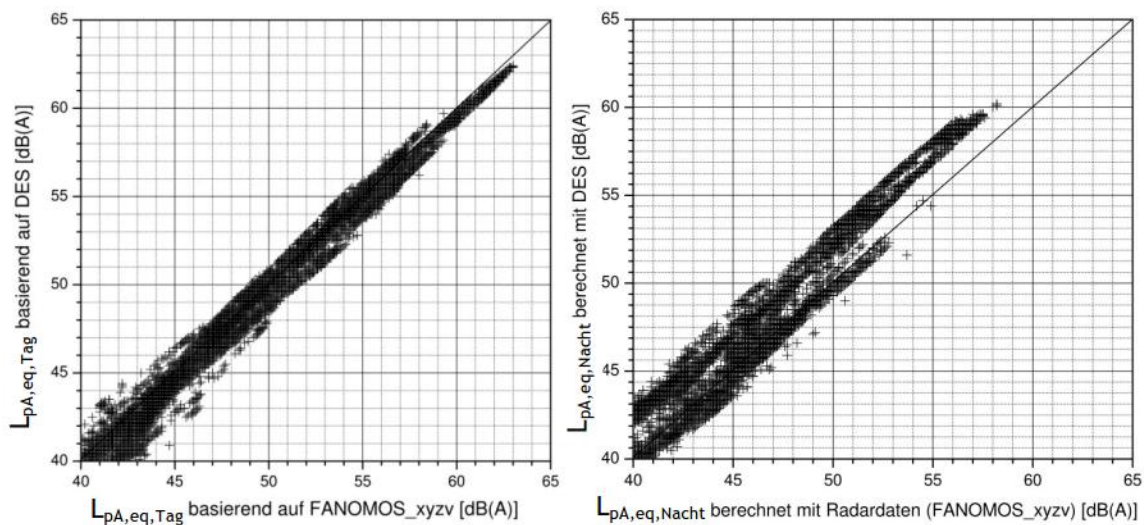


Abbildung 4-20: Streudiagramm der Einzelflugberechnung und DES-Berechnung an den rd. 9.000 Immissionsorten des Studienmoduls 1; Tag (links) und Nacht (rechts)

Hier zeigt sich, dass nachts in den hohen Pegelbereichen Abweichungen zwischen DES- und Einzelflugberechnungen auftreten. Während die DES-Berechnungen tagsüber gut mit den Berechnungen auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen übereinstimmen, zeigen sich nachts zwei unterschiedliche Bereiche: Ein Bereich mit guten Übereinstimmungen bei niedrigen bis mittleren Pegelbereichen und ein Bereich mit einer Überschätzung durch die DES-Pegel bei niedrigen, mittleren und hohen Pegeln. Dieses Ergebnis kann mit der Überschätzung der DES Berechnung gegenüber den Messergebnissen im Bereich von Anflugrouten (vgl. Abbildung 4-16) zusammenhängen. Besonders nachts kann auf Gegenanflügen aufgrund der geringeren Flugzahlen spät eingeschwenkt werden. Tagsüber stellt sich die Unterschätzung der DES-Berechnung im Vergleich zur Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen bei Anflügen (vgl. auch Abbildung 4-15) nicht so ausgeprägt dar.

4.6 Fazit der Grundlagenermittlung

Das Ergebnis der Grundlagenuntersuchung für den im Nahbereich (über alle Messstationen zusammengefasst) ist der folgenden Tabelle 4-6 zu entnehmen.

Tabelle 4-6: Mittelwert (M), Schätzwert der Standardabweichung (SD), Minimum (MIN) und Maximum (MAX) der Differenzen zwischen Messung und Berechnung an den stationären Messstationen über Tag und Nacht für den Monat Oktober 2010 in dB (Anzahl Messstellen N = 21)

Tag 06:00 - 22:00 Uhr				
	M [dB]	SD [dB]	MIN [dB]	MAX [dB]
Messwerte - DES ohne Streckenverlängerung	0,5	1,0	-1,7	1,9
Messwerte - DES Abflugstrecken linear verlängert	0,5	1,0	-1,7	1,9
Messwerte - DES Abflugstrecken verlängert aus Radardaten	0,5	1,0	-1,7	1,9
Messwerte - STANLY-x, y, z, v	0,2	1,3	-2,6	2,9
Messwerte - FANOMOS- x, y, z, v	0,4	1,0	-1,9	2,2
STANLY- x, y, z, v - FANOMOS- x, y, z, v	-0,2	0,3	-0,7	0,7
Nacht 22:00 - 06:00 Uhr				
Messwerte - DES ohne Streckenverlängerung	-0,1	1,5	-2,7	2,3
Messwerte - DES Abflugstrecken linear verlängert	-0,1	1,5	-2,7	2,3
Messwerte - DES Abflugstrecken verlängert aus Radardaten	-0,1	1,5	-2,7	2,3
Messwerte - STANLY-x, y, z, v	0,4	1,1	-2,2	2,4
Messwerte - FANOMOS- x, y, z, v	0,7	0,8	-1,1	1,8
STANLY- x, y, z, v - FANOMOS- x, y, z, v	-0,3	0,3	-1,1	0,6

Das Ergebnis der Grundlagenuntersuchung in einem Abstand außerhalb der Messpunkte (ca. 30 km) stellt sich wie folgt dar.

Tabelle 4-7: Abweichungen zwischen Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen und DES Varianten Berechnungen außerhalb der Messpunkte (ca. 30 km) am Tag für den Monat Oktober 2010 in dB. Die angegebenen Abweichungen wurden den Rasterlärnkarten entnommen und weisen daher keine Nachkommastellen auf.

	$\Delta L_{pA,eq,Tag}$ [dB]
Radardatenberechnung - DES Berechnung ohne Streckenverlängerung	-3 bis +5
Radardatenberechnung - DES Berechnung mit linear verlängerten Abflugstrecken	-3 bis +3
Radardatenberechnung - DES Berechnung mit verlängerten Abflugstrecken aus Radardaten	-3 bis +3

Die Grundlagenermittlung hat gezeigt, dass die Berechnung der Luftverkehrsgeräusche in der NORAH-Studie basierend auf dem DES zur Planfeststellungsuntersuchung (PFU) mit Streckensystem bis 09.03.2011 nicht ohne Verlängerung der Flugspuren durchgeführt werden kann, da dies Abweichungen von mehr als 5 dB im Untersuchungsgebiet zur Folge hätte. Daher werden die Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche anhand von Radarbahnen von Einzelflügen unter Berücksichtigung aller Parameter (x , y , z und v) durchgeführt. Neben diesen akustischen Gründen sprachen auch folgende organisatorische und finanzielle Gründe für die Lärmberechnung anhand von Radardaten:

- Die im Studienmodul 2 erforderliche Berechnung der Luftverkehrsgeräusche für die Jahre 1996 bis 2010 kann nur auf der Grundlage vorhandener STANLY-Tracks durchgeführt werden. DESe für die Berechnung nach AzB liegen für diese Jahre nicht vor. Eine Erstellung von geeigneten DEsen für diese Jahre hätte einen erheblichen finanziellen und zeitlichen Aufwand zur Folge gehabt, sodass auch unter diesem Gesichtspunkt die Berechnung mit Radarbahnen von Einzelflügen vorzuziehen ist. Zudem ergibt die Berechnungsmethode auf Grundlage von Einzelflügen die Möglichkeit differenzierte Teilzeiten (z. B. Stundenwerte) zu berechnen.
- Mit Hilfe der Grundlagenuntersuchung können auch zu späteren Zeitpunkten Re-Analysen unter direkter Verwendung von Einzelflügen aus Radardaten oder DEsen durchgeführt werden.
- Die im Rahmen der Grundlagenermittlung erstellten provisorischen Expositions-Wirkungsanalysen zur Luftverkehrsgeräuschbelastung zeigen, dass die nach DES Berechnung und FANOMOS Berechnung erzeugten Expositions-Wirkungskurven zwar Abweichungen aufweisen, dies jedoch innerhalb der Konfidenzintervalle (Schreckenberg, 2013) liegen. Gleiches kann auch für Berechnungen auf Grundlage der STANLY-Tracks angenommen werden, da die Abweichungen zwischen STANLY und FANOMOS Berechnungen im Mittel (vgl. Tabelle 4-5 bzw. Abbildung 4-13) gering sind. Somit führen Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche auf der Grundlage dieser beiden Radardaten zu vergleichbaren Ergebnissen.

5 Prüfung der Plausibilität der Berechnungsergebnisse

5.1 Allgemein

Alle Daten, die im Rahmen der Studie erhoben und weiter verarbeitet wurden, werden mehrfach visuell und mit Hilfe speziell für diesen Zweck entwickelter Methoden überprüft. So werden beispielsweise im akustischen Modell zu Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen Höhenlinien angezeigt oder die Straßen- und Schienenstreckenverläufe im Aufriss dargestellt, um Auffälligkeiten in den Höhen festzustellen. Durch die Aufriss-Darstellung wird auch die Zuweisung der richtigen Gradienten von Schallschutzwänden geprüft. Anhand von Rasterlärmkarten, die mittels freier Schallausbreitung berechnet wurden, werden die Emissionen im Nahbereich von Straßen und Schienen auf Auffälligkeiten geprüft. Unplausible Steigungen, die sich aus Unstetigkeiten im Geländemodell ergeben, werden aus dem Modell eliminiert. Verbliebene Zuschläge für Steigungen > 10 % werden im Rechenmodell automatisch auf einen Wert entsprechend 10 % Steigung begrenzt. Mit einer speziellen Prüfung werden alle Gebäude markiert, die durch visuelle Prüfung augenscheinlich zu nah an den Emissionsbändern liegen. Die entsprechenden Straßen werden auf der Basis visueller Prüfung mittels Google Earth verschoben oder deren Fahrbahnbreiten reduziert. Fassadenpegel werden nur für die Gebäude berechnet, in denen Probanden wohnen. Unstimmigkeiten, wie z. B. nicht eindeutige Zuordnung, entstanden bei der Verschneidung der Hausumringe mit den Straßennamen bzw. Hausnummern. Die Umsetzung der geometrischen Daten und der Verkehrsmengendaten in ein akustisches Modell und die darauf aufbauenden akustischen Berechnungen werden anhand eines Pilotgebietes getestet. Zu diesem Zweck wird für die Stadt Hanau eine erste Rasterberechnung zur Überprüfung der Vorgehensweise durchgeführt (siehe folgende Abbildung 5-1).

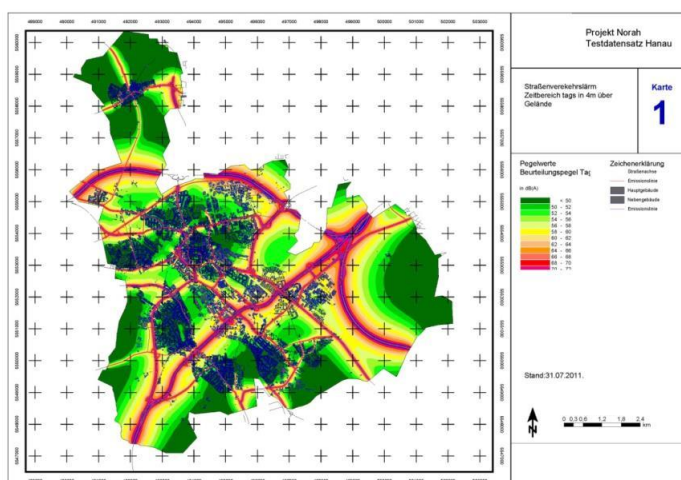


Abbildung 5-1: Rasterberechnung Pilotgebiet Hanau

Anhand der Rasterberechnung wird eine visuelle Plausibilitätskontrolle zur Prüfung der Vollständigkeit des Straßen- und Schienennetzes sowie der Gebäudedaten durchgeführt. Dabei wird u. a. geprüft, ob alle Straßen des Verkehrsnetzes, die ein relevantes Verkehrsaufkommen erwarten lassen, sich durch Emissionsbänder in den Rasterkarten widerspiegeln. Bei den Berechnungsergebnissen für den Untersuchungsraum Frankfurt werden aufgrund der Größe des Rechengebiets und der Zahl der Fassadenpegelberechnungen überwiegend visuelle Plausibilitätsprüfungen der Rechenergebnisse durchgeführt. Dabei werden für die drei Quellenarten folgende Darstellungen angefertigt und hinsichtlich Plausibilität geprüft:

- Darstellung der Mittelungspegel als farbige Isoflächendarstellung zusammen mit den Verkehrswegen;
- Differenzdarstellung von Mittelungspegel zu Maximalpegel;
- Differenzdarstellung der Mittelungspegel für unterschiedliche Berechnungsjahre;

5.2 Luftverkehr

Zur Prüfung der Berechnung der Luftverkehrsgeräusche auf Plausibilität werden an jedem Berechnungspunkt die Häufigkeiten der Maximalpegel aus der Häufigkeitsverteilung über alle Pegelklassen aufsummiert. Summiert man alle Häufigkeiten über die Pegelklassen auf, muss sich die Gesamtzahl der Häufigkeiten, d. h. die Gesamtzahl der berücksichtigten Flugereignisse ergeben. Erwartet wird, dass im Nahbereich des Flughafens alle ca. 1.300 Flüge täglich berücksichtigt werden und die Gesamtzahl mit zunehmendem Abstand vom Flughafen abnimmt, da das Rechenmodell Abbruchkriterien in Form eines einstellbaren Suchradius zur Berücksichtigung von Flügen beinhaltet. (Beispielsweise werden an einem Immissionsort im Norden des Gebiets Abflüge der Startbahn 18 nach Süden nicht mehr berücksichtigt). In Abbildung 5-2 ist die aufsummierte Gesamtzahl der Maximalpegel über die Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung in Klassen dargestellt. Farblich gelb gekennzeichnet sind mehr als 1.000 Ereignisse (insgesamt treten etwa 1.300 Flüge/Tag auf), grün 500 bis 1.000 Ereignisse und rot weniger als 500 Ereignisse. Die Zahl der Ereignisse nimmt mit dem Abstand zum Flughafen ab. Eine Korrektur ist nicht erforderlich. Zudem werden die Berechnungen für das Referenzjahr 2005 mit dem Abschlussbericht zur Lärmkartierung Hessen 2007 (Kempiak & Petz, 2007) verglichen. Bei dem Vergleich werden keine Unplausibilitäten ermittelt.

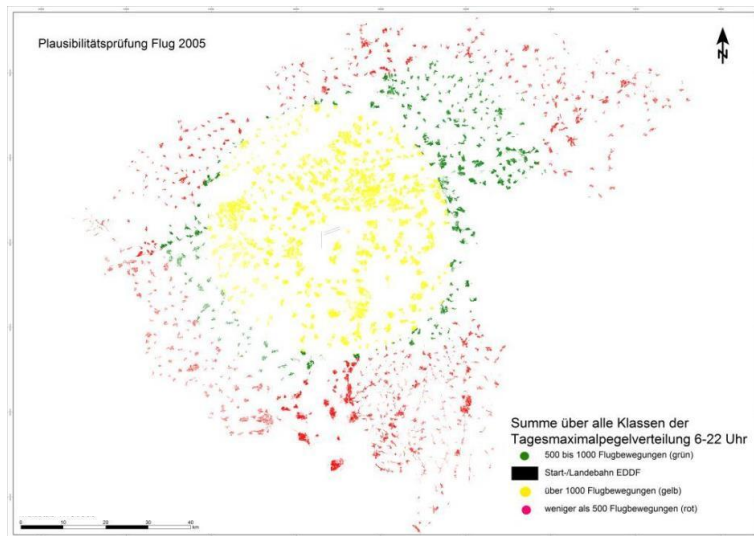


Abbildung 5-2: Plausibilitätsprüfung zur Erfassung der Flugbewegungen exemplarisch für 2005 im Zeitfenster 06:00 - 22:00 Uhr

5.3 Straßenverkehr

Zur Prüfung der Straßenverkehrsgeräuschberechnungen auf Plausibilität (z. B. keine Maximalpegel geringer als Mittelungspegel) werden an jedem Berechnungspunkt die Differenzen zwischen Maximalpegel und Mittelungspegel für die Nacht gebildet und in folgende Klassen eingeteilt:

- $\Delta L > 20$ dB,
- $0 \text{ dB} < \Delta L \leq 20$ dB,
- $\Delta L < 0$ dB (Maximalpegel geringer als Mittelungspegel).

Beispielhaft wird dieses Vorgehen anhand der Straßenlärmrechnung für das Jahr 2005 betrachtet. In nachfolgender Abbildung 5-3 sind die in Klassen eingeteilten Differenzen zwischen Maximalpegel und Mittelungspegel graphisch dargestellt. Farblich grün gekennzeichnet sind Differenzen zwischen 0 dB und + 20 dB, gelb von mehr als 20 dB und rot von weniger als 0 dB (Maximalpegel geringer als Mittelungspegel). Kritisch sind insbesondere rote Bereiche, in denen der Maximalpegel unter dem Mittelungspegel liegt. Die Berechnung des Maximalpegels erfolgt auf Grundlage der Vorbeifahrt eines Lkw (Punktschallquelle) an der nächstgelegenen Straße. Der Mittelungspegel wird demgegenüber aus den Einwirkungen aller relevanten Straßen (Linien-schallquellen) berechnet. Liegt ein Immissionsort im Einwirkungsbereich mehrerer Straßen und führt keine der Straßen in unmittelbarer Nähe vorbei, kann aufgrund des Rechenverfahrens ein geringerer Maximalpegel (der ausgehend von der nächstgelegenen Straße berechnet wird) resultieren als der Mittelungspegel mehrerer Straßen. Dies ist aufgrund des verwendeten Rechenverfahrens möglich. Dennoch liegt am Immissionsort in der Realität der Maximalpegel nicht unterhalb des Mittelungspegels. In diesem Fall wird der Maximalpegel korrigiert, d. h. dem Mittelungspegel gleichgesetzt. Eine Korrektur der Maximalpegel ist an 145.190 Immissionsorten erforderlich. Dies entspricht etwa 17 % aller Immissionsorte.

Differenzen zwischen Maximalpegel und Mittelungspegel größer als 20 dB können nur in Nahbereichen von Straßen bei geringer Verkehrsmenge auftreten. Die dargestellten gelben Berechnungspunkte entsprechen diesen Erwartungen.

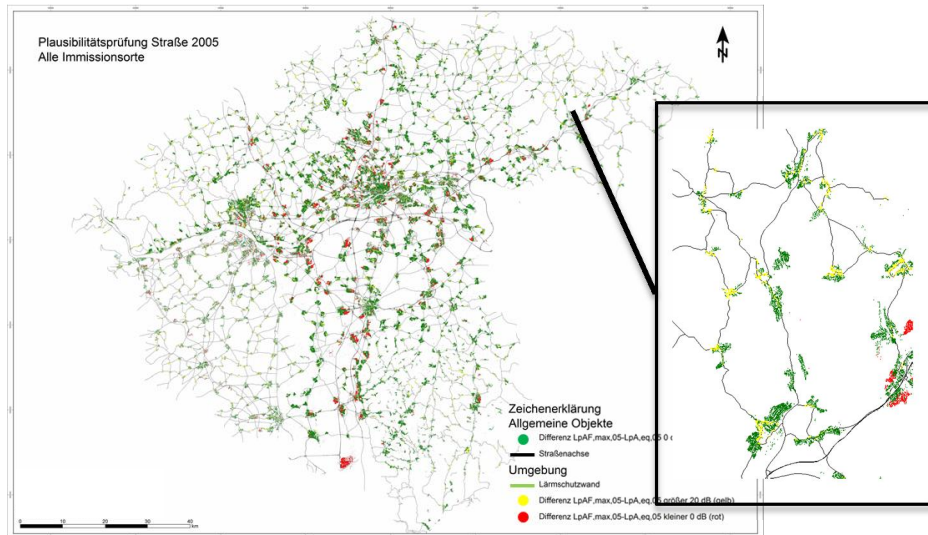


Abbildung 5-3: Plausibilitätsprüfung der Straßenlärmberechnung exemplarisch für 2005

5.4 Schienenverkehr

Zur Prüfung der Schienenverkehrslärmberechnungen auf Plausibilität wird exemplarisch die zeitliche Veränderung der Mittelungspegel dargestellt. Nachfolgende Abbildung 5-4 enthält die Differenz der Mittelungspegel durch Schienenverkehr zwischen den Erhebungsjahren 2010 und 2007. Farblich grün gekennzeichnet sind Veränderungen von weniger als 5 dB. Bei größeren Abweichungen ist je nach Veränderungsrichtung eine andere farbliche Kodierung gewählt. Veränderungen von mehr als 5 dB sind alleine durch Änderung der Verkehrsmengen nicht zu erwarten. Daher wird in den farblich abweichend codierten Bereichen die Emission der im Verlauf anschließenden Strecke der beiden Erhebungsjahre verglichen und auf Plausibilität geprüft. Bei Unplausibilitäten werden daraufhin die Emissionen der Schienenstrecken korrigiert. Dies wirkte sich auf 22.172 Immissionsorte - ca. 3 % aller Immissionsorte - aus. Wie beim Straßenverkehr wird geprüft, ob der Maximalpegel über dem Mittelungspegel lag. War dies nicht der Fall, wird der Maximalpegel korrigiert, d. h. dem Mittelungspegel gleichgesetzt. Der Maximalpegel wurde an 2.185 Immissionsorten - etwa 0,3 % aller Immissionsorte - nachbearbeitet, indem der Maximalpegel an den Mittelungspegel angepasst wurde.

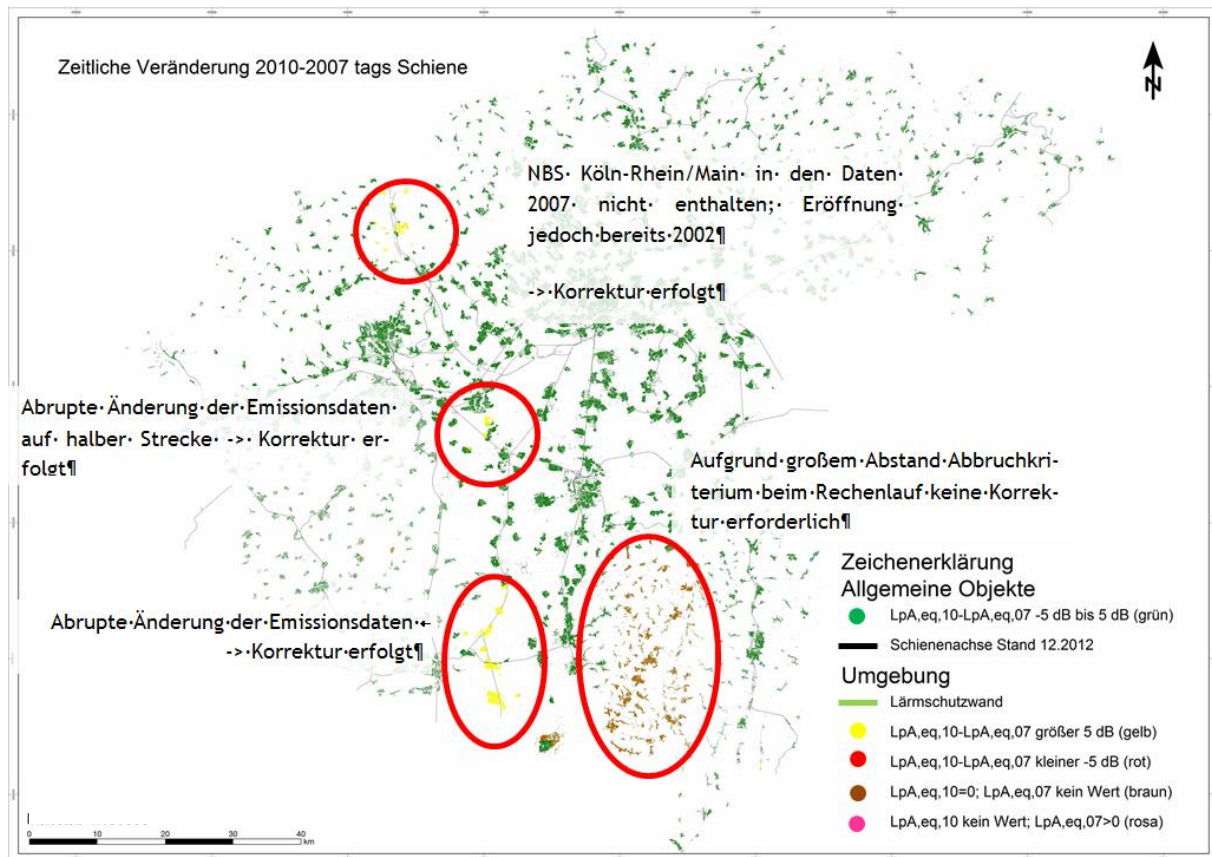


Abbildung 5-4: Plausibilitätsprüfung der Schienenberechnungen exemplarisch anhand der zeitlichen Veränderung des Mittelungspegels zwischen 2010 und 2007

6 Ermittlung der Berechnungsunsicherheit

6.1 Motivation und Anlass zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit

In Studien, in denen Expositions-Wirkungsbeziehungen untersucht werden, sind in den statistischen Auswertungen unseres Wissens nach bisher nur die Unsicherheiten in der Wirkung berücksichtigt worden; dagegen wurden Unsicherheiten der Exposition nicht betrachtet. Die in Lärmwirkungsstudien verwendeten Expositionen, meist akustische Kennwerte, weisen jedoch eine Unsicherheit auf, die die Ergebnisinterpretation beeinflussen können. Unsicherheiten oder auch Zufallsfehler sind generell in akustischen Kenngrößen enthalten, unabhängig davon, ob es sich um berechnete oder um gemessene Pegelkenngrößen handelt. Die messbedingte Unsicherheit ergibt sich bereits aufgrund der Unsicherheit der Messgeräte; sie wird aber noch durch die umgebenden Messbedingungen, d. h. (in der Regel stochastische) Schwankung der Emission, der Witterungsbedingungen und der Fremdgeräusche erhöht. Berechnungen gehen dagegen von akustischen Modellen aus, welche die Situation annähern. In beiden Fällen ist bei der Ermittlung der akustischen Belastung immer eine Unsicherheit enthalten, auch wenn dies nicht immer explizit erwähnt wird. Da diese Unsicherheit die Beziehung zwischen Exposition und Wirkung beeinflussen kann, wird diese Unsicherheit im Rahmen der NORAH Studie bewusst quantifiziert, um deren Auswirkungen auf die Studienergebnisse darzustellen und somit zu einer höheren Transparenz beizutragen. Im Folgenden wird daher ein Vorschlag unterbreitet, wie die Unsicherheit in der Exposition in die interdisziplinären Auswertungen einfließen kann. Zu diesem Zweck werden zunächst die Unsicherheiten in den akustischen Kennwerten für die maßgeblichen Parameter, welche die Emission, die Transmission und die Immission betreffen, jeweils getrennt für die Verkehrsgeräuschquellen Flug, Straße, Schiene beschrieben und quantifiziert. In einem zweiten Schritt werden die Auswirkungen der ermittelten Unsicherheiten auf die Ermittlung der Exposition-Wirkungsbeziehung des Studienmoduls 3 beispielhaft dargestellt und interpretiert. Die Ausarbeitungen zur Unsicherheit bei der Bestimmung der Expositionsgröße beziehen sich in vorliegender Untersuchung jedoch ausschließlich auf die hier gewählten Vorgehensweisen und Berechnungsmethoden. Eine allgemeingültige Übertragbarkeit auf andere Methoden zur Ermittlung der Exposition (insbesondere auf Messungen) ist damit nicht gegeben. Ebenso lässt sich die in Kapitel 6.7 dargestellte Auswirkung auf Expositions-Wirkungs-Kurven nicht automatisch auf andere Variablen oder Module übertragen.

6.2 Modell zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit

Das Modell zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit geht davon aus, dass bei der Erstellung der für Schallberechnungen erforderlichen Rechenmodelle (dreidimensionale Modellierung der Ausbreitung des Schalls) zufällige Abweichungen von der realen Situation auftreten können, die durch die Wahl der Eingabedaten, Vereinfachungen oder Fehler bei der Modellierung der Gegebenheiten oder durch systembedingte Unsicherheiten der Modellie-

ung entstehen. Die Bezugsgröße bei der Ermittlung der Berechnungsunsicherheit ist der wahre, jedoch unbekannte Belastungswert, der sich für den jeweils betrachteten Immissionsort bei genauer Kenntnis und Modellierung aller berechnungsrelevanter Randbedingungen für den jeweiligen Zeitraum ergeben würde. Nicht Bestandteil der vorliegenden Ermittlung der Berechnungsunsicherheit ist die Abweichung der zugrundeliegenden Rechenalgorithmen zu Messergebnissen (Messungen selbst sind bereits einer Messunsicherheit unterworfen). Ebenso gehen kurz- und mittelfristige Schwankungen der Mittelungspegel nicht weiter in die Betrachtungen der Berechnungsunsicherheit ein. Da im Rahmen der NORAH-Studie überwiegend langfristige Wirkungen von Verkehrsgeräuscheinwirkungen betrachtet werden, sollen in den Pegelkenngrößen auch über langfristige Zeiträume gemittelte Kenngrößen (z. B. Jahresmittelungspegel) betrachtet werden. Schwankungen der Mittelungspegel zwischen einzelnen Tagen der Untersuchungszeiträume (z. B. aufgrund schwankender Verkehrsmenge oder meteorologischer Bedingungen) bleiben bewusst unberücksichtigt. Im Falle der Boden- und Meteorologiedämpfung gibt die DIN ISO 9613-2 eine geschätzte Unsicherheit für Pegel von Breitbandquellen bei ungehinderter Schallausbreitung an. Diese beträgt ± 3 dB und wird für die vorliegende Betrachtung als Maß für die zeitlich schwankenden Ausbreitungsbedingungen übernommen. Das Modell zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheit berücksichtigt die Parameter, die in die Rechenalgorithmen nach AzB (Berechnung mit Einzelflugsimulation auf Basis von Radartspuren) für Luftverkehrsgeräusche, VBUS für Straßenverkehrsgeräusche und VBUSch für Schienenverkehrsgeräusche eingehen. Um eine für diese drei Rechenalgorithmen vergleichbare Vorgehensweise zu erreichen, wird von einem Modell ausgegangen, das den für den Probanden ermittelten Immissionspegel als Funktion

- der Beschreibung der Quelle (Emission);
- der Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg (Transmission) und
- der Festlegung des Immissionsorts (Immission)

beschreibt.

Vereinfacht kann dieser Zusammenhang mit folgender Formel beschrieben werden:

$$L_{pi} = L_{pe} + K_Q + \sum A_i + K_{IO} \quad (6)$$

mit:

L_{pi}	Pegel am Immissionsort
Emission	
L_{pe}	Pegel zur Beschreibung der Emission
K_Q	Korrekturen zur Beschreibung der Quelle
Transmission	
$\sum A_i$	Dämpfungsterme aufgrund der Einflüsse i auf dem Ausbreitungsweg
Immission	
K_{IO}	Korrekturen zur Beschreibung des Immissionsortes (z. B. Lage des maßgeblichen Fensters am Gebäude oder Abschätzung des Innenpegels)

Folgende Einflussfaktoren werden in die Ermittlung der Berechnungsunsicherheit einbezogen:

Tabelle 6-1: Einflussfaktoren auf die Berechnungsunsicherheit für die drei Verkehrsgeräuscharten

Wirkungsbereich	Geräuschquelle	Einflussfaktoren
Emission	Flug	Emissionspegel, Richtwirkung, Geschwindigkeit, Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung
	Straße	Emissionspegel, Richtwirkung, Geschwindigkeit, Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung, Fahrbahnbelag
	Schiene	Emissionspegel, Richtwirkung, Geschwindigkeit, Verkehrsmenge, Verkehrszusammensetzung, Schienenzustand
Transmission	Flug	Abstandsmaß, Atmosphärische Dämpfung, Bodendämpfung, Abschirmung,
	Straße	Abstandsmaß, Boden- und Meteorologiedämpfung, Abschirmung, Reflexionen
	Schiene	Abstandsmaß, Boden- und Meteorologiedämpfung, Abschirmung, Reflexionen
Immission	Flug	Schalldämmung Außenbauteile
	Straße	Lage der maßgeblichen Fenster am Gebäude, Schalldämmung Außenbauteile
	Schiene	Lage der maßgeblichen Fenster am Gebäude, Schalldämmung Außenbauteile

Auf eine spektrale Betrachtung der Berechnungsunsicherheit wird im Folgenden verzichtet. Es wird lediglich eine Betrachtung auf Basis von A-bewerteten Summenpegeln angestellt. Dies erscheint im Hinblick auf das Rechenergebnis ausreichend. Bei der Ermittlung der Unsicherheit sind die Anteile A_i , die Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg (Transmission) und damit deren Unsicherheiten, abhängig vom Abstand zwischen Quelle und Immissionsort, während die Emissions- und Immissionsbeschreibung unabhängig vom Abstand bleiben. Die Beschreibung der Abstandsabhängigkeit wird im Folgenden auf Grundlage von drei (quellspezifischen) typischen Abständen, die dem untersuchten Pegelbereich entsprechen, ermittelt und zwischen diesen drei Stützpunkten interpoliert. Bei der Bildung der Gesamtunsicherheit (gemäß folgendem Kapitel) ergibt sich somit ebenfalls eine Abstandsabhängigkeit der Gesamtunsicherheit. Die Auswirkungen dieser Berechnungsunsicherheit auf die Ergebnisse der Studienmodule werden exemplarisch am Beispiel des Studienmoduls 3 untersucht. Die Ergebnisse der Studien werden zumeist in Funktion der Pegelhöhe als Expositions-Wirkungs-Beziehungen präsentiert. Um den Einfluss der Berechnungsunsicherheit auf die Expositions-Wirkungs-Beziehungen darstellen zu können, muss die Berechnungsunsicherheit abhängig von der Höhe des berechneten Pegels anstelle des Abstands bestimmt werden. Für diese Darstellung sind die Berechnungsunsicherheiten, nachdem sie abstandsabhängig bestimmt wurden, durch einen mittleren (quellspezifischen) Zusammenhang zwischen Abstand und Pegelhöhe in pegelhöhenabhängige Berechnungsunsicherheiten zu transformieren. Die Methodik zur Ermittlung des Einflusses der Berechnungsunsicherheit auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen wird in Kapitel 6.7 exemplarisch an den Ergebnissen von Studienmodul 3 dargestellt.

6.3 Allgemeine Methodik zur Unsicherheitsbestimmung

Die Grundlage zur Bildung eines Modells zur Quantifizierung der Berechnungsunsicherheit ist durch die in DIN SPEC 45660-1 (2014) genannten Zusammenhänge gegeben.

Demnach wird eine Kenngröße Y aus N Eingangsgrößen $X_1, X_2, \dots, X_N$ durch eine funktionale Beziehung f berechnet (siehe DIN SPEC 45660-1, 2014).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad (7)$$

Jede Eingangsgröße kann anhand von Verteilungsdichtefunktionen charakterisiert werden, deren Erwartungswert oder auch Mittelwert als bester Schätzwert für den Wert der Eingangsgröße dient. Als Maß für die Streuung der Eingangsgrößen wird die Standardabweichung oder Standardunsicherheit definiert. Sofern angenommen werden kann, dass die Eingangsgrößen zur Berechnung der Kenngröße y nicht korrelieren - also unabhängig voneinander sind -, lässt sich die kombinierte Standardunsicherheit wie folgt bestimmen (siehe DIN SPEC 45660-1, 2014).

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 * u^2(x_i)} \quad (8)$$

$u_c(y)$	kombinierte Standardunsicherheit der Realisierung der Kenngröße y
$u(x_i)$	Standardunsicherheit des Schätzwertes x_i
c_i	Sensitivitätskoeffizient

Die Sensitivitätskoeffizienten c_i berechnen sich durch partielle Ableitung der Funktion f aus Gleichung (7) nach den Eingangsgrößen x_i gemäß folgendem Zusammenhang (siehe DIN SPEC 45660-1, 2014).

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (9)$$

Gemäß DIN SPEC 45660-1 kann die Unsicherheit $u_c(y)$ einer Kenngröße anhand von Ringversuchen ermittelt oder aus Erfahrungswerten berechnet werden. Ist die Unsicherheit $u_c(y)$ einer Kenngröße bestimmt, so ist zur Ergebnisdarstellung die erweiterte Unsicherheit U zu berechnen (siehe DIN SPEC 45660-1, 2014).

$$U = k * u_c \quad (10)$$

Der in Gleichung (10) angegebene Faktor k ist der sogenannte Erweiterungsfaktor, der von der Verteilung der Kenngröße und dem Vertrauensniveau abhängt. Die Pegel sind in der Regel normalverteilt. Nachfolgende Tabelle enthält Erweiterungsfaktoren für verschiedene Vertrauensniveaus (siehe DIN SPEC 45660-1, 2014).

Tabelle 6-2: Erweiterungsfaktor für verschiedene Vertrauensniveaus bei ein- und zweiseitigen Tests bei Normalverteilung (DIN SPEC 45660-1, 2014)

Erweiterungsfaktor k	Vertrauensniveau für zweiseitige Tests in %	Vertrauensniveau für einseitige Tests in %
1,0	68	84
1,3	80	90
1,6	90	95
2,0	95	97,5

Nach DIN SPEC 45660-1 (2014) sind Kenngrößen in folgender Form anzugeben:

$$Y = y \pm U \quad (11)$$

Da die akustischen Kenngrößen im Rahmen der NORAH-Studie auf Basis von Prognoseberechnungen ermittelt werden, wird zur Ermittlung der Unsicherheiten der Eingangsgrößen $u(x_i)$ auf Erfahrungswerte bzw. Schätzungen zurückgegriffen. In vorliegender Untersuchung werden die Ergebnisse zur Bestimmung der Unsicherheit dargestellt. Die Ermittlung der Unsicherheiten der einzelnen Einflussfaktoren ist im Einzelnen dem Anhang 4, Anhang 5 und Anhang 6 zu entnehmen. Der Beitrag einzelner Einflussgrößen auf die Gesamt-Berechnungsunsicherheit wird durch die Sensitivitätsfaktoren c_i bewertet. Hierzu sind umfangreiche Untersuchungen zur Abhängigkeit der Berechnungsfunktion f von der jeweiligen Einflussgröße x_i (siehe Gleichung (9)) erforderlich. In vorliegender Untersuchung werden zur Vereinfachung die Sensitivitätsfaktoren mit $c_i = 1$ angenommen. Tatsächlich können Korrelationen zwischen den Einflussfaktoren zu einer Reduktion der Gesamtunsicherheit führen, wenn sich einzelne gegenläufige Unsicherheiten untereinander aufheben. Dies ist z.B. auch bei den Unsicherheiten durch die Genauigkeit der Positionsangaben bei Radardaten der Fall, da sich die unterschiedlichen Abweichungen (zu nah bzw. zu weit geschätzt) in der Regel gegenseitig in ihrer Wirkung auf die Belastungsgröße (Mittelungspegel) aufheben. Die getroffene Annahme von Sensitivitätsfaktoren von $c_i = 1$ stellt somit eine Abschätzung der maximalen Berechnungsunsicherheit dar. Die im Folgenden dargestellten Berechnungsunsicherheiten werden in Bezug auf die Berechnung des Mittelungspegels ermittelt. Da die Sensitivitätskoeffizienten als obere Abschätzung der Unsicherheit angesehen werden können und die Algorithmen zur Berechnung der Maximalpegel wesentlich auf Teilen der Algorithmen für den Mittelungspegel basieren, wird in erster Näherung davon ausgegangen, dass, im Rahmen dieser Modelle, die Berechnungsunsicherheiten in Bezug auf Maximalpegel innerhalb der hier dargestellten Berechnungsunsicherheiten liegen. Für die erweiterte Unsicherheit U der akustischen Kenngrößen wird der Erweiterungsfaktor mit $k=1$ angewendet, was einem Vertrauensniveau von 68 % für zweiseitige Tests entspricht und für derartige Betrachtungen üblich ist. Daraus ergibt sich für Gleichung (10), in Verbindung mit Gleichung (8), folgender Zusammenhang für die erweiterte Unsicherheit U der akustischen Kenngrößen im Rahmen der NORAH-Studie.

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^N u^2(x_i)} \quad (12)$$

6.4 Dokumentation der akustischen Unsicherheiten für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

Nachfolgende Tabellen zeigen die Resultate der Unsicherheitsabschätzung. Nachfolgende Tabelle enthält Angaben zu den jeweiligen Einflussfaktoren mit Einschätzungen der Unsicherheiten in Abhängigkeit vom Abstand s für Luftverkehrsgeräusche.

Tabelle 6-3: Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheiten für Luftverkehrsgeräusche

	Luftverkehrsgeräusche									
	Abstand s	1.000 m			2.000 m			5.000 m		
		c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$
Emission										
Quellemission	1	3,0	9,0	1	3,0	9,0	1	3,0	9,0	
Richtwirkung	1	1,0	1,0	1	1,0	1,0	1	1,0	1,0	
Geschwindigkeit	1	0,8	0,6	1	0,8	0,6	1	0,8	0,6	
Verkehrsmenge	1	0,4	0,2	1	0,4	0,2	1	0,4	0,2	
Verkehrszusammensetzung	1	0,7	0,5	1	0,7	0,5	1	0,7	0,5	
Transmission										
Abstandsmaß (Positionsangabe)	1	0,9	0,8	1	0,4	0,2	1	0,2	0,0	
Abstandsmaß (Höhenkorrektur)	1	0,0	0,0	1	0,8	0,6	1	0,3	0,1	
Luftabsorption	1	0,5	0,3	1	0,5	0,3	1	0,5	0,3	
Bodendämpfung	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	1	0,1	0,0	
Abschirmung	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	
Reflexion	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	
Immission										
Lagegenauigkeit der Adresse	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	
Kombinierte Standardunsicherheit		3,5			3,5			3,4		

Nachfolgende Tabelle enthält Angaben zu den jeweiligen Einflussfaktoren mit Einschätzungen der Unsicherheiten in Abhängigkeit vom Abstand s für Straßenverkehrsgeräusche.

Tabelle 6-4: Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheit für Straßenverkehrsgeräusche

	Straßenverkehrsgeräusche									
	Abstand s	20 m			200 m			500 m		
		c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$
Emission										
Eingabefehler	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	
Quellemission	1	1,9	3,6	1	1,9	3,6	1	1,9	3,6	
Richtwirkung	1	0	0,0	1	0	0,0	1	0	0,0	
Geschwindigkeit	1	0,7	0,5	1	0,7	0,5	1	0,7	0,5	
Verkehrsmenge	1	1	1,0	1	1	1,0	1	1	1,0	
Fahrbahnbelag	1	0,6	0,3	1	0,6	0,3	1	0,6	0,3	
Transmission										
Lage der Quelle	1	1,8	3,2	1	0,1	0,0	1	0	0,0	
Boden- und Meteorologie	1	1,7	2,9	1	1,7	2,9	1	1,7	2,9	
Abschirmung durch Bebauung	1	0	0,0	1	1,5	4,4	1	0,2	0,0	
Abschirmung durch LSW	1	1,1	2,3	1	0,1	0,0	1	0,2	0,0	
Reflexion	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	
Immission										
Lagegenauigkeit der Adresse	1	1,8	3,2	1	0,1	0,0	1	0	0,0	
Kombinierte Standardunsicherheit		4,1			3,4			3,0		

Nachfolgende Tabelle enthält Angaben zu den jeweiligen Einflussfaktoren mit Einschätzungen der Unsicherheiten in Abhängigkeit vom Abstand s für Schienenverkehrsgeräusche.

Tabelle 6-5: Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheit für Schienenverkehrsgeräusche

	Schienenverkehrsgeräusche									
	Abstand s	40 m			200 m			500 m		
		c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$	c_i	u_i [dB]	$(c_i * u_i)^2$
Emission										
Quellemission	1	2,9	8,4	1	2,9	8,4	1	2,9	8,4	
Richtwirkung	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	1	0,0	0,0	
Geschwindigkeit	1	1,3	1,7	1	1,3	1,7	1	1,3	1,7	
Verkehrsmenge	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	1	0,3	0,1	
Schienenzustand	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	1	0,9	0,8	
Transmission										
Lage der Quelle	1	1,7	3,2	1	0,1	0,0	1	0,0	0,0	
Boden- und Meteorologie	1	1,7	2,9	1	1,7	2,9	1	1,7	2,9	
Abschirmung durch Bebauung	1	0,0	0,0	1	0,7	0,5	1	0,6	0,4	
Abschirmung durch LSW	1	1,3	1,7	1	0,9	0,8	1	0,2	0,0	
Immission										
Lagegenauigkeit der Adresse	1	1,7	3,2	1	0,1	0,0	1	0,0	0,0	
Kombinierte Standardunsicherheit		4,6			3,9			3,8		

6.5 Unsicherheiten bei der Abschätzung der Innenpegel

Die Abschätzung der Innenpegel erfolgt auf Basis der berechneten Außenpegel für die sogenannte lauteste Fassade. Die weitere Abschätzung ausgehend vom Außenpegel - über die Eigenabschirmung der Gebäude, der Schalldämmung der Außenbauteile und der raumakustischen Eigenschaften der betrachteten Räume - basieren im Weiteren ebenfalls auf Abschätzungen (z. B. hinsichtlich der Eigenabschirmung der Gebäude), auf Angaben der Probanden in Fragebögen und z. T. auf eigenen Erhebungen. Die Einflussfaktoren der Unsicherheit bei der Bestimmung der Innenpegel werden im Folgenden aufgeführt, eine Zusammenfassung zu einer kombinierten Gesamtunsicherheit wie bei den berechneten Außenpegeln erfolgt nicht. Zudem werden die Innenpegelabschätzungen des Studienmoduls 2 (Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken, Blutdruckmonitoring) und des Studienmoduls 3 (Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern) aufgrund der stark unterschiedlichen Zahl der zu betrachtenden Räume basierend auf unterschiedlichen Erhebungswerkzeugen durchgeführt.

Lage des Fensters

Die Lage der Fenster bzw. der beschallten Außenfläche wird bei der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken und beim Blutdruckmonitoring durch Fragebogenitems, in denen die Probanden die Lage im Bezug zur Quelle selbst einschätzen, bestimmt. Dabei werden verbale Kategorisierungen wie „zugewandt“, „abgewandt“ und „seitlich“ zur Quelle verwendet. Die Einordnung der Lage ist daher von dem Probanden abhängig und wird bei der Abschätzung mit Kategorien des Pegelabschlags vom Pegel der „lautesten“ Fassade von 0 dB für „zugewandt“, 5 dB für „seitlich“ und 20 dB für „abgewandt“ berücksichtigt. Bei einer nicht orthogonalen Anordnung des Gebäudes zur Quelle ist einiger Interpretationsspielraum für den Probanden vorhanden. Dies gilt ebenso bei mehreren (wenngleich untergeordneten) Straßen im Umfeld der Probandenwohnung. Im Vergleich zu einer rechnerischen Ermittlung der Gebäudeabschirmung kann daher eine Abweichung von mehr als 10 dB durchaus auftreten. Lediglich im Modul 3 kann von einer differenzierteren Einschätzung durch das Studienpersonal ausgegangen werden.

Schalldämmung der Außenbauteile

Die Ermittlung der Schalldämmung der Außenbauteile erfolgt entweder auf Basis der Angaben zur vorwiegenden Fensterstellung oder auf Basis von Abschätzungen der Mauerstärken und Fenstereigenschaften durch das Studienpersonal. In beiden Fällen ist eine Einschätzung Grundlage für die Abschätzung der Innenpegel. Angaben zu Fenstereigenschaften lassen zwar eine klassifizierte Einschätzung der Schalldämmung der Fenster zu, jedoch gilt diese für einen einwandfreien Zustand der Fenster und Dichtungen. Die Schalldämmung der teilweise älteren Fenster kann altersbedingt mehr oder weniger davon abweichen. Eine detaillierte Bestimmung der Fensterzustände kann im Rahmen der Untersuchung nicht geleistet werden. Ähnliches gilt für die Angaben zur Fensterstellung. Zunächst muss zum einen von Seiten der Probanden eine Einschätzung der „vorwiegenden“ Fensterstellung getroffen werden, zum anderen ist auch die Klassifizierung in „geöffnet“ und „gekippt“ mit

den zugehörigen Werten von 0 dB Pegelminderung und 15 dB Pegelminderung eine Abschätzung. Die tatsächlichen Pegelminderungen dürften gerade bei der gekippten Fensterstellung auch Zwischenwerte annehmen. Insgesamt ist mit einer Unsicherheit mit Werten zwischen 5 und 10 dB zu rechnen. Dies berücksichtigt noch nicht, dass z. B. die Fensterstellung in der Realität keine Konstante ist, sondern zeitlich variiert.

Raumakustische Eigenschaften des untersuchten Raumes

Im Vergleich zu den Unsicherheiten durch die Lage des Fensters oder die Schalldämmung der Außenbauteile hat die raumakustische Eigenschaft bei üblichen Wohnräumen keinen relevanten Einfluss auf die Abschätzung des Innenpegels. Die durch die Nachhallzeit ausgedrückte Raumakustik variiert von Wohnraum zu Wohnraum nur vergleichsweise gering. Übliche Nachhallzeiten liegen bei etwa 0,5 s und variieren nur wenig. Selbst bei einer angenommenen Verdoppelung der Nachhallzeit auf 1,0 s wäre der Einfluss der Unsicherheit aus der Raumakustik mit 3 dB gering im Vergleich zum Einfluss durch die o. g. Faktoren. Lediglich im Bereich für die Klassenräume, bei denen im Falle von akustisch ungünstigen Klassenräumen auch Nachhallzeiten von deutlich mehr als 1 s auftreten können, ist ein relevanter Einfluss zu erwarten. Um diesen zu minimieren, werden im Modul 3 die Nachhallzeiten in den Klassenräumen nicht nur abgeschätzt sondern messtechnisch bestimmt, so dass die Raumakustik auch hier keinen relevanten Einfluss auf die Unsicherheit der Bestimmung der Innenpegel hat (vgl. Anhang 17).

6.6 Kombinierte Unsicherheit im Bezug zur errechneten Höhe des Pegels

Ausgehend von den hier für diskrete Abstände ermittelten Berechnungsunsicherheiten wird eine lineare Interpolation der Berechnungsunsicherheit über den Logarithmus des Abstands durchgeführt, um einen Funktionszusammenhang zu erhalten. Diese Zusammenhänge sind für die drei Verkehrsgeräuscharten in folgender Abbildung 6-1 dargestellt:

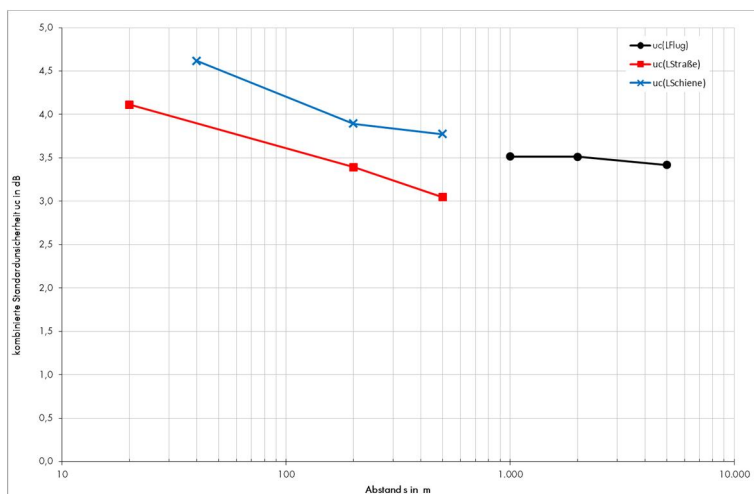


Abbildung 6-1: Zusammenhang zwischen der kombinierten Standardunsicherheit u_c und dem Abstand s für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

Aus den in der Anlage aufgeführten (über die Probanden gemittelten) Zusammenhängen zwischen Abstand und Pegelhöhe erfolgt im Fall des örtlich an eine Straße bzw. Schienentrasse gebundenen Straßen- bzw. Schienenverkehrs eine Transformation des Zusammenhangs zwischen Berechnungsunsicherheit und Abstand auf einen Zusammenhang zwischen Berechnungsunsicherheit und Höhe des berechneten Pegels. Im Falle des Luftverkehrs, bei dem kein einfacher Zusammenhang zwischen Abstand und Pegelhöhe besteht, da die Flugspuren nicht durch Trassen festgelegt sind, wird eine über die aufgeführten Ergebnisse für einzelne Flugspuren in drei Abstandsklassen gemittelte Berechnungsunsicherheit angegeben. Diese wird für alle in dieser Untersuchung vorkommenden Mittelungspegel als näherungsweise konstant angenommen. Um die Transformation für Straßen- und Schienenverkehr durchführen zu können, muss quellspezifisch ein (mittlerer) Zusammenhang zwischen Abstand und Pegelhöhe ermittelt werden. Dieser Zusammenhang wird für die Quellen Straße und Schiene aus den Pegelberechnungen für eine zufällig gezogene Stichprobe von 1.000 Probanden aus dem Untersuchungsgebiet Frankfurt ermittelt. Dazu werden die berechneten Mittelungspegel $L_{pA,eq,Tag}$ und $L_{pA,eq,Nacht}$ einer Verkehrslärmquelle über dem Abstand zur jeweils nächstgelegenen Quelle (Straße oder Schiene) aufgetragen und über die Stichprobe eine Regression über dem logarithmierten Abstand ermittelt. Für den Mittelungspegel Tag sind die Zusammenhänge in folgenden Abbildungen exemplarisch dargestellt.

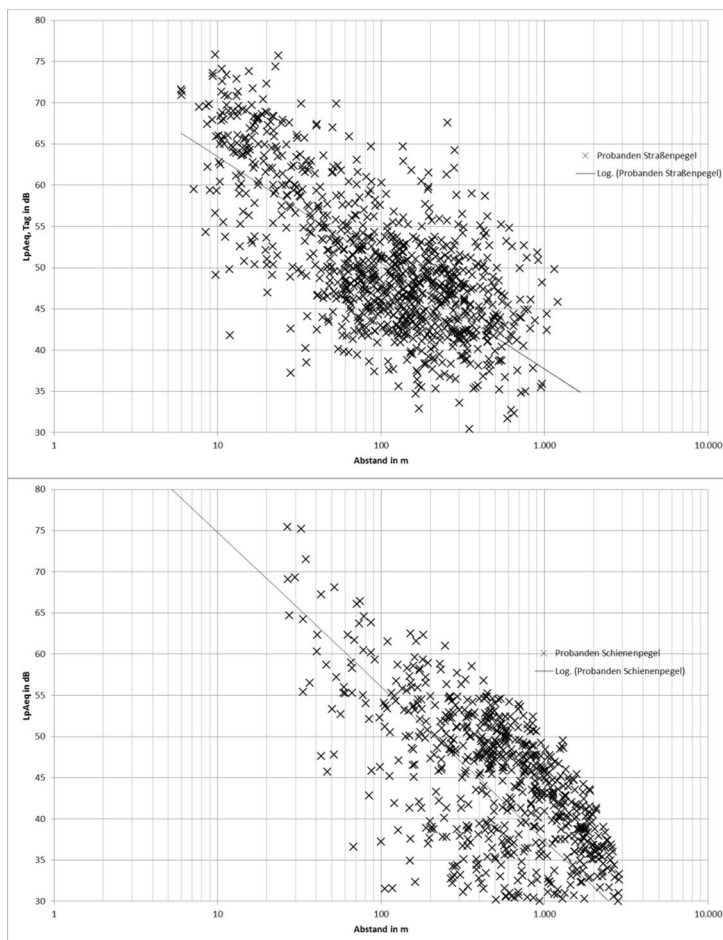


Abbildung 6-2: Zusammenhang zwischen dem quellspezifischen Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ und dem Abstand s für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

Auf Grundlage dieser gemittelten Zusammenhänge zwischen quellspezifischem Mittelungspegel Tag bzw. Nacht und dem Abstand zur Quelle wurde die kombinierte Standardunsicherheit über dem Mittelungspegel Tag bzw. Nacht aufgetragen:

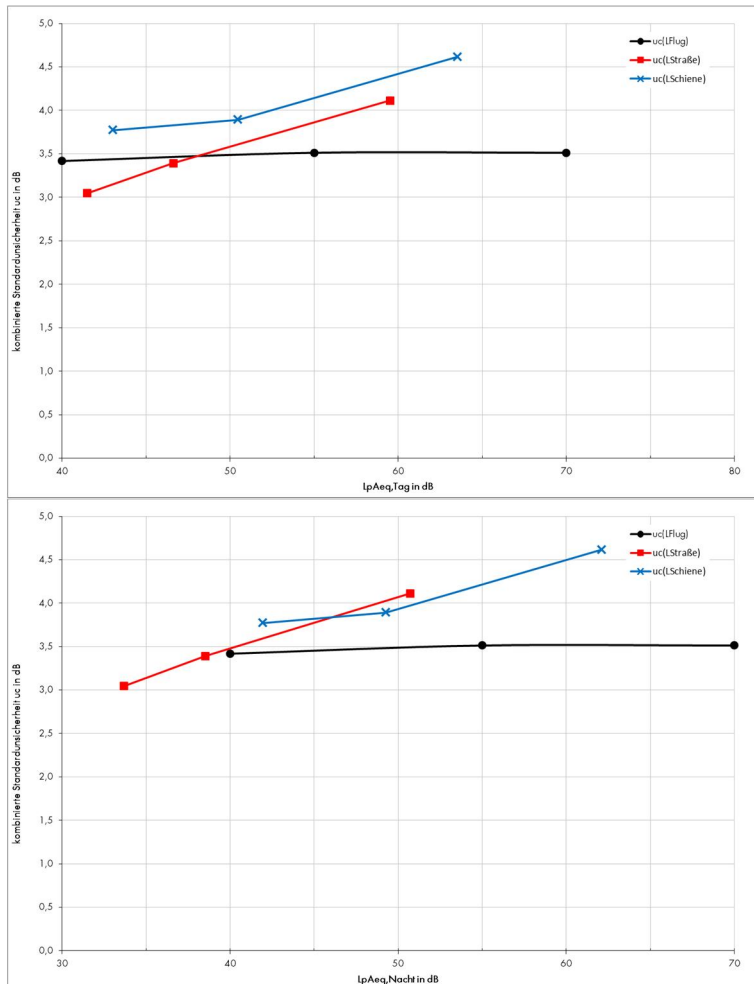


Abbildung 6-3: Zusammenhang zwischen der kombinierten Standardunsicherheit u_c und dem Mittelungspegel Tag bzw. Nacht für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

6.7 Exemplarische Darstellung der Auswirkungen auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen in Studienmodul 3

Die Auswirkungen der Berechnungsunsicherheit auf Expositions-Wirkungs-Beziehungen werden im Folgenden exemplarisch für die Variablen Textverständnis und Wortverständnis des Studienmoduls 3 dargestellt. In folgenden beiden Abbildungen sind die Ausgleichsgeraden für die Wirkungsvariable Textverständnis über dem Mittelungspegel durch Flugverkehrsgeräusche dargestellt.

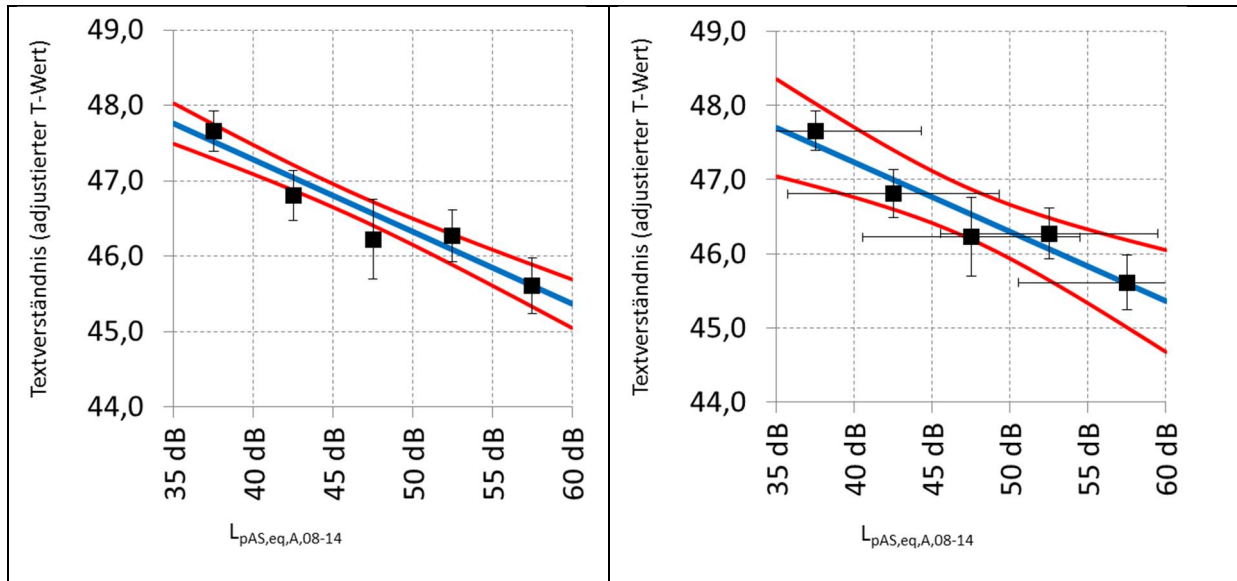


Abbildung 6-4: Zusammenhang zwischen den Variablen Textverständnis (T-Werte ; Normskala des Tests zum Textverständnis) und Mittelungspegel der Flugverkehrsgeräusche an der Schule mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable (links) sowie mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable und der Berechnungsunsicherheit der Exposition durch Flugverkehrsgeräusche (rechts); schwarz: klassierte Ergebnisse mit Unsicherheiten in der Wirkungs- und in der Expositionsvariablen, blau: Ausgleichsgerade mit Konfidenzbereich (rot)

Die Ausgleichsgeraden sind durch die Fitparameter A_0 und A_1 bestimmt, wobei der Parameter A_0 den Achsabschnitt und A_1 die Steigung der Ausgleichsgeraden angibt. Zu diesen Parametern der Ausgleichsgeraden gehört jeweils eine Unsicherheit $u(A_0)$ bzw. $u(A_1)$. Das Vorgehen zur Ermittlung dieser Unsicherheiten (auch unter Berücksichtigung der Unsicherheit der x-Werte) ist in einer Veröffentlichung zur Unsicherheit von Fitparametern bei Ausgleichsrechnungen (Hack, 2002) beschrieben.

Es zeigt sich, dass sich die Unsicherheit bei den Fitparametern der Ausgleichsgeraden erwartungsgemäß erhöht (im Fall der Steigung von 11 % auf 25%), die Parameter der Ausgleichsgeraden sich jedoch nur geringfügig ändern. Die Änderung der Expositions-Wirkungs-Beziehung ist aber "tolerierbar", denn die "neue" Kurve, welche unter Berücksichtigung der Unsicherheiten in X-Richtung berechnet wurde, liegt noch innerhalb des Konfidenzintervalls. Exemplarisch wird im Folgenden auch die Wirkungsvariable Wortverständnis dargestellt:

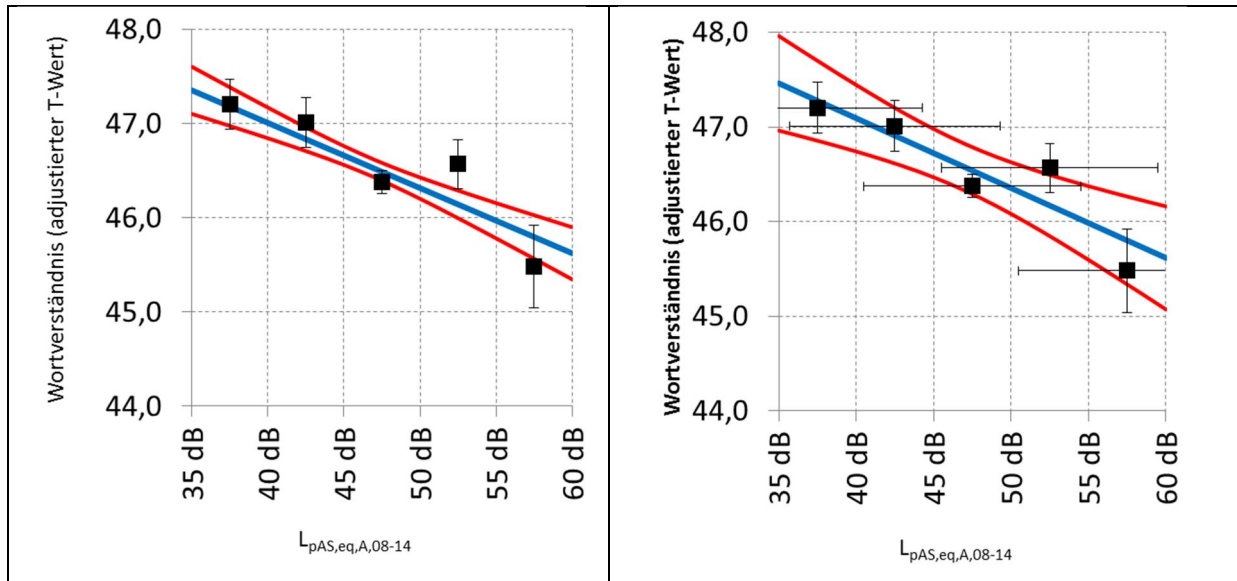


Abbildung 6-5: Zusammenhang zwischen den Variablen Wortverständnis (T-Werte) und Mittelungspegel der Flugverkehrsgeräusche an der Schule mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable (links) sowie mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable und der Berechnungsunsicherheit der Exposition durch Flugverkehrsgeräusche (rechts); schwarz: klassierte Ergebnisse mit Unsicherheiten in der Wirkungs- und in der Expositionsvariablen, blau: Ausgleichsgerade mit Konfidenzbereich (rot)

Es zeigt sich auch hier, dass sich die Unsicherheit bei den Fitparametern der Ausgleichsgeraden ebenfalls erwartungsgemäß erhöht (im Fall der Steigung von 14 % auf 25%) und sich damit der Vertrauensbereich vergrößert, während sich die Lage der Ausgleichsgeraden jedoch nur geringfügig ändert.

7 Studienmodul 1 „Belästigung und Lebensqualität“

7.1 Frankfurt

7.1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung in Studienmodul 1 sieht vor, die akustischen Kenngrößen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr für Frankfurt in verschiedenen Erhebungswellen, verteilt über die Jahre 2010 bis 2013, zu berechnen. Da für die wirkungsseitigen Untersuchungen im Studienmodul 1 lediglich Außengeräusche benötigt werden, werden die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehrsaußengeräuschen mittels Einzelpunktberechnung an den Gebäudeschwerpunktkoordinaten (Koordinaten des Flächenschwerpunktes der Gebäudeumrisse) der jeweiligen Probandenadressen berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.1). Die Außengeräusche aus Straßen- und Schienenverkehr werden zunächst für alle Fassaden der Gebäude berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.2). Für die jeweils benötigten Probandenadressen werden aus den Fassadenberechnungen die Werte der „lautesten“ Fassadenseite als maßgebende Geräuschimmission ausgewählt. Für einen besseren Überblick sind in nachfolgender Tabelle 7-1 die allgemeinen Eckdaten in Frankfurt gegenübergestellt.

Tabelle 7-1: Überblick der allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen in Frankfurt für Studienmodul 1

Erhebungswelle	Erhebungszeit Luftverkehrs- geräusche	Erhebungszeit Stra- ßen- und Schienenver- kehrsgeräusche	Anzahl betrachteter Probandenadressen N
1	01.10.2010 bis 30.09.2011	2011	11.069
2	01.10.2011 bis 30.09.2012	2012	5.357
3	01.10.2012 bis 30.09.2013	2013	5.912
Querschnitt	01.10.2011 bis 30.09.2012	2012	7.113

Anmerkung: Die Gesamtanzahl der Probanden über alle Erhebungswellen wurde um insgesamt 29 Probanden verringert, da jede Erhebungswelle Probanden enthielt, deren Adressangaben entweder unvollständig waren oder außerhalb des Modellbereichs des Studienmoduls 1 lagen. Für diese 29 Probanden wurden im Rahmen des Studienmoduls 1 keine Berechnungen zu Straßen-, Schienen- und Luftverkehr durchgeführt. Umzüge von Probanden innerhalb des Untersuchungsraums werden im Modell berücksichtigt. Die Umzüge von Probanden können bei der Berechnung der Luftverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeiten zum konkreten Monat berücksichtigt werden, da die zeitliche Auflösung der Radarbahnen dies zulässt. In diesem Fall werden die Pegel bis zum Umzugsmonat für den alten Wohnort und ab dem Umzugsmonat für den neuen Wohnort berechnet. Die Jahrespegel werden dann aus einer zeitlich gewichteten Mittelung der Pegel der beiden Wohnorte be-

rechnet. Für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche können Umzüge lediglich zum Ende der Erhebungszeiten berücksichtigt werden, d. h. die Pegel werden erst bei der dem Umzug folgenden Erhebungswelle an neuen Wohnort berechnet.

Eine Übersicht über die georeferenzierte Lage der Probanden aus Studienmodul 1 ist in Abbildung 7-1 dargestellt.

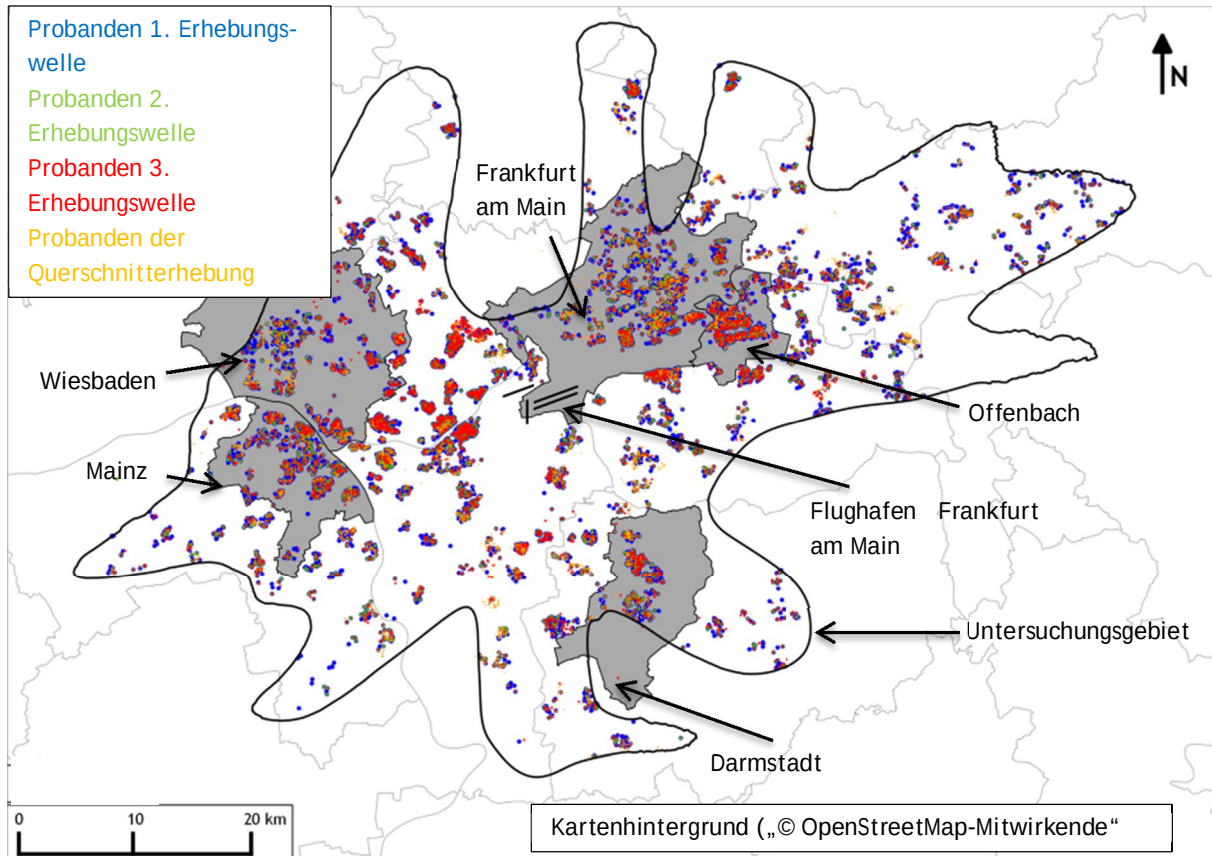


Abbildung 7-1: Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch) (Kartenhintergrund „© OpenStreetMap-Mitwirkende“)

Luftverkehrsgeräusche:

Innerhalb der Erhebungszeiten für Luftverkehrsgeräusche werden die Flugbewegungen des Flughafens Frankfurt am Main für die Kennzeichnungszeiten monatsweise und zusätzlich getrennt nach Werktagen (WT) und Feiertagen, Samstagen und Sonntagen (SSF) eines Monats aufbereitet. Dazu werden die FANOMOS Radarbahnen automatisiert über eine Datenbankabfrage aus den Flugbewegungsdatenbanken in das akustische Rechenmodell geladen und auf visuelle Plausibilität geprüft. Unplausible Flugbewegungen, wie beispielsweise Starts in oder Landungen aus Richtung Norden auf der Startbahn 18, werden gelöscht (siehe Abbildung 7-2).

Lageplan

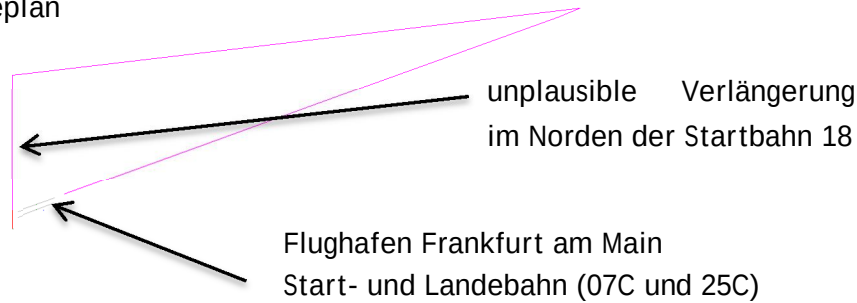


Abbildung 7-2: Beispielhafte Darstellung einer falsch zur Startbahn 18 verlängerten Radarspur (magenta); die auf der Bahn 25C startende Spur wurde fälschlicherweise auf die Startbahn 18 verlängert

Die Aufteilung der Verkehrsdaten für alle Werktage eines Monats (Montag bis Freitag) erfolgte von Montag 00:00:01 Uhr bis Freitag 24:00:00 Uhr. Liegen innerhalb der Werktage Feiertage, so werden die Verkehrsdaten dieser Tage dem Wochenende beigelegt. Feiertage beginnen um 00:00:01 Uhr und enden um 24:00:00 Uhr. Entsprechend wurde das Wochenende von Samstag 00:00:01 Uhr bis Sonntag 24:00:00 Uhr definiert. Nachfolgende Tabelle 7-2 enthält die Aufteilung der Flugbewegungen auf die Kennzeichnungszeiten der Erhebungswellen 1 bis 3 im Studienmodul 1. Eine Abgrenzung von Werktagen zum Wochenende kann aufgrund der Programmarchitektur nur für ganze Kalendertage erfolgen. Es ist also nicht möglich, den Beginn des Wochenendes auf Freitag 22:00 Uhr zu verlegen.

Tabelle 7-2: Verteilung der mittleren täglichen Flugbewegungen innerhalb der Erhebungswellen 1 bis 3 auf die Kennzeichnungszeiten monatlich getrennt nach WT und SSF für den Flughafen Frankfurt am Main

	Erhebungswelle 1: (01.10.2010 – 30.09.2011)		Erhebungswelle 2: (01.10.2011 – 30.09.2012)		Erhebungswelle 3: (01.10.2012 – 30.09.2013)	
	WT	SSF	WT	SSF	WT	SSF
Monat	Anzahl Flüge	Anzahl Flüge	Anzahl Flüge	Anzahl Flüge	Anzahl Flüge	Anzahl Flüge
Okt.	1.365	1.330	1.342	1.372	1.382	1.371
Nov.	1.289	1.278	1.336	1.312	1.282	1.234
Dez.	1.091	1.060	1.262	1.147	1.152	1.025
Jan.	1.216	1.152	1.215	1.188	1.156	1.051
Feb.	1.290	1.244	1.157	1.234	1.209	1.166
Mrz.	1.323	1.272	1.298	1.286	1.190	1.183
Apr.	1.352	1.300	1.337	1.290	1.299	1.306
Mai	1.380	1.383	1.374	1.333	1.363	1.321
Jun.	1.329	1.334	1.409	1.398	1.410	1.372
Jul.	1.360	1.355	1.379	1.370	1.368	1.388
Aug.	1.347	1.360	1.340	1.380	1.364	1.358
Sept.	1.404	1.398	1.350	1.415	1.417	1.392

Die Aufteilung der Flugbewegungen auf die jeweiligen Teilzeiten erfolgt anhand der Actual Time of Arrival (ATA) bzw. Actual Time of Departure (ATD) gemäß den Zusammenhängen aus Kapitel 2.1.1.1.

Die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehrsgeräuschen in der 1. Erhebungswelle werden für die Kennzeichnungszeiten getrennt nach WT und SSF sowie für alle Tage eines Monats berechnet. Die Pegel der ganzen Monate werden zu Halbjahrespegeln, bezogen auf alle Tage innerhalb der Kennzeichnungszeit 01.10.2010 bis 31.03.2011 (182 Tage) und 01.04.2011 bis 30.09.2011 (183 Tage) zusammengefasst. Jahrespegel werden sowohl für die Kennzeichnungszeit getrennt nach WT (256 Tage) und SSF (109 Tage) als auch bezogen auf alle Tage innerhalb der Erhebungszeit (365 Tage, bzw. 366 Tage im Schaltjahr 2012) berechnet. In den Erhebungswellen 2 und 3 werden die akustischen Kenngrößen des Luftverkehrs für die Kennzeichnungszeiten getrennt nach WT und SSF sowie für alle Tage eines Monats berechnet. Daraus werden Jahrespegel getrennt nach WT und SSF sowie bezogen auf alle Tage innerhalb der Erhebungszeit berechnet. Die WT Jahrespegel der 2. Erhebungswelle beziehen sich auf 252 Tage und die SSF Jahrespegel auf 114 Tage. Die Jahrespegel der 2. Erhebungswelle beziehen sich auf 366 Tage. Die WT Jahrespegel der 3. Erhebungswelle beziehen sich auf 251 Tage und die SSF Jahrespegel auf 114 Tage. Die Jahrespegel der 3. Erhebungswelle beziehen sich auf 365 Tage. Halbjahrespegel werden in den Erhebungswellen 2 und 3 nicht berechnet. In der Querschnittserhebung (01.10.2011 – 30.09.2012) wird auf die Trennung nach WT und SSF verzichtet. Aus den einzelnen Monatspegeln werden wiederum Jahrespegel bezogen auf alle (366) Tage innerhalb der Erhebungszeit berechnet. Die jahres-, halbjahres- und monatsbezogenen Ergebnisse enthalten außerdem weiter zusammengefasste Mittelungspegel (wie z. B. Mittelungspegel 06:00 – 18:00 Uhr, vgl. Tabelle 7-3) sowie die Maximalpegel und die Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung. Eine detaillierte Aufschlüsselung der für Frankfurt berechneten akustischen Kenngrößen im Studienmodul 1 ist in Tabelle 7-3 dargestellt.

Straßenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeiten aus Studienmodul 1 werden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2005 berechneten Kennwerte gemäß den Zusammenhängen aus Kapitel 2.3.5 auf die Jahre 2011, 2012 und 2013 skaliert. Der Skalierungswert bezogen auf das Jahr 2005 beträgt +0,1 dB. Die benötigten Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ für den Tag (06:00 - 18:00 Uhr) und den Abend (18:00 - 22:00 Uhr) werden unter Berücksichtigung der Aufteilung der DTV und des Schwerverkehrsanteils entsprechend VBUS errechnet. Aus den Pegeln für Tag, Abend und Nacht wird der Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN} nach VBUS gebildet.

Schienenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeiten des Studienmoduls 1 werden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2010 berechneten Kennwerte für die Jahre 2011 bis 2013 übernommen, da keine Verkehrsmengenangaben für einzelne Jahre vorlagen (vgl. Kapitel 2.3.5). Die benötigten Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ für Tag

(06:00 - 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) werden dem Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ für Tag (06:00 - 22:00 Uhr) gleichgesetzt. Aus den Pegeln zu Tag, Abend und Nacht wiederum wird der Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN} nach VBUSch gebildet.

Berechnung der Gesamtgeräuschbelastung:

Für die in Tabelle 7-1 unter den Punkten Erhebungswelle 2 und „Querschnitt“ angegebenen Probanden werden zusätzlich die Gesamtgeräuschpegel aus Luft- und Straßenverkehr sowie Luft- und Schienenverkehr mittels energetischer Addition berechnet.

Der Maximalpegel der Gesamtgeräusche wird als das Maximum aus Luft-, Straßen- oder Schienenverkehrsgeräuschen definiert.

Eine Übersicht über die in Studienmodul 1 berechneten akustischen Kenngrößen ist in Tabelle 7-3 dargestellt.

Tabelle 7-3: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Frankfurt aus Studienmodul 1

Akustische Kenngröße	Teilzeit	Luftverkehr		Straßen- und Schienenverkehr	Gesamtgeräusche
		Bezugszeit Monat und Jahr WT / SSF	Bezugszeit Monat, Halbjahr und Jahr		
$L_{pA,eq}$	05:00 – 06:00 Uhr	X	X	-	
	06:00 – 07:00 Uhr	X	X	-	
	07:00 – 08:00 Uhr	X	X	-	
	08:00 – 18:00 Uhr	X	X	-	
	18:00 – 19:00 Uhr	X	X	-	
	19:00 – 22:00 Uhr	X	X	-	
	22:00 – 23:00 Uhr	X	X	-	
	23:00 – 05:00 Uhr	X	X	-	
	07:00 – 18:00 Uhr	X	X	-	
	18:00 – 23:00 Uhr	X	X	-	
	06:00 – 18:00 Uhr	-	X	X	X
	18:00 – 22:00 Uhr	-	X	X	X
	06:00 – 22:00 Uhr	-	X	X	X
	22:00 – 06:00 Uhr	-	X	X	X
	00:00 – 24:00 Uhr	-	X	X	X
L_{DEN}	00:00 – 24:00 Uhr	-	X	X	X
$L_{pAS,max}$	06:00 – 22:00 Uhr	-	X	-	X
	22:00 – 06:00 Uhr	-	X	-	
$L_{pAF,max}$	-	-	-	X	X
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung	06:00 – 22:00 Uhr	-	X	-	
	22:00 – 06:00 Uhr	-	X	-	

Anmerkung: Die mittleren Maximalschalldruckpegel der Gesamtgeräusche werden aus dem jeweils maximalen Geräusch der Quellenarten (Straße, Schiene oder Flug) bestimmt.

Die unterste Pegelklasse der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung liegt zwischen 20 dB und 50 dB, danach enthält sie 1 dB Klassen ≥ 50 dB bis < 110 dB. Anmerkung: Bei der hier benannten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung handelt es sich um die für jeden Probanden berechnete Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung gemäß AzB. Diese unterscheidet sich von

den im Anhang 7 dargestellten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen. Im Anhang 7 ist die Verteilung der berechneten Maximalpegel über alle Probanden dargestellt.

7.1.2 Ergebnisse der Geräuschberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehr

In den nachfolgenden Ausführungen werden die berechneten Pegel der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) des Studienmoduls 1 in Frankfurt beispielhaft anhand einiger ausgewählter Pegel-Häufigkeitsverteilungen als Liniendiagramme dargestellt. Diese eignen sich gut, um sich einen Überblick über die Verteilung von statistischen Größen zu verschaffen. Außerdem lassen sich so Häufungen in verschiedenen Pegelbereichen besser erkennen. Da sich die Pegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr aller Erhebungswellen nahezu gleich verteilen (vgl. Anhang 7) ist es zweckmäßig, die Ergebnisse beispielhaft anhand der 11.069 Probandenadressen aus der 1. Erhebungswelle während der Erhebungszeit Oktober 2010 bis September 2011 zu betrachten. Zunächst werden die Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel (außen) der drei Verkehrsträger für die Teilzeiten Tag (06:00 – 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) gegenübergestellt. Darauf folgt die Auswertung der Abweichungen der monatlichen zur jährlichen Geräuschbelastung in der 1. Erhebungswelle (für 2. und 3. Erhebungswelle im Anhang 7 dargestellt). Den Abschluss der Ergebnisdiskussion bildet die Gegenüberstellung der Gesamtgeräusche, beispielhaft dargestellt anhand der 7.113 Probandenadressen aus der Querschnittserhebung. Gesamtgeräusche, die für die Probanden aus der 2. Erhebungswelle berechnet wurden, werden im Anhang 7 dargestellt. Außerdem enthält der Anhang 7 eine Gegenüberstellung der Mittelungspegel für die Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) zu den Maximalpegeln je Quelle. Anhang 7 enthält zusätzlich einen quellspezifischen Vergleich der drei Verkehrsträger je Erhebungswelle. Die Breite der Pegelklassen in den dargestellten Pegel-Häufigkeitsverteilungen wird gemäß dem ursprünglichen Untersuchungsdesign aus Studienmodul 1 zu 2,5 dB gewählt. Die in nachfolgenden Erläuterungen zu den Pegel-Häufigkeitsverteilungen genannten maximalen Häufungen an Probandenadressen beziehen sich immer auf Pegel oberhalb des Abbruchkriteriums von 30,0 dB (vgl. Kapitel 2.3.6.1). Die Pegel-Häufigkeiten $\leq 30,0$ dB sind rein informativ dokumentiert.

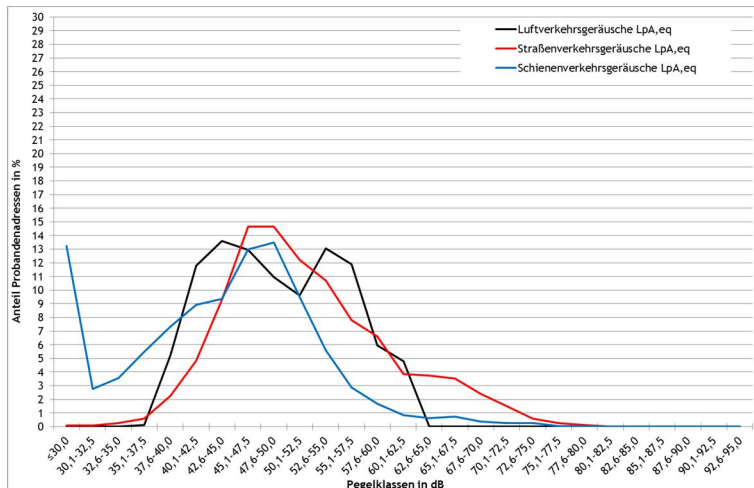


Abbildung 7-3: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Abbildung 7-3 enthält eine Gegenüberstellung der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in der Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr), bezogen auf N = 11.069 Probanden der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1. Die Verteilung der Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche ist sehr breit gefächert und erstreckt sich für Straßenverkehrsgeräusche über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 82,5 dB und für Schienenverkehrsgeräusche über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 80,0 dB. Luftverkehrsgeräusche erstrecken sich dahingegen lediglich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 62,5 dB. Luftverkehrsgeräusche $< 40,0$ dB treten trotz dem Auswahlkriterium für das Untersuchungsgebiet auf, da wie in Kapitel 2.1.1 (vgl. Kapitel 4) beschrieben ein Unterschied zwischen Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen- und DES-Berechnung besteht. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehrsgeräuschen liegt bei 42,6 dB bis 45,0 dB und beinhaltet ca. 13,6 % der Probanden. Bei ca. 5,3 % der Probanden liegt der Mittelungspegel bei $\leq 40,0$ dB. Die Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsgeräusche enthält in der Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) keine Probanden in der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. In der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsgeräusche ist ein Plateau bei 45,1 dB bis 50,0 dB enthalten. Dies betrifft ca. 29,3 % der Probanden. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB enthält ca. 3,3 % der Probanden. Bei ca. 0,1 % der Probanden liegt der Mittelungspegel aus Straßenverkehr für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) in der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsgeräusche weist ein Maximum in der Pegelklasse 47,6 dB bis 50,0 dB mit ca. 13,5 % der Probanden auf. Ca. 32,4 % der Probanden befinden sich innerhalb des Pegelbereiches $\leq 40,0$ dB. Die Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Schienenverkehr enthält für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) ca. 13,2 % der Probanden der 1. Erhebungswelle aus Studienmodul 1 in der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB.

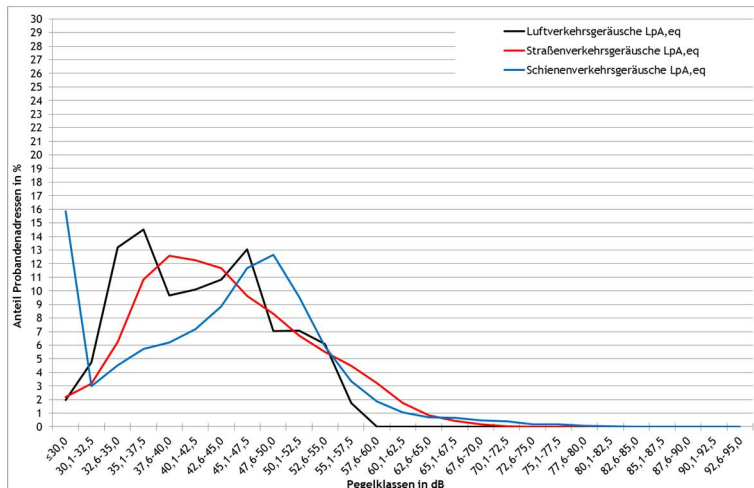


Abbildung 7-4: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

In Abbildung 7-4 ist die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Außenpegel $L_{pA,eq}$ aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) in Pegelklassen von 2,5 dB, bezogen auf N = 11.069 Probanden der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1, dargestellt. Auch zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) sind die relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ aus Straßen- und Schienenverkehr sehr breit gefächert. Straßenverkehrsgeräusche erstrecken sich im Untersuchungsgebiet über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 72,5 dB und Schienenverkehrsgeräusche über den Bereich zwischen ≤ 30 dB und 82,5 dB. Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen ≤ 30 dB und 57,5 dB. Die meisten Probandenadressen mit Geräuschen aus Luftverkehr liegen zur Mittelungszeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) mit ca. 14,5 % in der Pegelklasse 35,1 dB bis 37,5 dB. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet ca. 44 % der Probanden. Der Anteil an Probanden, die innerhalb der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB liegen, liegt bei ca. 2 %. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr liegt in der Pegelklasse zwischen 37,6 dB und 40,0 dB. Darin enthalten sind ca. 12,6 % der Probanden. Ca. 35 % der Probanden befinden sich innerhalb des Pegelbereiches bis $\leq 40,0$ dB. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält ca. 2 % der Probanden. Für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) beinhaltet die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB der Mittelungspegel aus Schienenverkehr den höchsten Anteil an Probanden. Dieser liegt bei ca. 16 %. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet insgesamt ca. 35 % der Probanden. Zur Darstellung der Differenzen zwischen der monatlichen und jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr im Untersuchungsgebiet wurden für jeden Probanden aus der 1. Erhebungswelle (N = 11.069) folgende Differenzen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) gebildet:

$$\Delta L = L_{pA,eq,Monat} - L_{pA,eq,10.2010-09.2011} \quad (13)$$

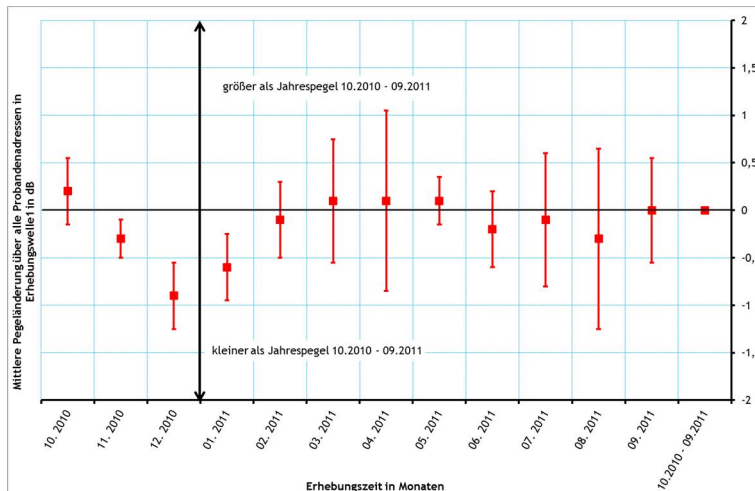


Abbildung 7-5: Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Aus den Pegeldifferenzen je Proband werden arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichung gebildet, um eine mittlere Abweichung der einzelnen Monatspegel zum Jahresmittelungspegel (10.2010 bis 09.2011) zu erhalten. Das Ergebnis ist in Abbildung 7-5 dargestellt und zeigt für die Erhebungszeit der 1. Erhebungswelle 10.2010 – 09.2011 eine mittlere Abweichung der Luftverkehrsgeräusche von weniger als 1 dB. Die relativ hohen Abweichungen in den Monaten 12.2010 und 01.2011 sind auf die Abnahme des Flugverkehrs in diesen Monaten zurückzuführen (vgl. Tabelle 7-2). Die Ergebnisse der berechneten Gesamtgeräusche aus Luft- und Schienenverkehr bzw. Luft- und Straßenverkehr sind als relative Pegel-Häufigkeitsverteilung bezogen auf die Anzahl der Probanden der Kombi-Erhebung, N = 7.113, zur Erhebungszeit 10.2011 bis 09.2012 und für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) in Abbildung 7-6 dargestellt.

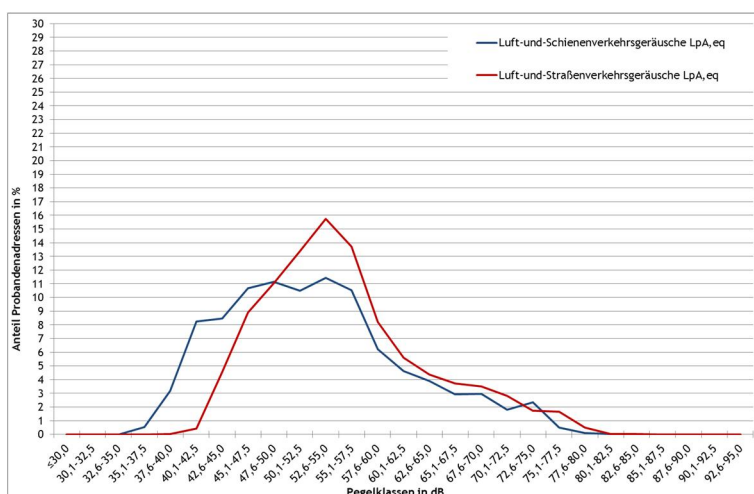


Abbildung 7-6: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Schienenverkehr erstreckt sich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 82,5 dB. Das Maximum mit ca. 11,4 % der Probanden befindet sich in der Pegelklasse zwischen 52,6 dB und 55,0 dB. Ca. 0,5 % der Probanden befinden sich innerhalb des Pegelbereichs $\leq 40,0$ dB. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält keine Probanden. Die Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 37,6 dB und 85,0 dB. Ca. 16 % der Probanden befinden sich in der höchsten Pegelklasse zwischen 52,6 dB und 55,0 dB. Innerhalb des Pegelbereichs $\leq 40,0$ dB befinden sich keine Probanden. Auch die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält keine Probanden. Abbildung 7-7 zeigt die relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel aus Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen bzw. aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr), bezogen auf die Anzahl der Probanden der Querschnittserhebung – N = 7.113 – zur Erhebungszeit 10.2011 bis 09.2012.

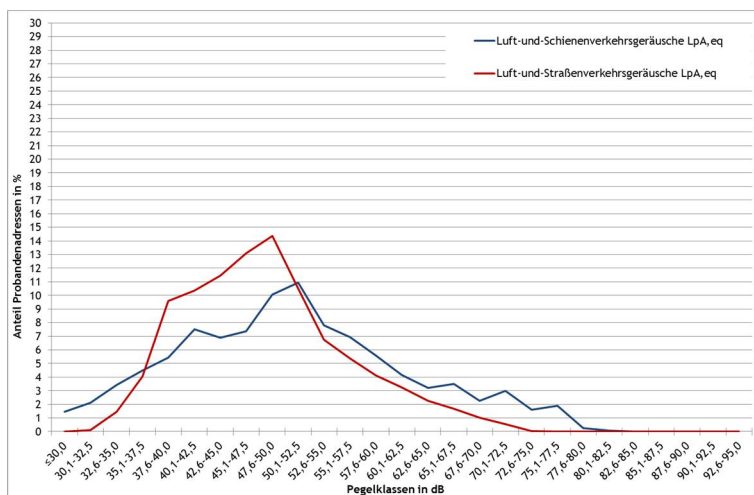


Abbildung 7-7: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen erstrecken sich über den Bereich zwischen 30,1 dB und 85,0 dB. Das Maximum dieser relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt mit ca. 11 % in der Pegelklasse zwischen 50,1 dB und 52,5 dB. Innerhalb des Pegelbereiches $\leq 40,0$ dB befinden sich ca. 17 % der Probanden. Ca. 1,5 % der Probanden liegen in der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. Die Mittelungspegel aus Luft- und Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 30,1 dB und 75,0 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt zwischen 47,6 dB und 50,0 dB mit ca. 14,4 % der Probanden. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB enthält ca. 15 % der Probanden. Innerhalb der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB befinden sich keine Probanden.

7.2 Vergleichsstandorte

7.2.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung besteht darin, die Wirkungen der akustischen Kenngrößen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen in Frankfurt mit den Wirkungen aus den akustischen Kenngrößen an den Vergleichsstandorten Köln / Bonn, Berlin/Schönefeld und Stuttgart zu vergleichen. Dazu werden die Geräuschkonturen des Mittelungspegels aus Luftverkehr ab 40 dB in 5 dB-Schritten auf Grundlage der Datenerfassungssysteme (DES) für die Teilzeiten Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) berechnet. Diese Geräuschkonturen wurden für die Pegelbereiche 40 bis 45 dB, 45 bis 50 dB, 50 bis 55 dB und 55 bis 60 dB jeweils getrennt für Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) mit den Hauskoordinaten verschnitten, um Probanden identifizieren zu können. Nach Identifizierung der Probanden werden die zur wirkungsseitigen Untersuchung benötigten akustischen Kenngrößen aus Luftverkehrsaußengeräuschen mittels Einzelpunktberechnung an den Gebäudeschwerpunktkoordinaten (Koordinaten des Flächenschwerpunktes der Gebäudeumrisse) der jeweiligen Probandenadressen berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.1). Die Außengeräusche aus Straßen- und Schienenverkehr werden für alle Fassaden der Gebäude berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.2). Als maßgebliche Geräuschimmission werden dann für die jeweilige Probandenadresse die Außengeräusche der „lautesten“ Fassadenseite verwendet. Für einen besseren Überblick sind in nachfolgender Tabelle 7-4 die allgemeinen Eckdaten zu den Referenzstandorten dargestellt.

Tabelle 7-4: Überblick über die allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen an den Referenzstandorten

Flughafen	Erhebungszeit Luft- verkehrsgeräusche	Erhebungszeit Stra- ßen- und Schienen- verkehrsgeräusche	Anzahl betrachteter Probandenad- ressen N	
			Probanden teilge- nommen	Probanden ohne Teil- nahme
Köln / Bonn	01.10.2012 bis 30.09.2013	2013	2.955	5.064
Berlin/ Schönefeld	01.05.2011 bis 30.04.2012	2012	5.818	-
Stuttgart	01.10.2012 bis 30.09.2013	2013	1.979	6.381

An den Flughäfen Köln/Bonn und Stuttgart wurden auch für Probanden, die die Teilnahme an der Befragung verweigert hatten, die Pegel der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche berechnet. Vergleiche der Verteilungen der Stichprobe der sog. Responder und Non-Responder wurden angestellt. Die Ergebnisse dieses Vergleichs werden in dem Ergebnisbericht zu Studienmodul 1 (Band 3. Belästigung und Lebensqualität) dargestellt.

Eine Übersicht über die Lage der Probanden im Untersuchungsgebiet des Flughafens Berlin/Schönefeld ist in nachfolgender Abbildung 7-8 dargestellt.

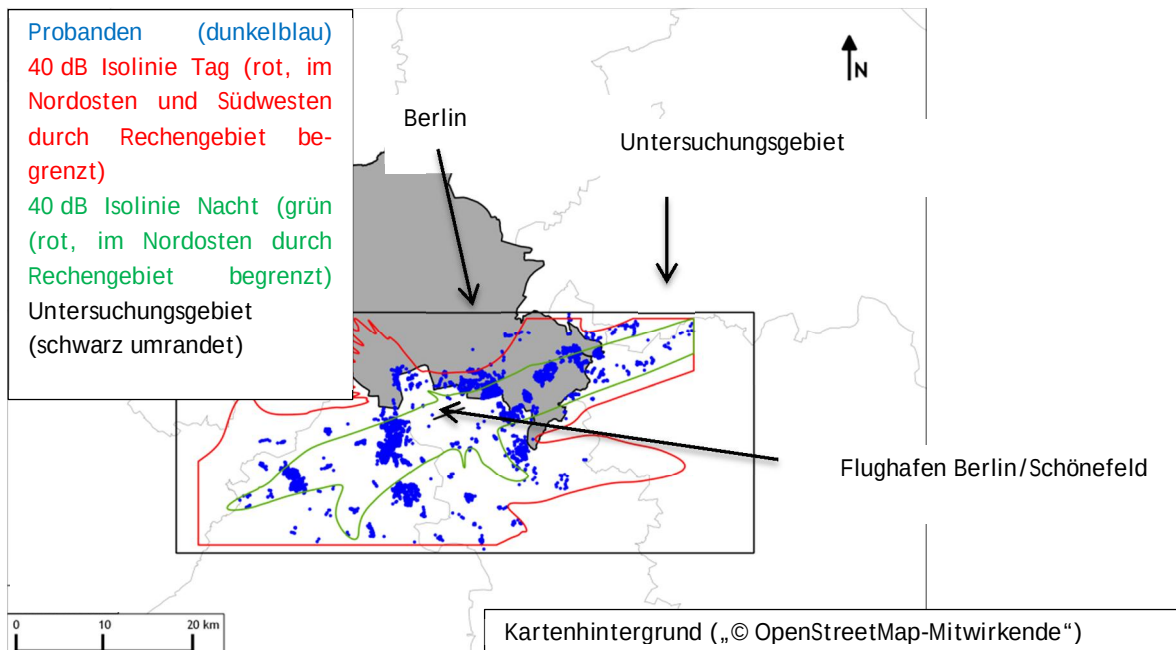


Abbildung 7-8: Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Berlin/Schönefeld

Die Verteilung der Probanden im Untersuchungsgebiet des Flughafens Köln / Bonn ist in Abbildung 7-9 dargestellt.

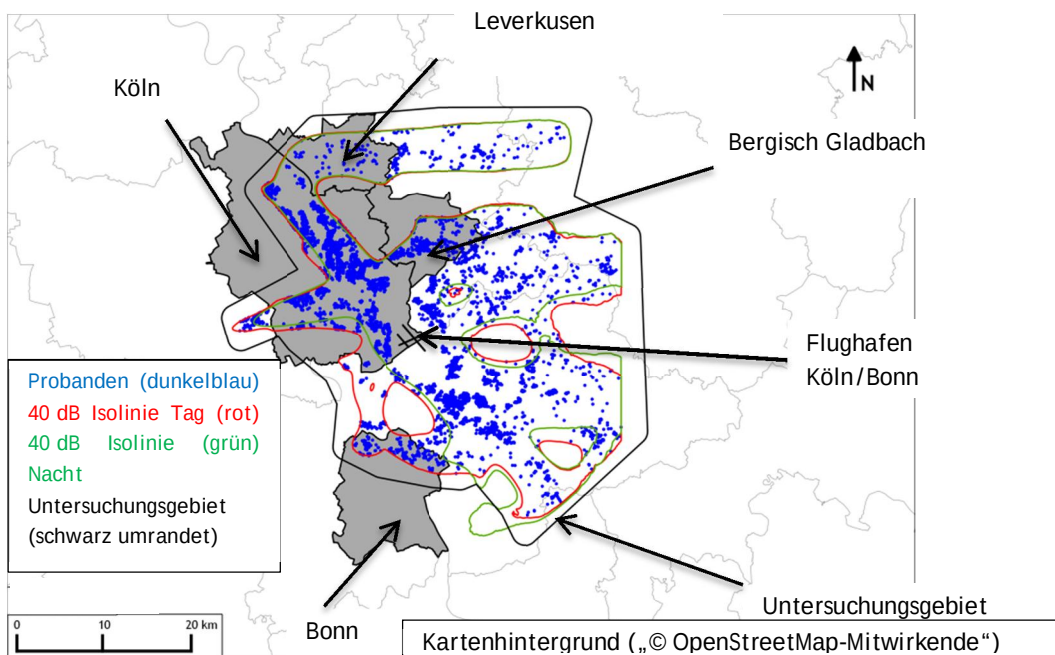


Abbildung 7-9: Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Köln / Bonn

Die Verteilung der Probanden im Untersuchungsgebiet des Flughafens Stuttgart ist in Abbildung 7-10 dargestellt.

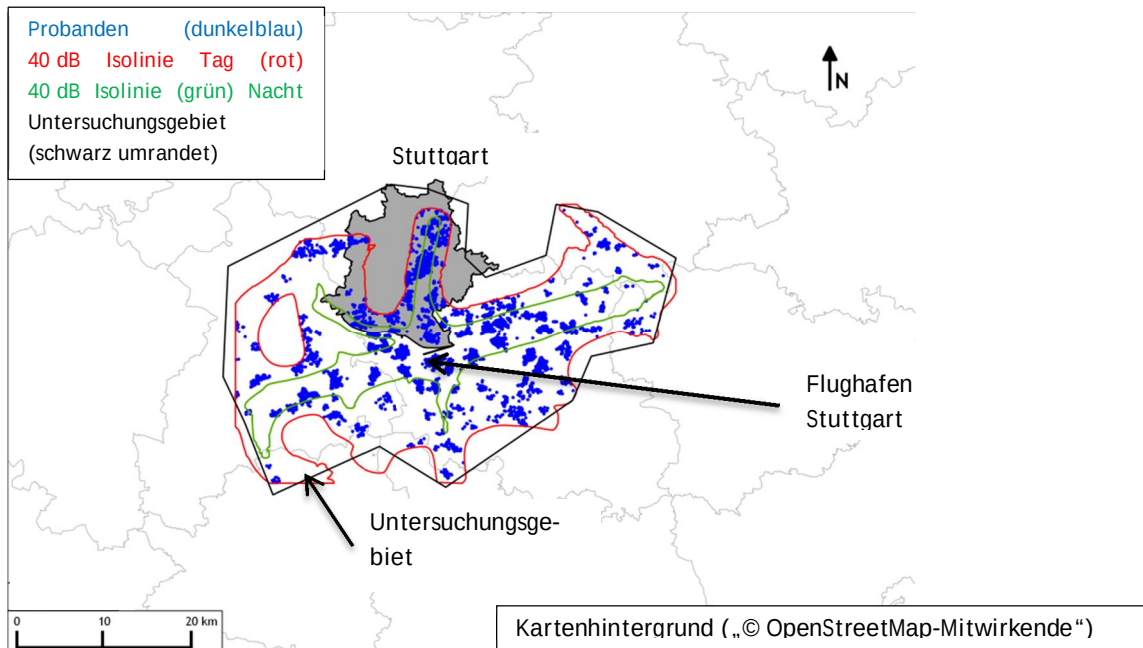


Abbildung 7-10: Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Stuttgart

Luftverkehrsgeräusche:

Die Aufbereitung der Verkehrsdaten erfolgt an den Vergleichsstandorten durch Prüfung der Angaben zu den Flugbewegungen und der Erarbeitung von Datenerfassungssystemen (DES). Für den Flughafen Berlin/Schönefeld werden innerhalb der Erhebungszeit die Flugbewegungen für die Kennzeichnungszeiten getrennt nach Werktagen (WT) und Feiertagen, Samstagen und Sonntagen (SSF) monats- und jahresweise aufbereitet und auf die Teilzeiten verteilt. In nachfolgender Tabelle 7-5 ist die Verteilung der Flugbewegungen zu den Kennzeichnungszeiten und Teilzeiten für die Erhebungszeit 01.05.2011 bis 30.04.2012 dargestellt.

Tabelle 7-5: Verteilung der Flugbewegungen innerhalb der Erhebungszeit 01.05.2011 bis 30.04.2012 auf die Kennzeichnungszeiten (WT und SSF) und Teilzeiten am Flughafen Berlin/Schönefeld

Teilzeiten	Kennzeichnungszeit	
	Werktage (WT)	Feiertage, Samstage und Sonntage (SSF)
	Anzahl Flugbewegungen zwischen 01.05.2011 und 30.04.2012	
05:00 – 06:00 Uhr	458	128
06:00 – 08:00 Uhr	3.880	1.307
08:00 – 14:00 Uhr	17.903	6.163
14:00 – 18:00 Uhr	11.923	4.168
18:00 – 20:00 Uhr	5.445	1.946
20:00 – 22:00 Uhr	6.042	2.079
22:00 – 23:00 Uhr	2.316	983
23:00 – 05:00 Uhr	3.207	1.425
Summe	51.174	18.199
Gesamtsumme	69.373	

Für die Flughäfen Köln / Bonn und Stuttgart werden innerhalb der Erhebungszeit die Flugbewegungen für die Kennzeichnungszeiten getrennt nach Werktagen (WT) und Feiertagen, Samstagen und Sonntagen (SSF) jahresweise aufbereitet und auf die Teilzeiten verteilt. In nachfolgender Tabelle 7-6 ist die Verteilung der Flugbewegungen zu den Kennzeichnungszeiten und Teilzeiten für die Erhebungszeit 01.10.2012 bis 30.09.2013 am Flughafen Köln / Bonn und Stuttgart dargestellt.

Tabelle 7-6: Verteilung der Flugbewegungen innerhalb der Erhebungszeit 01.10.2012 bis 30.09.2013 auf die Kennzeichnungszeiten (WT und SSF) und Teilzeiten an den Flughäfen Köln / Bonn und Stuttgart

Teilzeiten	Köln / Bonn		Stuttgart	
	Bezugszeit			
	Werktage (WT)	Feiertage, Samstage und Sonntage (SSF)	Werktage (WT)	Feiertage, Samstage und Sonntage (SSF)
	Anzahl Flugbewegungen zwischen 01.10.2012 und 30.09.2013			
05:00 – 06:00 Uhr	2.292	866	231	10
06:00 – 07:00 Uhr	2.741	737	5.859	1.971
07:00 – 08:00 Uhr	3.634	817	5.170	1.221
08:00 – 18:00 Uhr	37.597	12.423	46.808	16.548
18:00 – 19:00 Uhr	6.002	1.775	6.748	2.249
19:00 – 22:00 Uhr	12.059	3.744	13.179	4.127
22:00 – 23:00 Uhr	3.911	977	3.351	1.388
23:00 – 05:00 Uhr	21.158	5.072	1.949	786
Summe	89.394	26.411	83.295	28.300
Gesamtsumme	115.805		111.595	

Die Aufteilung der Verkehrsdaten für alle Werktage eines Monats (Montag bis Freitag) erfolgt von Montag 00:00:01 Uhr bis Freitag 24:00:00 Uhr. Liegen innerhalb der Wochentage Montag bis Freitag Feiertage, so werden die Verkehrsdaten dieser Tage dem Wochenende beigefügt. Feiertage beginnen um 00:00:01 Uhr und enden um 24:00:00 Uhr. Entsprechend wurde das Wochenende von Samstag 00:00:01 Uhr bis Sonntag 24:00:00 Uhr definiert.

Straßenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsgeräusche an den Vergleichsstandorten innerhalb der Erhebungszeiten werden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2010 (vgl. Kapitel 3.4.2) berechneten Außengeräusche – in Anlehnung an die Zusammenhänge aus Kapitel 2.3.5 – auf die Jahre 2012 und 2013 skaliert. Der Skalierungswert bezogen auf das Jahr 2005 beträgt je Jahr +0,1 dB. Die benötigten Außenpegel $L_{pA,eq}$ für Tag (06:00 – 22:00 Uhr) werden aus den Außenpegeln $L_{pA,eq}$ für Tag (06:00 – 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) durch energetische Mittelung gebildet. Aus den Pegeln von Tag, Abend und Nacht wird der Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN} nach VBUS gebildet.

Schienenverkehrsaußengeräusche:

Zur Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche an den Vergleichsstandorten innerhalb der Erhebungszeiten werden die akustischen Kenngrößen anhand der Verkehrsmengen der Jahre 2012 bzw. 2013 (vgl. Kapitel 3.5.2) berechnet. Die benötigten Außengeräusche $L_{pA,eq}$ für Tag (06:00 – 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) werden dem Außenpegel $L_{pA,eq}$ für Tag (06:00 – 22:00 Uhr) gleichgesetzt. Aus den Pegeln von Tag, Abend und Nacht wird der Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN} nach VBUSch gebildet. Eine Übersicht der an den Vergleichsstandorten aus Studienmodul 1 berechneten akustischen Kenngrößen ist in Anhang 8 dargestellt.

7.2.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

In den nachfolgenden Ausführungen werden die berechneten Außengeräusche aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr des Studienmoduls 1 in Frankfurt mit jenen an den Vergleichsstandorten beispielhaft anhand einiger ausgewählter Pegel-Häufigkeitsverteilungen (Liniendiagramme) verglichen. Dazu werden die Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel aus Luftverkehr für die Teilzeiten Tag (06:00 – 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) gegenübergestellt und diskutiert. Zum Vergleich der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche werden beispielhaft Pegel-Häufigkeitsverteilungen für die Teilzeit Tag (06:00-22:00 Uhr) dargestellt (Teilzeit Nacht (22:00-06:00 Uhr) siehe Anhang 9). Auswertungen der Pegel-Häufigkeitsverteilungen an den einzelnen Vergleichsstandorten sind dem Anhang 10 zu entnehmen. Quellspezifische Gegenüberstellungen der Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) im Vergleich zum Maximalpegel sind ebenfalls dem Anhang 10 zu entnehmen. Die Breite der Pegelklassen in den dargestellten Pegel-Häufigkeitsverteilungen wurde gemäß dem ursprünglichen Untersuchungsdesign aus Studienmodul 1 (vgl. Kapitel 7.1.2) zu 2,5 dB gewählt. Die in nachfolgenden Erläuterungen zu den Pegel-Häufigkeitsverteilungen genann-

ten maximalen Häufungen an Probandenadressen beziehen sich immer auf Pegel oberhalb des Abbruchkriteriums von 30,0 dB (vgl. Kapitel 2.3.6.1). Die Pegel-Häufigkeiten $\leq 30,0$ dB sind rein informativ dokumentiert.

Abbildung 7-11 enthält die Gegenüberstellung der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen aus Luftverkehrsgeräuschen über alle Flughäfen in Studienmodul 1 zur Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr).

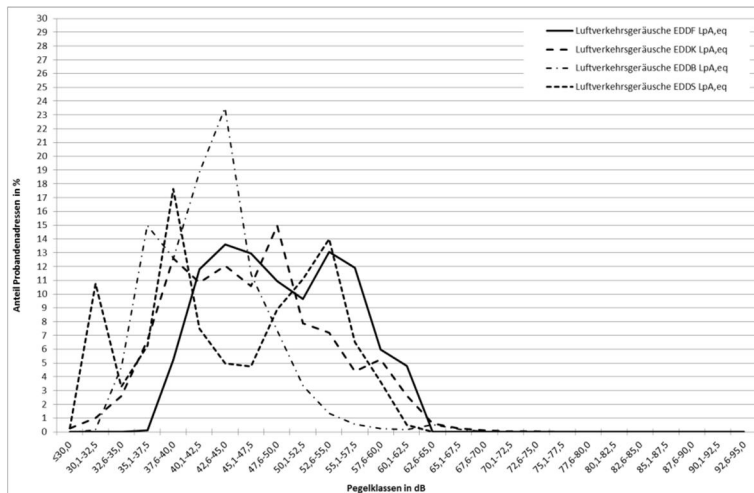


Abbildung 7-11: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDFF) $N = 11.069$, Köln/Bonn (EDDK) $N = 2.955$, Berlin/Schönefeld (EDDB) $N = 5.818$ und Stuttgart (EDDS) $N = 1.979$ für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung des Flughafens Frankfurt am Main erstreckt sich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 62,5 dB. Die relativen Pegel-Häufigkeiten der Vergleichsstandorte erstrecken sich breiter, Köln/Bonn zwischen $\leq 30,0$ dB und 75,0 dB, Berlin/Schönefeld zwischen 30,1 dB und 72,5 dB und Stuttgart zwischen 30,1 dB und 62,5 dB.

Abbildung 7-12 enthält die Gegenüberstellung der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen aus Luftverkehrsgeräuschen über alle Flughäfen in Studienmodul 1 zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr).

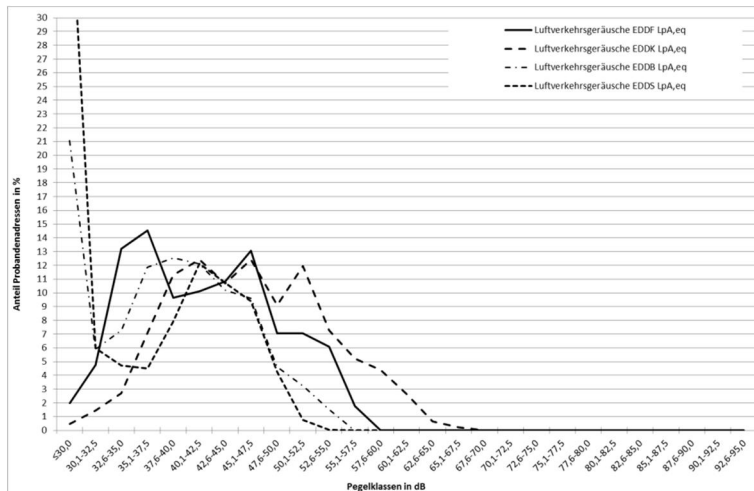


Abbildung 7-12: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDFF) $N = 11.069$, Köln/Bonn (EDDK) $N = 2.955$, Berlin/Schönefeld (EDDB) $N = 5.818$ und Stuttgart (EDDS) $N = 1.979$ für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung des Flughafens Frankfurt am Main erstreckt sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 57,5 dB. Die relativen Pegel-Häufigkeiten der Vergleichsstandorte erstrecken sich breiter, Köln/Bonn zwischen 30,1 dB und 67,5 dB, Berlin/Schönefeld zwischen 30,1 dB und 55,0 dB und Stuttgart zwischen 30,1 dB und 55,0 dB. Nachfolgend in Abbildung 7-13 ist beispielhaft die Gegenüberstellung der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen aus Straßenverkehrsgeräuschen für alle Flughafenstandorte in Studienmodul 1 zur Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) dargestellt.

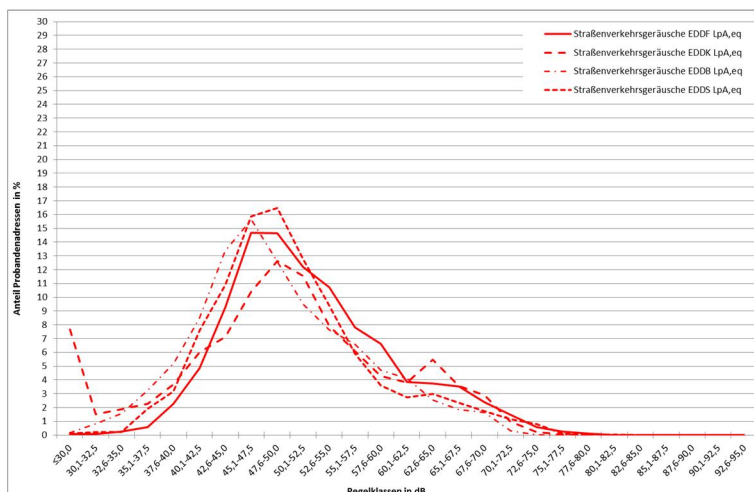


Abbildung 7-13: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDFF) $N = 11.069$, Köln/Bonn (EDDK) $N = 2.955$, Berlin/Schönefeld (EDDB) $N = 5.818$ und Stuttgart (EDDS) $N = 1.979$ für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich am Flughafen Frankfurt am Main über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 82,5 dB. An den Vergleichsstandorten erstrecken sich die Mittelungspegel über die Bereiche zwischen 30,1 dB und 77,5 dB in Köln/Bonn, zwischen 30,1 dB und 75,0 dB in Berlin/Schönefeld und zwischen 30,1 dB und 82,5 dB in Stuttgart. In Abbildung 7-14 ist beispielhaft die Gegenüberstellung der relativen Pegel-

Häufigkeitsverteilungen aus Schienenverkehrsgeräuschen über alle Flughafenstandorte in Studienmodul 1 zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) dargestellt.

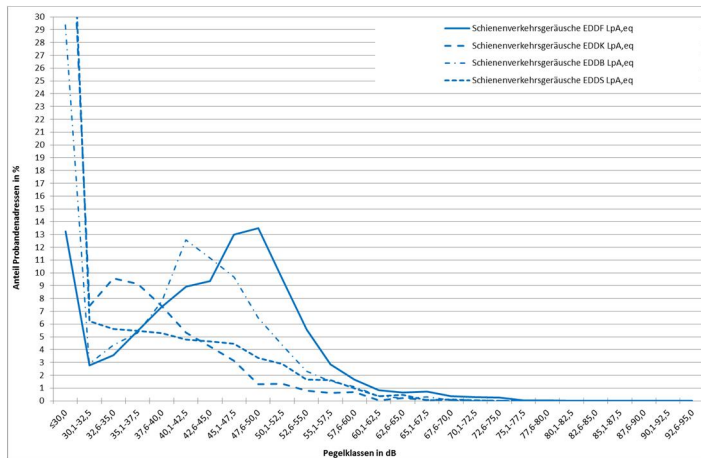


Abbildung 7-14: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF) $N = 11.069$, Köln/Bonn (EDDK) $N = 2.955$, Berlin/Schönefeld (EDDB) $N = 5.818$ und Stuttgart (EDDS) $N = 1.979$ für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich in Frankfurt über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und $80,0$ dB. An den Vergleichsstandorten erstrecken sich die Pegel-Häufigkeitsverteilungen über die Bereiche zwischen $\leq 30,0$ dB und $72,5$ dB in Köln/Bonn, zwischen $30,1$ dB und $75,0$ dB in Berlin/Schönefeld und zwischen $30,1$ dB und $72,5$ dB in Stuttgart.

8 Studienmodul 2 „Gesundheit“ .

8.1 Teilstudie „Blutdruckmonitoring“

8.1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung in Studienmodul 2 „Blutdruckmonitoring“ besteht darin, die akustischen Kenngrößen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr für das Untersuchungsgebiet Frankfurt in verschiedenen Beobachtungsperioden (BP), verteilt über die Jahre 2011 bis 2014, zu berechnen. Für die wirkungsseitigen Untersuchungen im Studienmodul 2 „Blutdruckmonitoring“ werden Außen- und Innenpegel benötigt. Zur Ermittlung der Innenpegel werden an den ausgewählten Probandenadressen des „Blutdruckmonitorings“ während der Blutdruckmessungen zusätzlich die Außenbauteile der Schlaf- bzw. Wohnräume der Probanden erhoben. Aus den berechneten Außengeräuschen an den Probandenadressen sollen - anhand der aus den Ergebnissen der Erhebungen der Außenbauteile berechneten Schalldämm-Maße - Innenpegel abgeschätzt werden. Da die Probandenauswahl des „Blutdruckmonitorings“ auch Probanden der Teilstudie „Schlafqualität“ enthält, werden die hier dargestellten Berechnungen auch für diese Probanden durchgeführt. Für die Probanden der Teilstudie „Schlafqualität“ werden eigene Messungen durchgeführt. Die Darstellung der Messungen befindet sich in Band 4 „Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf“. Die Berechnung der Außengeräusche des Luftverkehrs werden, wie in Kapitel 7.1.1 beschrieben, durchgeführt (vgl. Kapitel 2.3.3.1). Die Auswahl der maßgeblichen Fassade entfällt beim Luftverkehr, da die Geräusche von oben gleichermaßen auf alle Fassaden der Gebäude einwirken. Die Außengeräusche aus Straßen- und Schienenverkehr werden, wie in Abschnitt 7.1.1 beschrieben, berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.2). Für die jeweils benötigten Probandenadressen werden die Außengeräusche der „lautesten“ Fassadenseite als maßgebende Geräuschimmission verwendet, da die zur Identifikation der maßgebenden Fassadenseite notwendigen Skizzen der Räumlichkeiten mit Angabe der Lage zur Schallquelle nicht angefertigt wurden. Die Fragebögen enthielten zwar die Angabe der Ausrichtung der Außenfassade (durch Angabe der Himmelsrichtung), nicht jedoch die Lage relativ zur Schallquelle. Die Abschätzung der Innenpegel wird daher nur in Anlehnung an die Zusammenhänge aus Kapitel 2.3.4 durchgeführt. Für einen besseren Überblick sind in nachfolgender Tabelle die Randbedingungen für das Blutdruckmonitoring gegenübergestellt.

Tabelle 8-1: Überblick der Randbedingungen zu den akustischen Berechnungen im Blutdruckmonitoring

Beobachtungs- periode (BP)	Erhebungszeit Luftverkehrs- geräusche	Erhebungszeit Straßen- und Schienenverkehrs- geräusche	Anzahl betrachte- ter Probandenad- ressen N
BP1	01.07.2011 bis 30.04.2013	2011, 2012 und 2013	1373
BP2	01.06.2012 bis 30.04.2014	2012, 2013 und 2014	1287

Umzüge von Probanden wurden bei der Berechnung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche in den Beobachtungsperioden BP1 und BP2 berücksichtigt. Da es die zeitliche Auflösung der Radarbahnen zulässt, können Umzüge von Probanden bei der Berechnung der Luftverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeit monatsweise berücksichtigt werden. Für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche können Umzüge lediglich zum Ende der Erhebungszeit berücksichtigt werden.

Eine Übersicht der georeferenzierten Lage der Probanden aus der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“ ist in Abbildung 8-1 dargestellt.

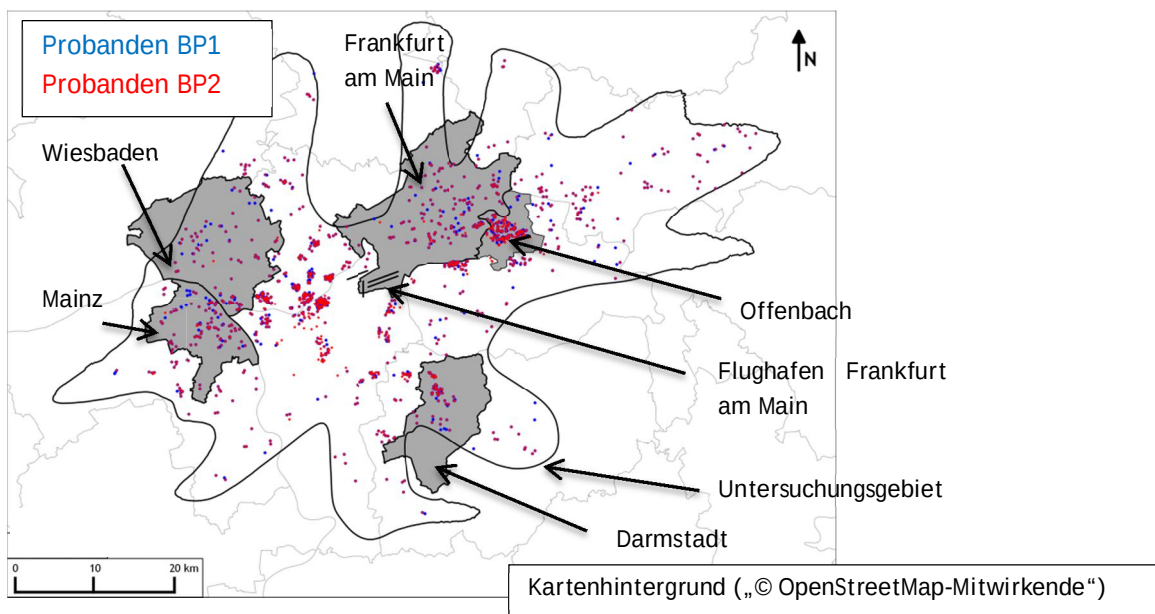


Abbildung 8-1: Verteilung der Probandenadressen aus der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“ im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch)

Luftverkehrsgeräusche:

Die Aufbereitung der Flugbewegungen erfolgt für die in

Tabelle 8-1 angegebenen Erhebungszeiten monatsweise und zusätzlich getrennt nach Werktagen (WT) und Feiertagen, Samstagen und Sonntagen (SSF) analog zur Vorgehensweise aus Kapitel 7.1.1. Die detaillierte Aufteilung der Flugbewegungen getrennt nach WT und SSF ist Anhang 11 zu entnehmen.

Die Aufteilung der Flugbewegungen auf die jeweiligen Teilzeiten erfolgt analog zu Kapitel 2.1.1.1 (vgl. Kapitel 7.1.1). Die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehrsgeräuschen werden innerhalb der Erhebungszeiten der Beobachtungsperioden 1 und 2 für die Kennzeichnungszeiten getrennt nach WT und SSF sowie für alle Tage eines Monats für jeden Probanden berechnet. Da die Verteilung der Geräte für das Blutdruckmonitoring nicht für alle Probanden simultan zum gleichen Zeitpunkt erfolgen kann, sondern die Geräte über ein ganzes Jahr verteilt ausgegeben werden, ergeben sich auch für die Probanden individuelle Zeiträume für die Beobachtungsperioden. Infolgedessen muss die Geräuschbelastung ebenfalls über probandenindividuelle Zeiträume in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Verteilung

der Geräte (Hausbesuch / Erhebung und Geräteverteilungs-Datums, kurz HBV-Datum) erfolgen. Es wurden individuelle Jahrespegel für die Kennzeichnungszeit vom Vorjahresvormonat bis zum Vormonat des HBV-Datums berechnet. Beispielsweise werden die individuellen Jahrespegel für alle Probanden, deren HBV-Datum Juli 2012 war, von Monat Juli 2011 bis Monat Juni 2012 berechnet. Zusätzlich werden individuelle Monatspegel des Vormonats des HBV-Datums und des Monats des HBV-Datums berechnet. Für jeden Probanden gibt es im Blutdruckmonitoring zwei Beobachtungsperioden (BP). Die Probanden werden für jede der beiden Beobachtungsperioden (1 und 2) in Subgruppen je HBV-Datum sortiert. Den Subgruppen werden jeweils die monatsweise und getrennt nach WT und SSF berechneten Luftverkehrsaußen- und -innengeräusche zugewiesen. So ist es leichter möglich, die individuellen Jahrespegel zu berechnen. Die Aufteilung der benötigten individuellen Jahrespegel in Abhängigkeit vom HBV-Datum ist in Anhang 12 dargestellt.

Straßenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsaußengeräusche innerhalb der Erhebungszeiten aus BP1 und BP2 wird die in Kapitel 7.1.1 beschriebene Skalierung vorgenommen (vgl. Kapitel 2.3.5). Im Unterschied zu Studienmodul 1 werden die Straßenverkehrsgeräusche bis in das Jahr 2014 skaliert. Die Berechnung der Pegel für Tag (06:00 – 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) erfolgt analog zu Kapitel 7.1.1. Der L_{DEN} wird nicht berechnet.

Schienenverkehrsaußengeräusche:

Die Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche erfolgt analog zur Vorgehensweise aus Kapitel 7.1.1 (vgl. Kapitel 2.3.5) mit dem Unterschied, dass die für 2010 berechneten Schienenverkehrsgeräusche auch für das Jahr 2014 übernommen werden. Der L_{DEN} wird nicht berechnet.

Für die weiteren Expositions-Wirkungsanalysen ist es erforderlich, die akustischen Kenngrößen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr der Teilzeiten Abend (18:00 – 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) zur Teilzeit Abend-Nacht (18:00 – 06:00 Uhr) zusammenzufassen. Dabei gilt folgender Zusammenhang:

$$L_{pA,eq,18-06} = 10 * \lg\left(\left(\frac{4}{12} * 10^{0,1 * L_{pA,eq,18-22}}\right) + \left(\frac{8}{12} * 10^{0,1 * L_{pA,eq,22-06}}\right)\right) \quad (14)$$

Eine Übersicht über die in Studienmodul 2 „Blutdruckmonitoring“ berechneten akustischen Kenngrößen ist in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 8-2: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr außen und innen in Frankfurt aus Studienmodul 2 „Blutdruckmonitoring“

Akustische Kenngröße	Teilzeiten	Luftverkehr		Straßen- und Schienenverkehr
		Bezugszeit Monat und WT / SSF	Bezugszeit individueller Jahrespegel über Monat und WT / SSF	Bezugszeit Jahr
$L_{pA,eq}$	06:00 – 18:00 Uhr	X	X	X
	18:00 – 22:00 Uhr	X	X	X
	22:00 – 06:00 Uhr	X	X	X
	18:00 – 06:00 Uhr	-	X	X
	00:00 – 24:00 Uhr	-	X	-
$L_{pAS,max}$	06:00 – 22:00 Uhr	X	X	-
	22:00 – 06:00 Uhr	X	X	-
$L_{pAF,max}$	-	-	-	X
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung	06:00 – 22:00 Uhr	X	-	-
	22:00 – 06:00 Uhr	X	-	-

Anmerkung: Die Maximalpegel und Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen werden nur für die Kennzeichnungszeit „ganzer Monat“ berechnet.

Die unterste Pegelklasse der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung (vgl. die letzten beiden Zeilen aus obiger Tabelle) liegt zwischen 20 dB und 50 dB, danach enthält sie 1 dB Klassen ≥ 50 dB bis < 110 dB. Anmerkung: Bei der hier benannten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung handelt es sich um die für jeden Probanden berechnete Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung gemäß AzB. Diese unterscheidet sich von den im Anhang 13 dargestellten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen. Im Anhang 13 ist die Verteilung der berechneten Maximalpegel über alle Probanden dargestellt.

Zur Berechnung der Innenpegel für das „Blutdruckmonitoring“ werden die Erhebungsbögen zu den Außenbauteilen in Anlehnung an die Zusammenhänge aus Kapitel 2.3.4 ausgewertet. Dabei werden die Innenpegel anhand der Zusammenhänge der VDI 2719 (1987) berechnet. Sofern Probanden keine Angaben zu den Außenbauteilen oder den Fensterstellungen enthalten, müssen Annahmen getroffen werden, um die Innenpegel abschätzen zu können. Die getroffenen Annahmen sind in nachfolgenden Fallunterscheidungen dargestellt.

Keine Angaben zu Außenbauteilen und Fensterstellung: Berechnung von arithmetischen Mittelwerten mit Standardabweichung anhand aller erhobenen Außenbauteile in BP 1 für die, in nachfolgender Tabelle zusammengestellten, Kenngrößen.

Tabelle 8-3: Mittelwerte mit Standardabweichung aus allen vorhandenen Angaben bei fehlender Angaben zu den Außenbauteilen und Fensterstellungen

	Luftverkehr	Straßenverkehr	Schienenverkehr
	ΔL_f	ΔL_f	ΔL_f
Mittelwert	19,3	19,9	19,9
Standardabweichung	9,2	10,3	10,3

Fenster geschlossen und keine Angaben zu Außenbauteilen: Berechnung von arithmetischen Mittelwerten mit Standardabweichung für die in nachfolgender Tabelle genannten Kenngrößen anhand aller erhobenen Außenbauteile bei überwiegend geschlossen Fenster.

Tabelle 8-4: Mittelwerte mit Standardabweichung aus allen vorhandenen Angaben bei geschlossenem Fenster und fehlenden Angaben zu den Außenbauteilen

	Luftverkehr	Straßenverkehr	Schienenverkehr
	ΔL_f	ΔL_f	ΔL_f
Mittelwert	36,3	39,3	39,3
Standardabweichung	7,5	7,5	7,5

Fenster gekippt / geöffnet und keine Angaben zu Außenbauteilen: Pegeldifferenzen $\Delta L_f = 15$ dB werden gemäß der Ausführungen der VDI 2719 (1987) angenommen.

Das Abbruchkriterium wird gemäß den Zusammenhängen aus Kapitel 2.3.6.1 wie folgt auf die berechneten Außen- und Innenpegel angewendet:

Außenpegel < 30 dB werden durch -99 ersetzt

Innenpegel < 15 dB werden durch -99 ersetzt

8.1.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr

In den nachfolgenden Ausführungen werden die berechneten Außenpegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr im Blutdruckmonitoring beispielhaft anhand einiger ausgewählter Pegel-Häufigkeitsverteilungen als Liniendiagramme dargestellt. Da die Probanden und deren Geräuschpegel zur Berechnung der individuellen Jahrespegel in Subgruppen je HBV-Datum sortiert wurden, werden nachfolgend die Ergebnisse im Blutdruckmonitoring exemplarisch anhand der Subgruppe mit den meisten Probandenadressen dargestellt. Dies ist die Subgruppe Jahr 10.2011 – 09.2012 aus BP 1. Die weiteren Geräuschpegel je HBV-Datum verschieben sich jeweils um einen Monat und weisen weniger Probandenadressen auf. Zunächst werden die Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel (außen) der drei Verkehrsträger für die Teilzeiten Tag (06:00 – 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) gegenübergestellt. Darauf folgt ein Überblick über die Veränderung der Geräuschbelastung aus Luftverkehr über die einzelnen Monate der Subgruppe im Vergleich zu den individuellen Jahrespegeln für das Jahr 10.2011 – 09.2012. Ein Vergleich der Mittelungspegel und Maximalpegel zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) ist Anhang 13 zu entnehmen. Die Breite der

Pegelklassen in den dargestellten Pegel-Häufigkeitsverteilungen wird analog zu den Zusammenhängen aus Kapitel 7.1.2 zu 2,5 dB gewählt. Die in nachfolgenden Erläuterungen zu den Pegel-Häufigkeitsverteilungen genannten maximalen Häufungen an Probandenadressen beziehen sich immer auf Pegel oberhalb des Abbruchkriteriums von 30,0 dB (vgl. Kapitel 2.3.6.1). Die Pegel-Häufigkeiten $\leq 30,0$ dB sind rein informativ dokumentiert.

Anmerkung: Die Pegel der Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) werden nur zu Darstellungszwecken in diesem Kapitel gebildet.

In Abbildung 8-2 ist die Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq}$ bezogen auf 233 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) dargestellt.

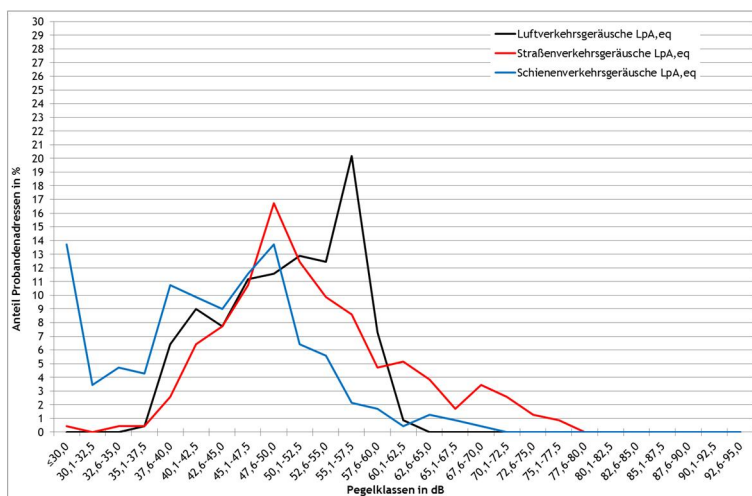


Abbildung 8-2: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.2011 – 09.2012 bezogen auf $N = 233$ Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 62,5 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 77,5 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 70,0 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehr zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) liegt zwischen 55,1 dB und 57,5 dB. In dieser Pegelklasse befinden sich ca. 20 % der Probandenadressen. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet ca. 7 % der Probandenadressen. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält keine der Probandenadressen. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr liegt zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 17 % der Probandenadressen. Insgesamt ca. 4 % der Probandenadressen weisen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Weniger als 1 % der Probandenadressen befinden sich innerhalb von $\leq 30,0$ dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehr liegt zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 14 % der Probandenadressen. Insgesamt ca. 37 % der Probandenadressen weisen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB

auf. Ca. 14 % der Probandenadressen befinden sich innerhalb von $\leq 30,0$ dB. In Abbildung 8-3 ist die Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq}$ bezogen auf 233 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) dargestellt.

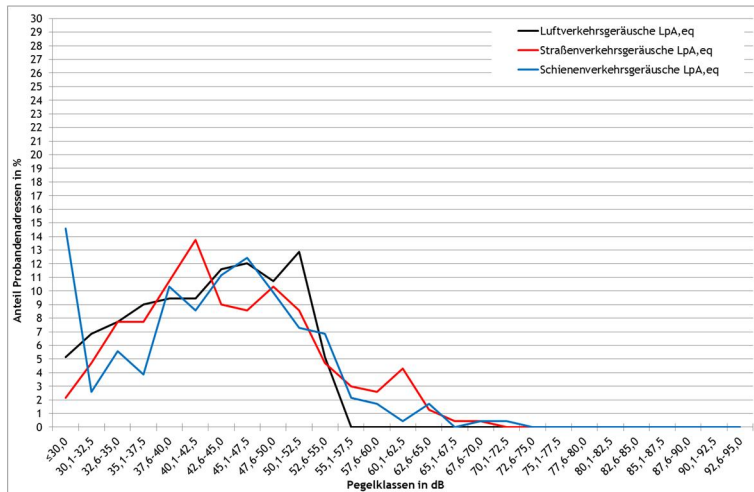


Abbildung 8-3: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.2011 - 09.2012 bezogen auf $N = 233$ Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 55,0 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 70,0 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 72,5 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehrsgeräuschen zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) liegt zwischen 50,1 dB und 52,5 dB. In dieser Pegelklasse befinden sich ca. 13 % der Probandenadressen. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet ca. 38 % der Probandenadressen. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält ca. 5 % der Probandenadressen. Das Maximum der relativen Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) zwischen 40,1 dB und 42,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 14 % der Probandenadressen. Insgesamt ca. 33 % der Probandenadressen weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Ca. 2 % der Probandenadressen befinden sich innerhalb der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. Das Maximum der relativen Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) zwischen 45,1 dB und 47,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 12 % der Probandenadressen. Insgesamt ca. 37 % der Probandenadressen weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Ca. 15 % der Probandenadressen befinden sich innerhalb der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. Zur Darstellung der Differenzen zwischen den monatlichen und jährlichen Mittelungspegel wurden für jede der 233 Probandenadressen der Subgruppe 10.2011 - 09.2012 folgende Differenzen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) gebildet:

$$\Delta L = L_{pA,eq,Monat} - L_{pA,eq,10.2011-09.2012} \quad (15)$$

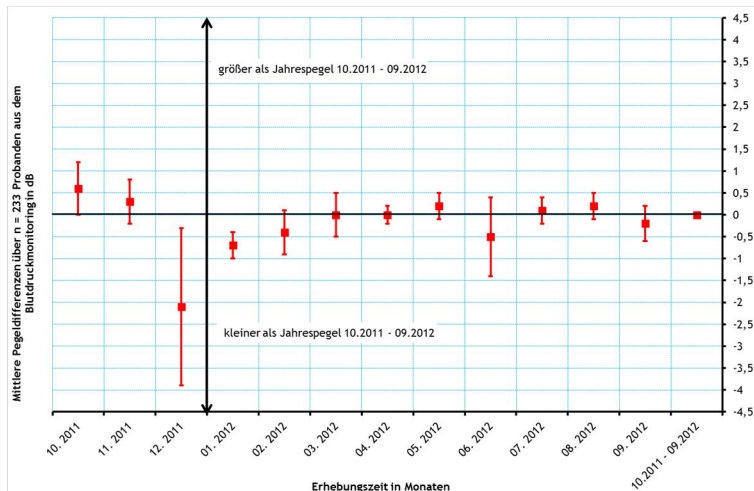


Abbildung 8-4: Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung der Mittelungspegel aus Luftverkehr der Subgruppe 10.2011 – 09.2012 im Blutdruckmonitoring bezogen auf $N = 233$ Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

Aus den Pegeldifferenzen je Proband werden arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichung gebildet, um eine mittlere Abweichung - über alle Probandenadressen - der einzelnen Monatspegel zum Jahresmittelungspegel auf das Jahr 10.2011 – 09.2012 zu erhalten. Das Ergebnis ist in Abbildung 8-4 dargestellt und zeigt für die meisten Monate innerhalb der Erhebungszeit der Subgruppe 10.2011 – 09.2012 eine mittlere Veränderung der Luftverkehrsgeräusche von weniger als 1 dB. Der Monat 12.2011 weist größere mittlere Abweichungen bezogen auf das Jahr 10.2011 – 09.2012 auf. Die Mittelungspegel in diesem Monat waren im Mittel um ca. 2 dB kleiner als der Jahresdurchschnitt. Auch die Standardabweichung erstreckt sich über einen größeren Pegelbereich im Vergleich zu den anderen Monaten. Dies lässt sich jedoch auf die Abnahme der Flugbewegungen zurückführen (vgl. Anhang 11).

8.2 Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“

8.2.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung in Studienmodul 2, Teilstudie „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung zu Erkrankungsrisiken“ besteht darin, die akustischen Kenngrößen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr innerhalb des Umgriffs des Regierungsbezirks Darmstadt und Rheinhessen über die Jahre 1996 bis 2010 zu berechnen. Im Rahmen dieser Teilstudie werden zur Verschneidung der akustischen Kenngrößen mit den Krankenkassendaten nur Außengeräusche aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr benötigt. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, wurden für die Berechnungen 863.200 bewohnte Hauptgebäude zugrunde gelegt, die für die Verschneidung mit den Krankenkassendaten zur Verfügung gestellt wurden. Zur vertiefenden Untersuchung der Wirkungen der Verkehrsgeräusche auf die Gesundheit sollen anhand der Zuweisung von Fragebogenangaben mit den akustischen Kenngrößen aus der Sekundärdatenanalyse Innengeräusche bei ausgewählten

Probanden ermittelt werden. Zur Berechnung der Innengeräusche wird eine automatisierte Datenbankabfrage erstellt, deren Grundlagen in Kapitel 8.2.3 erläutert werden. Ein Überblick über das in der Teilstudien „Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefter Befragung zu Erkrankungsrisiken“ betrachtete Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 8-5 dargestellt.

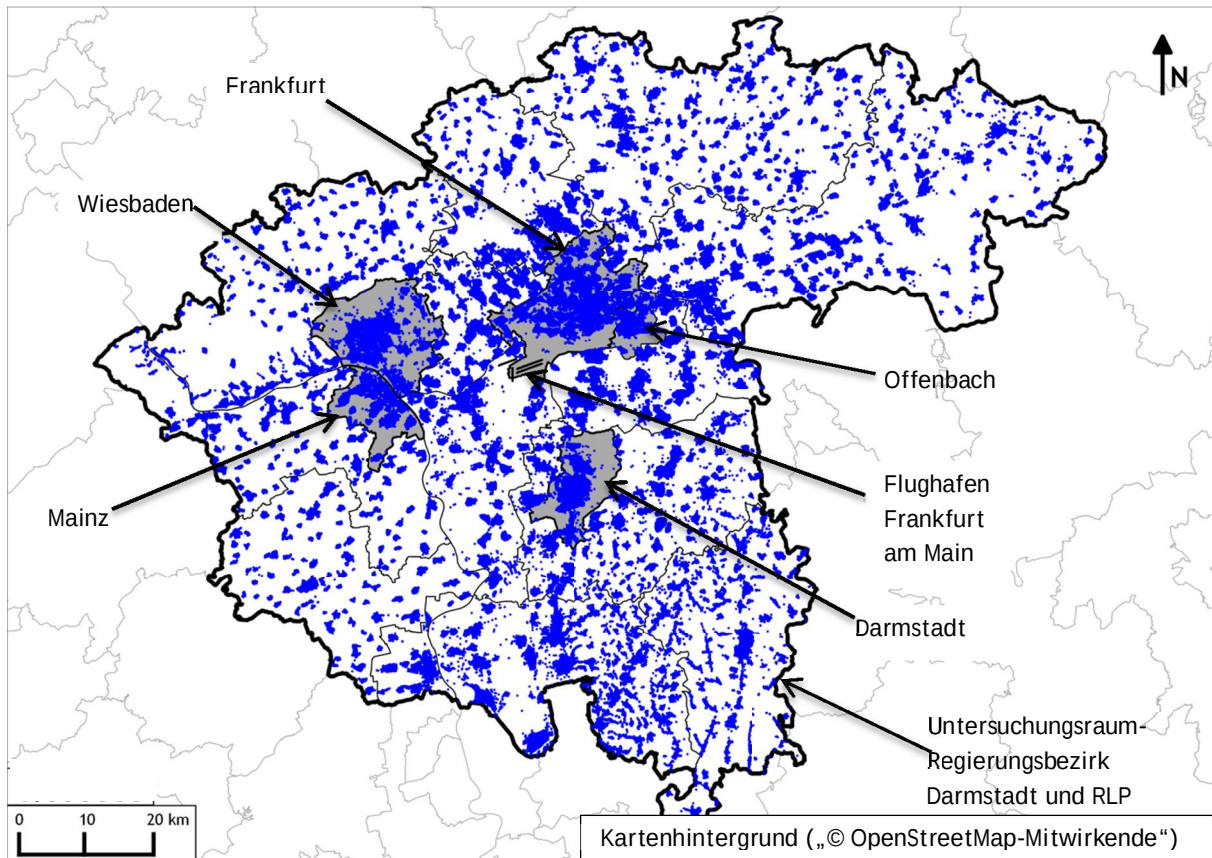


Abbildung 8-5: Untersuchungsgebiet Regierungsbezirk Darmstadt und RLP, indem sich Gebäudeadressen verteilen (schematisch)

Die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehrsaußengeräuschen werden aus Raster- und Einzelpunktberechnungen an den Gebäudeschwerpunktkoordinaten (Koordinaten des Flächenschwerpunktes der Gebäudeumrisse) der jeweiligen Gebäudeadresse berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.1 bzw. Anhang 1). Die Außengeräuschpegel aus Straßen- und Schienenverkehr werden, wie in Kapitel 2.3.3.2 beschrieben, berechnet. Für die benötigten Gebäudeadressen werden dann die Außengeräusche der „lautesten“ Fassadenseite als maßgebende Geräuschimmission verwendet.

Luftverkehrsgeräusche:

Im Rahmen der Sekundärdatenanalyse werden die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehr anhand von STANLY-Track Radarbahnen für die Kennzeichnungszeiten jahresweise, bezogen auf alle Tage eines Kalenderjahres, berechnet. Die Aufteilung der Verkehrsdaten erfolgte für alle Wochentage eines Jahres (Montag bis Sonntag) von Montag 00:00:01 Uhr bis Sonntag 24:00:00 Uhr (Jahresmittlungspegel). Die Zuweisung der Flugbewegungen zu den

jeweiligen Teilzeiten erfolgt gemäß der Zusammenhänge aus Kapitel 2.1.1.1. Unplausible Flugbewegungen wie beispielsweise Starts nach sowie Landungen aus Richtung Norden auf Startbahn 18 wurden anders als in Kapitel 7.1.1 erläutert nach Erkennung direkt aus den Flugbewegungsdatenbanken gelöscht und somit nicht zur Berechnung verwendet.

Straßenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsgeräusche werden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2005 berechneten Kennwerte gemäß den Zusammenhängen aus Kapitel 2.3.5 auf die Jahre 1996 bis 2010 skaliert.

Schienenverkehrsaußengeräusche:

Die Schienenverkehrsgeräusche der Jahre 1996 bis 2010 werden gemäß den Zusammenhängen aus Kapitel 2.3.5 aus den Kennwerten, die für die Jahre 2002, 2007 und 2010 berechnet wurden, ermittelt. Ein Überblick über die im Rahmen der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken berechneten akustischen Kenngrößen ist in Tabelle 8-5 dargestellt.

Tabelle 8-5: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Frankfurt aus Studienmodul 2, Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken

Akustische Kenngröße	Teilzeiten	Luftverkehr		Straßen- und Schienenverkehr
		Bezugszeit Referenzjahr 2005	Bezugszeit 1996 - 2010	Bezugszeit 1996 - 2010
$L_{pA,eq}$	08:00 – 19:00 Uhr	X	-	-
	19:00 – 20:00 Uhr	X	-	-
	20:00 – 21:00 Uhr	X	-	-
	21:00 – 22:00 Uhr	X	-	-
	22:00 – 23:00 Uhr	X	-	-
	23:00 – 24:00 Uhr	X	-	-
	24:00 – 01:00 Uhr	X	-	-
	01:00 – 02:00 Uhr	X	-	-
	02:00 – 03:00 Uhr	X	-	-
	03:00 – 04:00 Uhr	X	-	-
	04:00 – 05:00 Uhr	X	-	-
	05:00 – 06:00 Uhr	X	-	-
	06:00 – 07:00 Uhr	X	-	-
	07:00 – 08:00 Uhr	X	-	-
	07:00 – 23:00 Uhr	X	-	-
	23:00 – 07:00 Uhr	X	-	-
	05:00 – 23:00 Uhr	X	-	-
	23:00 – 05:00 Uhr	X	-	-
	06:00 – 22:00 Uhr	X	X	X

Akustische Kenngröße	Teilzeiten	Luftverkehr		Straßen- und Schienenverkehr
		Bezugszeit Referenzjahr 2005	Bezugszeit 1996 - 2010	Bezugszeit 1996 - 2010
	22:00 – 06:00 Uhr	X	X	X
	00:00 – 24:00 Uhr	X	-	-
L_{DN}	00:00 – 24:00 Uhr	X	-	-
$L_{pAS,max}$	06:00 – 22:00 Uhr	X	X	-
	22:00 – 06:00 Uhr	X	X	-
$L_{pAF,max}$	-	-	-	X
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung	06:00 – 22:00 Uhr	X	X	-
	22:00 – 06:00 Uhr	X	X	-

Die unterste Pegelklasse der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung (vgl. die letzten beiden Zeilen in obiger Tabelle) liegt zwischen 20 dB und 50 dB, danach enthält sie 5 dB Klassen ≥ 50 dB bis < 110 dB. Anmerkung: Bei der hier benannten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung handelt es sich um die für jeden Probanden berechnete Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung gemäß AzB. Diese unterscheidet sich von den im Anhang 14 dargestellten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen. Im Anhang 14 ist die Verteilung der nach NAT berechneten Maximalpegel über alle Probanden dargestellt.

Die in Tabelle 8-5 angegebene akustische Kenngröße L_{DN} wird durch gewichtete energetische Mittelung aus den Mittelungspegeln Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) gebildet, wobei der Mittelungspegel Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) einen Zuschlag von 10 dB erhält. Fehlende akustische Kenngrößen an Gebäudeadressen durch zu große Entfernungen zwischen Gebäuden und vorhandenen Straßen- bzw. Schienenlärmquellen im akustischen Rechenmodell wurden überarbeitet: Für ca. 2.000 nicht zugeordnete Adressen (vgl. Kapitel 2.3.2) werden Straßenpegel benachbarter Gebäude verwendet, um fehlende Berechnungspunkte auszugleichen. Im Fall von 260 Gebäuden werden Schienenverkehrspegel anhand benachbarter, näher an einer Schiene gelegener Gebäude abgeschätzt.

8.2.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr

In den nachfolgenden Ausführungen werden die berechneten Außenpegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr im Umgriff des Regierungsbezirks Darmstadt und Rheinhessen beispielhaft anhand einiger ausgewählter Pegel-Häufigkeitsverteilungen als Liniendiagramme dargestellt. Zunächst werden die Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel (außen) der drei Verkehrsträger für die Teilzeiten Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) gegenübergestellt. Darauf folgt ein Überblick über die Veränderung der Geräuschbelastung aus Luft- und Schienenverkehr über die einzelnen Jahre 1997 bis 2010 im Vergleich zum Referenzjahr 2005. Ein Vergleich der Mittelungspegel und Maximalpegel zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) ist Anhang 14 zu entnehmen. Die akustischen Kenngrößen der Luft- und Straßenverkehrsgeräusche sind für das Jahr 2005 und der Schienen-

verkehrsgeräusche für das Jahr 2010 als relative Pegel-Häufigkeitsverteilungen bezogen auf 863.200 Gebäude im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen dargestellt. Die Breite der Pegelklassen in den dargestellten Pegel-Häufigkeitsverteilungen wird analog zu den Zusammenhängen aus Kapitel 7.1.2 zu 2,5 dB gewählt. Die in den nachfolgenden Erläuterungen zu den Pegel-Häufigkeitsverteilungen genannten maximalen Häufungen an Gebäudeadressen beziehen sich immer auf Pegel oberhalb des Abbruchkriteriums von 40 dB (vgl. Kapitel 2.3.6.2). Die Pegel-Häufigkeiten ≤ 40 dB sind rein informativ dokumentiert. Nachfolgende Abbildung 8-6 stellt die relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel im Untersuchungsgebiet für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) dar.

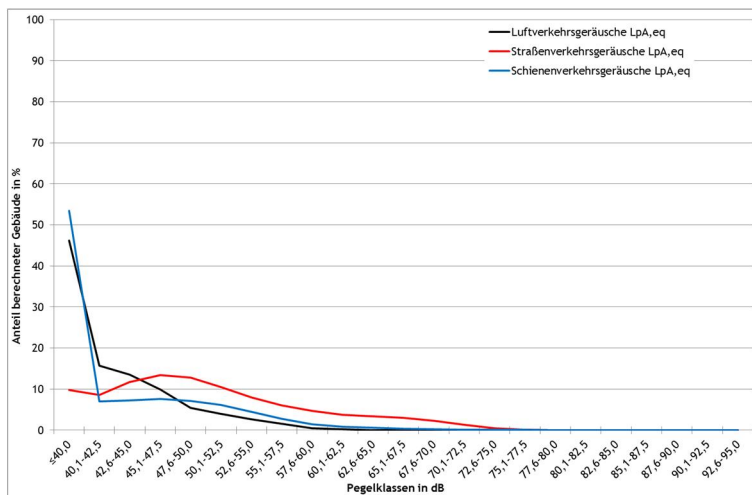


Abbildung 8-6: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft- und Straßenverkehrsgeräusche 2005 und Schienenverkehrsgeräusche 2010 an N = 863.200 Gebäudeadressen im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

Die Verteilung der Mittelungspegel aus Luftverkehr erstreckt sich über den Bereich $\leq 40,0$ dB bis 62,5 dB. Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich im Untersuchungsgebiet über den Bereich zwischen $\leq 40,0$ dB und 77,5 dB. Die Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsgeräusche erstreckt sich über den Bereich $\leq 40,0$ dB bis 80,0 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) in der Pegelklasse zwischen 40,1 dB und 42,5 dB. Dies betrifft ca. 16 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Innerhalb der Pegelklasse $\leq 40,0$ dB befinden sich ca. 46 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Straßenverkehrsgeräuschen zeigt, dass der größte Anteil an Gebäudeadressen zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) mit ca. 13 % in der Pegelklasse zwischen 45,1 dB und 47,5 dB liegt. Innerhalb der Pegelklasse $\leq 40,0$ dB befinden sich ca. 10 % der Gebäude im Untersuchungsgebiet. Zur Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) befinden sich ca. 8 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet innerhalb der Pegelklasse zwischen 45,1 dB und 47,5 dB aus Schienenverkehrsgeräuschen. Dies ist die Pegelklasse mit dem höchsten Anteil an Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Die Pegelklasse $\leq 40,0$ dB enthält insgesamt ca. 53 % der Gebäudeadressen.

Abbildung 8-7 enthält die Gegenüberstellung der Mittelungspegel aus Luft- und Straßenverkehr des Jahres 2005 sowie aus Schienenverkehr für das Jahr 2010 im Untersuchungsgebiet zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr).

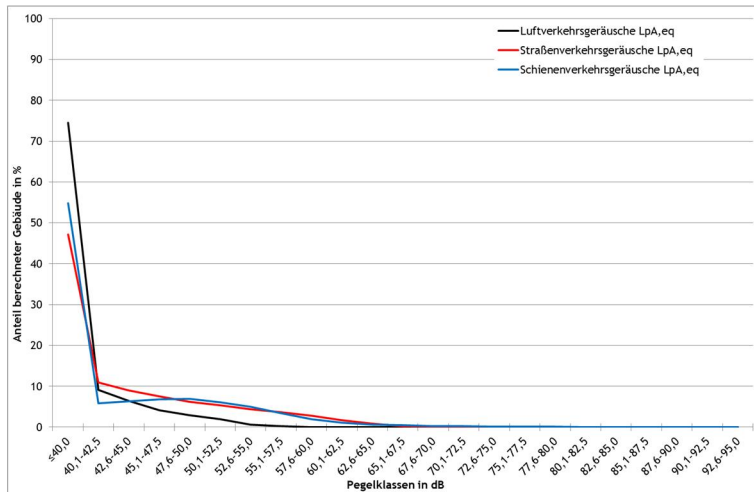


Abbildung 8-7: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft- und Straßenverkehrsgeschäus 2005 und Schienenverkehrsgeschäus 2010 an N = 863.200 Gebäudeadressen im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 40,0$ dB und 57,5 dB. Straßenverkehrsgeschäus erstrecken sich im Untersuchungsgebiet über den Bereich zwischen $\leq 40,0$ dB und 70,0 dB. Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstreckt sich über den Bereich $\leq 40,0$ dB und 80,0 dB. Zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) weisen ca. 9,2 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet Mittelungspegel aus Luftverkehr innerhalb der Pegelklasse zwischen 40,1 dB und 42,5 dB auf. Dies ist die Pegelklasse mit dem größten Aufkommen an Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Insgesamt ca. 75 % der Gebäudeadressen befinden sich in der Pegelklasse ≤ 40 dB. Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr weist zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) ein Maximum in der Pegelklasse zwischen 40,1 dB und 42,5 dB auf. Der Anteil an Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet liegt hier bei ca. 11 %. Die Pegelklasse $\leq 40,0$ dB enthält einen Anteil an Gebäuden von ca. 47 %. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Straßenverkehrsgeschäus liegt zur Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) in der Pegelklasse zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Dies betrifft ca. 7 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Innerhalb der Pegelklasse $\leq 40,0$ dB befinden sich ca. 55 % der Gebäudeadressen im Untersuchungsgebiet. Zur Untersuchung der zeitlichen Veränderung der Luftverkehrsgeschäus im Untersuchungsgebiet werden für die Teilzeit 06:00 - 22:00 Uhr an jedem Gebäude folgende Pegeldifferenz je Jahr (1996 - 2010) gebildet:

$$\Delta L = L_{pA,eq,1996 \text{ bis } 2010} - L_{pA,eq,2005} \quad (16)$$

Aus den Pegeldifferenzen je Gebäudeadresse werden je Jahr Mittelwerte mit Standardabweichung gebildet, um die Abweichungen der Jahre 1996 bis 2010 bezogen auf das Jahr 2005 zu erhalten (siehe Abbildung 8-8).

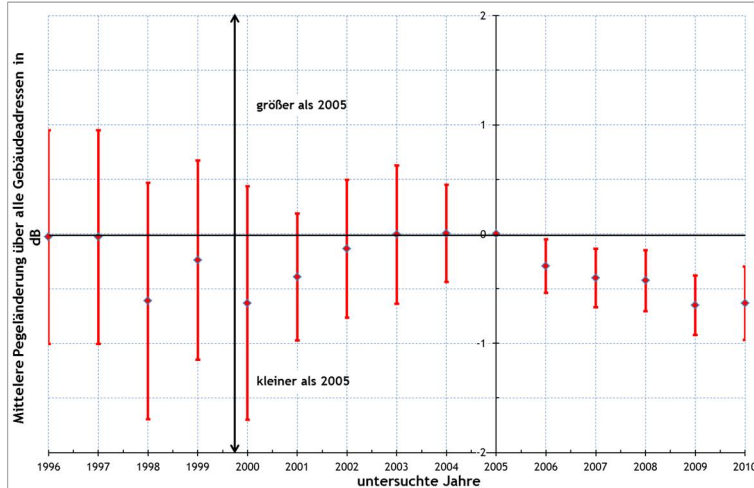


Abbildung 8-8: Abweichung der jährlichen Geräuschbelastung 1996 - 2010 vom Referenzjahr 2005 für die Teilzeit Tag 06:00 - 22:00 Uhr aus Luftverkehr. Mittelwert und Standardabweichung für $N = 863.200$ Gebäudeadressen (Mittelwerte als rote Rauten, Standardabweichung als rote Fehlerbalken)

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in Abbildung 8-8 dargestellt. Es zeigt sich eine Veränderung der Luftverkehrsgeräusche bezogen auf das Jahr 2005 von im Mittel weniger als 1 dB. Aufgrund der in Kapitel 2.3.5 beschriebenen Skalierung der Pegel aus Straßenverkehr ist die Darstellung der Abweichungen der Geräuschbelastung der Jahre 1996 bis 2010 bezogen auf das Jahr 2005 nicht aussagekräftig. Die Untersuchung der Abweichungen der Pegel aus Schienenverkehr kann aufgrund der Ausgangsdatenbasis (vgl. Kapitel 3.5.1) nur für die Jahre 2002 und 2010 bezogen auf das Jahr 2007 erfolgen. Daher wurden für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) an jeder Gebäudeadresse Pegeldifferenzen in Anlehnung an Gleichung (16) berechnet. Aus den Pegeldifferenzen je Gebäudeadresse werden je Jahr Mittelwerte mit Standardabweichung gebildet (siehe Abbildung 8-9).

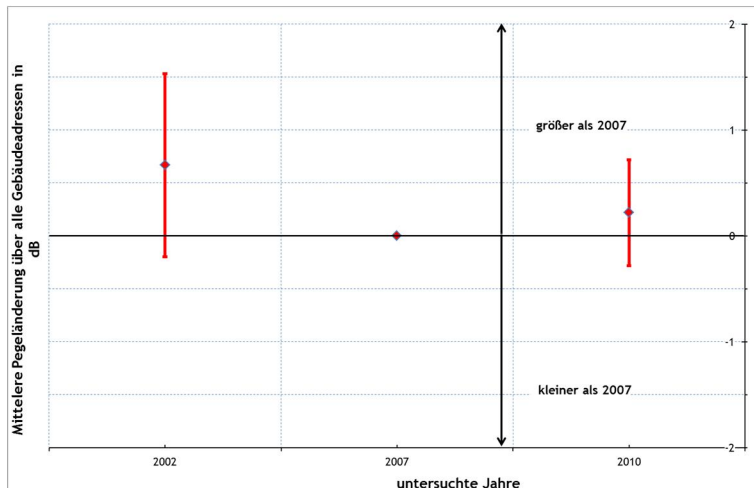


Abbildung 8-9: Abweichung der jährlichen Schienenverkehrsgeräuschbelastung aus 2002 und 2010 bezogen auf das Jahr 2007 für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) an N = 863.200 Gebäudeadressen (Mittelwerte als rote Rauten, Standardabweichung als rote Fehlerbalken)

Die Pegel aus Schienenverkehr der Jahre 2002 und 2010 sind tendenziell um weniger als 1 dB größer als die Pegel aus Schienenverkehr des Jahres 2007.

8.2.3 Abschätzung der Innengeräusche in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken

Die Berechnung der „fassadenscharfen“ Außenpegel erfolgt anhand der im Rahmen der Sekundärdatenanalyse berechneten Außenpegel der „lautesten“ Fassade für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche. Unter Zuhilfenahme der Fragebogenangaben zur Ausrichtung der Schlafräume (bzw. Wohnräume) der Probanden wird der berechnete Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes wie folgt abgeschätzt:

$$L_0 = L_{pA,eq} + \Delta L_z \quad (17)$$

L_0 nach VDI 2719 (1987) berechneter Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster des jeweiligen Raumes

$L_{pA,eq}$ berechneter Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade

ΔL_z Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Ausrichtung des Schlafzimmers bzw. Wohnzimmers bezogen zur Straße bzw. Schiene

Da Luftverkehrsgeräusche von oben auf alle Fassaden eines Gebäudes gleichermaßen einwirken, müssen die Außenpegel aus Luftverkehr nicht umgerechnet werden. Für die maßgeblichen A-bewerteten Außenschallpegel vor dem Fenster eines Raumes aus Luftverkehr gilt:

$$L_0 = L_{pA,eq} \quad (18)$$

Nachfolgende Tabellen beinhalten die zur Berechnung der maßgeblichen A-bewerteten Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes nötigen Pegelkorrekturwerte ΔL_z für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche – für Schlaf- (SZ) bzw. Wohnzimmer (WZ) – gemäß der angegebenen Fragebogenitems. Die Annahmen zu seitlicher bzw. voller Abschirmung durch seitliche bzw. abgewandte Lage der Räume zur Schallquelle wurden der VDI 2571 entnommen (VDI 2571, 1976). Bei fehlender Angabe zur Ausrichtung der Räume wird keine Pegelkorrektur vorgenommen, da die Ausrichtung der Räume immer unveränderlich ist. Für diese Fälle wird angenommen, dass der Raum und somit das Fenster zur „lautesten“ Fassade ausgerichtet ist. Bei fehlenden Angaben zur Fensterstellung wird demgegenüber eine Mittelung aus den Fragebogenangaben des Blutdruckmonitorings (vgl. Kapitel 8.1.1) angesetzt, insbesondere da die Fensterstellung auch individuell zeitlich veränderlich ist. Da die Fragebögen lediglich die Lage der Schlafzimmer (SZ) zu Straße oder Schiene beinhalten, nicht aber die Lage der Wohnzimmer (WZ), muss eine Annahme für die Lage der WZ zu Straße oder Schiene getroffen werden. Die Lage der WZ wird als immer entgegengesetzt zum SZ definiert, um SZ und WZ mit einem Fragebogenitem abfragen zu können.

Tabelle 8-6: Außenpegelkorrektur durch die Lage eines Raumes zur Straße (Item_07.02 (08.03, 09.03, 10.03, 11.03))

Schlafzimmer (SZ)			
Wert	Bedeutung	ΔL_z Straße SZ in dB	Beeinflusst
0	Keine Angabe	0	L_0
1	Von der Straße abgewandt	-20	L_0
2	Seitlich zur Straße	-5	L_0
3	Der Straße zugewandt	0	L_0
4	Abstand zur Straße beträgt mehr als 100 m	0	L_0
Wohnzimmer (WZ)			
Wert	Bedeutung	ΔL_z Straße WZ in dB	Beeinflusst
0	Keine Angabe	0	L_0
1	Der Straße zugewandt	0	L_0
2	Seitlich zur Straße	-5	L_0
3	Von der Straße abgewandt	-20	L_0
4	Abstand zur Straße beträgt mehr als 100 m	0	L_0

Tabelle 8-7: Außenpegelkorrektur durch die Lage eines Raumes zur Schiene (Item_07.04 (08.05, 09.05, 10.05, 11.05))

Schlafzimmer (SZ)			
Wert	Bedeutung	ΔL_z Schiene SZ in dB in dB	Beeinflusst
0	Keine Angabe	0	L_0
1	Von der Bahnlinie abgewandt	-20	L_0
2	Seitlich zur Bahnlinie	-5	L_0
3	Der Bahnlinie zugewandt	0	L_0
Wohnzimmer (WZ)			
Wert	Bedeutung	ΔL_z Schiene WZ in dB in dB	Beeinflusst
0	Keine Angabe	0	L_0
1	Der Bahnlinie zugewandt	0	L_0
2	Seitlich zur Bahnlinie	-5	L_0
3	Von der Bahnlinie abgewandt	-20	L_0

Abschätzung der Innenpegel:

Der Ansatz zur Ermittlung der Innenpegel ist über die Abschätzung des resultierenden Schalldämm-Maßes der Außenbauteile eines Raumes und der damit verbundenen Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel aus VDI 2719 (1987) gegeben:

$$\Delta L = L_a - L_i \quad (19)$$

ΔL Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel;
 L_a maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel vor der Außenfläche in dB;
 L_i A-bewerteter Innenschallpegel in dB;

Gemäß VDI 2719 (1987) ist der maßgebliche A-bewertete Außenschallpegel vor der Außenfläche eines Gebäudes wie folgt definiert:

$$L_a = L_0 + 3dB \quad (20)$$

L_0 ist dabei der Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes gemäß Gleichung (17) für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche und gemäß Gleichung (18) für Luftverkehrsgeräusche. Mit Gleichung (19) und unter Berücksichtigung der Fragebogenangaben zur Fensterstellung der Schlaf- bzw. Wohnräume je Jahreszeit kann folgender Ansatz zur Abschätzung der Innenpegel in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken ermittelt werden. Es gilt:

$$L_i = L_a - \Delta L_f \quad (21)$$

ΔL_f Differenz zwischen Außen- und Innenpegel gebildet aus den Angaben zur Fensterstellung je Jahreszeit (Sommer bzw. Winter) und Raum (Schlafzimmer bzw. Wohnzimmer)

In nachfolgender Tabelle 8-8 sind die Pegeldifferenzen gemäß den Fragebogenangaben zur Fensterstellung ΔL_f für Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche angegeben.

Tabelle 8-8: Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel durch die Fensterstellung je Jahreszeit und Raum

Wert	Bedeutung	ΔL_f Flug in dB	ΔL_f Straße in dB	ΔL_f Schiene in dB
0	Keine Angabe	19	20	20
1	Überwiegend geöffnet	0	0	0
2	Überwiegend gekippt	15	15	15
3	Überwiegend geschlossen	36	39	39

Die Pegeldifferenzen ΔL_f für die Fensterstellung werden aus den im Rahmen der Innenpegelberechnung für das Blutdruckmonitoring gebildeten Pegeldifferenzen ermittelt (vgl. Kapitel 8.1.1). Jedoch gibt es bei den Fragestellungen im Blutdruckmonitoring und in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken Unterschiede bezüglich der möglichen Fensterstellung. Während im Blutdruckmonitoring nur die möglichen Fensterstellungen „überwiegend geöffnet“ (bzw. gekippt) und „überwiegend geschlossen“ möglich waren, gab es in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken die Möglichkeiten „überwiegend geöffnet“, „überwiegend gekippt“ sowie „überwiegend geschlossen“. In beiden Teilstudien von Studienmodul 2 sind Probanden enthalten, die keine Angaben zur Fensterstellung gemacht hatten. Der Berechnung der Pegeldifferenzen zur Fensterstellung in der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken liegen folgende Annahmen zugrunde.

Keine Angaben zur Fensterstellung:

Berechnung von arithmetischen Mittelwerten für die Pegeldifferenzen ΔL_f Flug, ΔL_f Straße und ΔL_f Schiene aus den Pegeldifferenzen zu den Fensterstellungen überwiegend gekippt / geöffnetes Fenster und überwiegend geschlossenes Fenster aus dem Blutdruckmonitoring (vgl. Teil II, Kapitel 8.1.1, Tabelle 8-3). Die arithmetische Mittelung der Fensterstellungen bei fehlender Angabe ist deswegen sinnvoll, da die Fensterstellung bezogen auf ein Jahr veränderlich ist. Beispielsweise wird ein Proband, der angibt, sein Fenster sei überwiegend geschlossen, dieses zeitweise zum Lüften des Raumes öffnen oder kippen. Dies gilt auch für Probanden, die keine Angaben zur Fensterstellung gemacht haben.

Fensterstellung überwiegend geschlossen:

Berechnung von arithmetischen Mittelwerten für die Pegeldifferenzen ΔL_f Flug, ΔL_f Straße und ΔL_f Schiene aus den Pegeldifferenzen zu den Fensterstellungen überwiegend geschlossenes Fenster aus dem „Blutdruckmonitoring“ (vgl. Teil II, Kapitel 8.1.1, Tabelle 8-4).

Fensterstellung überwiegend geöffnet:

In diesem Fall liegt keine schalldämmende Wirkung der Fenster vor.

Fensterstellung gekippt:

Die Pegeldifferenzen wurden mit einer Pegelminderung von 15 dB angenommen (VDI 2719, 1987). Die Innenpegel aus Luftverkehrsgeräuschen berechnen sich gemäß den Gleichungen (18) und (20) in Verbindung mit Gleichung (21) zu:

$$L_i = L_{pA,eq} + 3 \text{ dB} - \Delta L_f \quad (22)$$

Pegelskorrekturen ΔL_f für Fensterstellung werden je Raum (SZ bzw. WZ) und Jahreszeit (Sommer bzw. Winter) gemäß Tabelle 8-8 in Abhängigkeit der Fragebogenitems vergeben. Zur Berechnung der Innenpegel aus Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen werden Gleichungen (17), (20) und Gleichung (21) kombiniert:

$$L_i = L_{pA,eq} + \Delta L_z + 3 \text{ dB} - \Delta L_f \quad (23)$$

Die Pegelskorrekturen ΔL_z zur Umrechnung der Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade auf Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes für Straßenverkehrsgeräusche werden gemäß Tabelle 8-6 für SZ bzw. WZ in Abhängigkeit der Fragebogenitems vergeben. Die Pegelskorrekturen zur Umrechnung der Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade auf Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes werden für Schienenverkehrsgeräusche in Abhängigkeit der Fragebogenitems gemäß Tabelle 8-7 für SZ bzw. WZ nur dann angesetzt, wenn der Proband angab, in der Nähe einer Bahnstrecke zu wohnen. Die Pegelskorrekturen für die Fensterstellung werden gemäß Tabelle 8-8 in Abhängigkeit von den Fragebogenitems vergeben.

Wohnorte außerhalb des Studiengebietes und Abbruchkriterium:

Die berechneten Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade werden mit einem Abbruchkriterium versehen. Nach diesem Kriterium werden Mittelungs- und Maximalpegel aus Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen kleiner 40 dB mit „-“ gekennzeichnet. Bei Luftverkehrsgeräuschen werden Mittelungspegel kleiner 40 dB und Maximalpegel kleiner 50 dB mit „-“ gekennzeichnet. Für Immissionsorte, die abgeschnittene Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade enthalten, können keine Innenpegel berechnet werden. Diese werden daher ebenfalls mit „-“ zu gekennzeichnet (vgl. Kapitel 2.3.6.2). An Immissionsorten, die keine abgeschnittenen Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade erhielten, werden die berechneten Innenpegel aus Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräuschen mit „-“ gekennzeichnet, sofern sie kleiner 15 dB sind (vgl. Kapitel 2.3.6.1). War in den

Fragebögen angegeben, dass ein Proband außerhalb des Untersuchungsgebietes Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen wohnt oder gewohnt hat, so können für diese Wohnorte keine Freifeld-Außenpegel an der „lautesten“ Fassade aus den akustischen Kenngrößen der Sekundärdatenanalyse zugewiesen werden. Gleiches gilt für Jahresangaben außerhalb der Jahre 1996 – 2010. (Für Wohnorte außerhalb des Studiengebietes und außerhalb der Jahre 1996 – 2010 gilt: Wenn gemäß Fragebogen der Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken Item_07.01 bis Item_07.01e (08.02_1 bis 08.02e, 09.02_1 bis 09.02e, 10.02_1 bis 10.02e, 11.02_1 bis 11.02e) außerhalb „adresspool20130820, dann $L_{pA,eq} \rightarrow „-“$.) Folglich werden an diesen Wohnorten Innenpegel ebenfalls mit „-“ gekennzeichnet. Durch das oben beschriebene Abschätzverfahren können sich unrealistisch hoch erscheinende Innenpegel ergeben, wenn beim Befragten eine Straße oder Eisenbahn unmittelbar vor dem Wohn- /Schlafzimmer vorbeiführt und zugleich das Fenster ganz geöffnet ist. Ein Teil der Befragten hat zwar angegeben, dass das Fenster ganz geöffnet (nicht gekippt) sei; es ist jedoch unklar, wie lange das Fenster ganz geöffnet ist und ob ggf. dauerhaft doch eher ein gekipptes Fenster unterstellt werden müsste. Eine nachträgliche Anpassung der Antworten der Befragten im Sinne, dass ein geöffnetes Fenster akustisch wie ein gekipptes Fenster zu betrachten ist, erscheint jedoch willkürlich, da der Befragte beide Fensterstellungen im unmittelbaren Vergleich wählen konnte.

9 Studienmodul 3 „Kognitive Entwicklung und Lebensqualität von Kindern“

9.1 Aufgabenstellung

Da in Studienmodul 3 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“ die chronische Wirkung von Luftverkehrsgeräuschen im Vordergrund stand, waren die akustischen Kenngrößen an den Grundschulen und Probandenadressen für die Erhebungszeit von 16.05.2011 bis 15.05.2012 zu berechnen. Zusätzlich mussten die Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche für das Jahr 2012 berechnet werden. Im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung war die akustische Belastung an den Grundschulen durch Luftverkehrsgeräusche für die Erhebungszeit 16.05.2013 bis 15.05.2014 zu berechnen. Aus den berechneten Außengeräuschen an den Grundschulen wurden anhand der aus Erhebungen berechneten Schalldämm-Maße der Außenbauteile Innengeräusche in ausgewählten Klassenräumen abgeschätzt. Die Nachhallzeit in den Klassenräumen wurde durch Schallmessungen bestimmt, die durch das Hörzentrum Oldenburg durchgeführt wurden (siehe Anhang 17). Die Außengeräusche aus Luftverkehr wurden mittels Einzelpunktberechnung an den Gebäudeschwerpunktkoordinaten (Koordinaten des Flächenschwerpunktes der Gebäudeumrisse) der jeweiligen Grundschulen bzw. der jeweiligen Probandenadressen berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.1). Die Außengeräusche aus Straßen- und Schienenverkehr wurden mittels Gebäudelärmkarten berechnet (automatisierte Berechnung von Fassadenpunkten an Gebäuden mit Angabe Wohngebäude, vgl. Kapitel 2.3.3.2). Für die jeweils benötigten Probandenadressen wurden die Außengeräusche der „lautesten“ Fassadenseite als maßgebende Geräuschemission verwendet. An den Grundschulen wurden zunächst jeweils die Pegel aller Fassadenseiten als Geräuschemission ausgewiesen. Anhand der Angaben aus den Ergebnissen zur Erhebung der Außenbauteile wurden dann die maßgebenden Fassadenseiten zu Berechnung der Innengeräusche ausgewählt (vgl. Kapitel 2.3.4).

Eine Übersicht der georeferenzierten Lage der Grundschulen und Wohnorte ist in Abbildung 9-1 dargestellt.

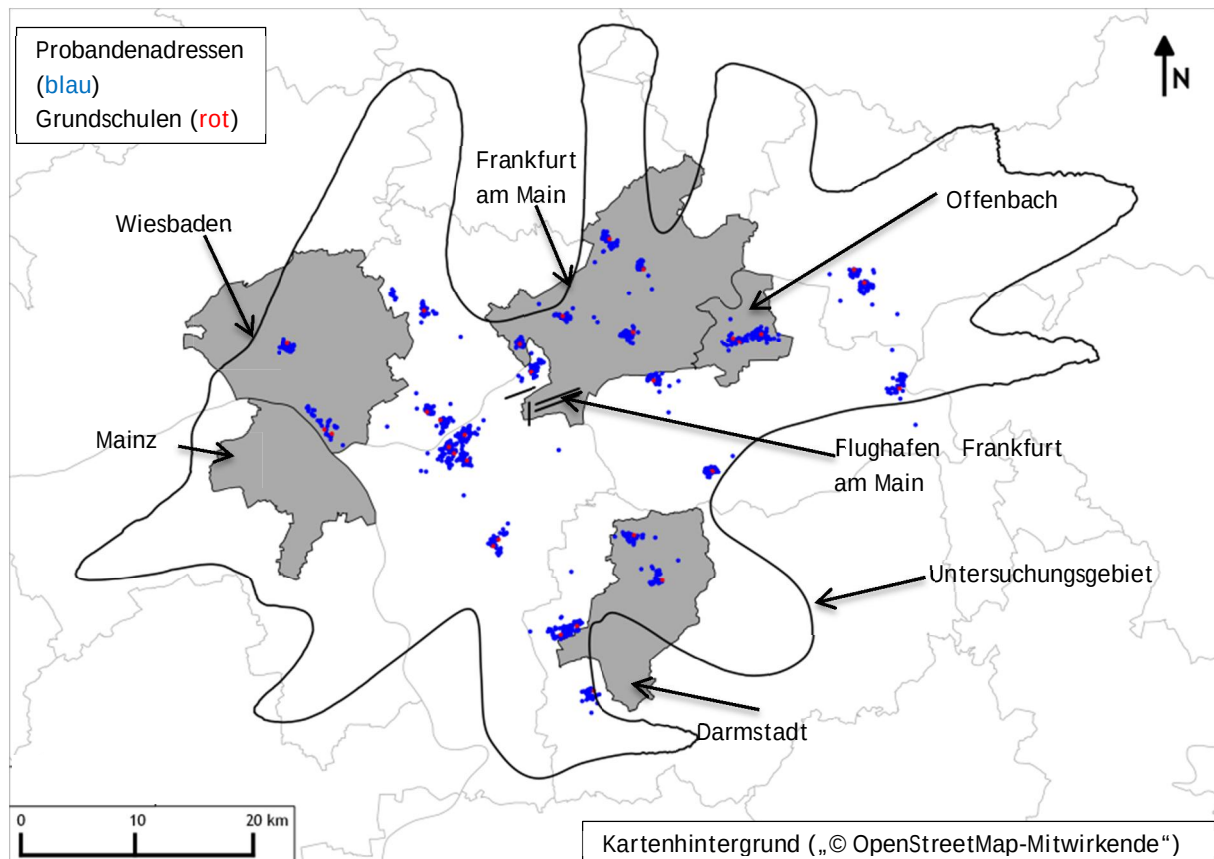


Abbildung 9-1: Verteilung der Probandenadressen (blau) und Grundschulen (rot) aus Studienmodul 3 im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch) (Kartenhintergrund „© OpenStreetMap-Mitwirkende“)

Für einen besseren Überblick sind in nachfolgender Tabelle 9-1 die allgemeinen Eckdaten in Studienmodul 3 gegenübergestellt.

Tabelle 9-1: Überblick der allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen im Studienmodul 3

Erhebungswelle	Erhebungszeit Luftverkehrsgeräusche	Erhebungszeit Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	Anzahl betrachteter Probandenadressen bzw. Klassenräume N
Wohnorte	16.05.2011 bis 15.05.2012	2012	1.309
Grundschulen 1. Welle	16.05.2011 bis 15.05.2012	2012	85
Grundschulen 2. Welle	16.05.2013 bis 15.05.2014	-	85

Anmerkung: Die Ergebnisse zu Grundschulen 2. Welle sind im Anhang 15 dargestellt.

Luftverkehrsgeräusche:

Die akustische Belastung durch den Luftverkehr an den Probandenadressen wird durch die folgenden Parameter beschrieben. Für die Probandenadressen werden zur Berechnung alle

Flugbewegungen von Montag 00:00.01 Uhr bis Sonntag 24:00:00 Uhr innerhalb der Erhebungszeit zugrunde gelegt. Die berechneten Mittelungspegel beziehen sich auf eine Kennzeichnungszeit von 366 Tagen. Für die Grundschulen werden zur Berechnung alle Flugbewegungen von Montag 00:00.01 Uhr bis Freitag 24:00:00 Uhr, d. h. ohne die Wochenenden aber mit Feiertagen, innerhalb der Erhebungszeit zugrunde gelegt. Die Übernahme der Flugbewegungen an Feiertagen erfolgt aus erhebungsökonomischen Gründen. Die berechneten Mittelungspegel beziehen sich auf eine Kennzeichnungszeit von 262 Tagen (wegen Schaltjahr 366 Tage abzügl. Wochenenden 52x2). Die Zuweisung der Flugbewegungen zu den jeweiligen Teilzeiten erfolgt analog zu Kapitel 2.1.1.1. Unplausible Flugbewegungen werden wie in Kapitel 8.2.1 beschrieben nach Erkennung aus der Flugbewegungsdatenbank gelöscht.

Straßenverkehrsgeräusche:

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeit wird die in Kapitel 7.1.1 beschriebene Skalierung vorgenommen (vgl. Kapitel 2.3.5). Im Unterschied zu Studienmodul 1 werden die Straßenverkehrsgeräusche nur für das Jahr 2012 skaliert. Die Berechnung der Pegel für Tag (06:00 – 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) sowie des L_{DEN} erfolgt analog zu Kapitel 7.1.1.

Schienenverkehrsgeräusche:

Die Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche erfolgt analog zur Vorgehensweise aus Kapitel 7.1.1 (vgl. Kapitel 2.3.5) mit dem Unterschied, dass die für 2010 berechneten Schienenverkehrsgeräusche auch für das Jahr 2012 übernommen werden. Die Berechnung der Pegel für die Teilzeit Tag (06:00 – 18:00 Uhr) und Abend (18:00 – 22:00 Uhr) sowie des L_{DEN} erfolgt analog zu Kapitel 7.1.1. Zur Abschätzung der Innenpegel werden die Angaben aus den Erhebungsbögen bzgl. der Raumgeometrien und die Nachhallzeitmessungen (vgl. Band 1 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“) entnommen. Da für die Klassenräume 1404, 4501, 4502 sowie 4503 weder Erhebungsbögen noch Messergebnisse zu Nachhallzeiten vorhanden sind, werden hierfür zur Berechnung der Innenpegel folgende Annahmen getroffen:

1. Klassenraum 1404 besitzt ähnliche bauakustische Eigenschaften und Raumgeometrien wie die Räume 1401, 1402 und 1403, daher wurde die Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel über den arithmetischen Mittelwert aus den Räumen 1401, 1402 und 1403 ermittelt. Zusätzlich werden für die Nachhallzeit und das Schalldämm-Maß gemittelte Werte verwendet.
2. Für die Räume 4501, 4502 und 4503 des Gebäudes 45 wird die Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel durch den Mittelwert dieser Differenz über alle anderen Klassenräume ersetzt, da es nach der Renovierung dieser Schule keine neue Erhebung der Außenbauteile gab. Da die Schüler aber während der Renovierungsarbeiten in diesen Klassenräumen unterrichtet wurden und die Räume alle nahezu baugleich sind, werden die Schalldämm-Maße berechnet, die anhand der Erhebungen für den Klassenraum im Gebäude während der Renovierung ermittelt wurden.

Eine Übersicht der in Studienmodul 3 berechneten akustischen Kenngrößen zu Außengeräuschen ist in Tabelle 9-2 dargestellt.

Tabelle 9-2: Akustische Kenngrößen zu den Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsaußenpegeln an den Wohnstandorten und Grundschulen

Akustische Kenngröße	Teilzeit	Luftverkehr		Straßen- und Schienenverkehr
		Probandenadressen Bezugszeit Mo - So	Grundschulen Bezugszeit Mo - Fr	Wohnorte und Grundschulen Bezugszeit Mo - So bzw. Mo - Fr
$L_{pA,eq}$	05:00 – 06:00 Uhr	X		
	06:00 – 08:00 Uhr	X		
	08:00 – 14:00 Uhr	X	X	
	14:00 – 18:00 Uhr	X		
	18:00 – 20:00 Uhr	X		
	20:00 – 22:00 Uhr	X		
	22:00 – 23:00 Uhr	X		
	23:00 – 05:00 Uhr	X		
	06:00 – 18:00 Uhr	X		X
	18:00 – 22:00 Uhr	X		X
	06:00 – 22:00 Uhr	X		X
	22:00 – 06:00 Uhr	X		X
L_{DEN}	00:00 – 24:00 Uhr	X		X
$L_{pAS,max}$	06:00 – 22:00 Uhr	X		
	08:00 – 14:00 Uhr		X	
	22:00 – 06:00 Uhr	X		
$L_{pAF,max}$	-	-	-	X
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung	06:00 – 22:00 Uhr	X		
	08:00 – 14:00 Uhr		X	
	22:00 – 06:00 Uhr	X		

Anmerkung: Der L_{DEN} wird nur an den Wohnorten berechnet.

Die unterste Pegelklasse der Maximalpegelverteilung liegt bei 20 dB bis 50 dB, danach enthält sie 5 dB Klassen ≥ 50 dB bis < 110 dB. Anmerkung: Bei der hier benannten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung handelt es sich um die für jeden Probanden berechnete Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung gemäß AzB. Diese unterscheidet sich von den im Anhang 15 dargestellten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen. Im Anhang 15 ist die Verteilung der nach NAT berechneten Maximalpegel über alle Probanden dargestellt. Eine Übersicht der in

Studienmodul 3 ermittelten akustischen Kenngrößen zu Innengeräuschen an den Grundschulen ist in Tabelle 9-3 dargestellt.

Tabelle 9-3: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsinnenpegeln an den Grundschulen

Akustische Kenngröße	Teilzeit	Luftverkehr	Straßen- und Schienenverkehr
		Grundschulen Bezugszeit Mo – Fr	
$L_{pA,eq}$	06:00 – 18:00 Uhr	-	X
	08:00 – 14:00 Uhr	X	
$L_{pAS,max}$	08:00 – 14:00 Uhr	X	
$L_{pAF,max}$	-		X
Maximalpegel-häufigkeitsverteilung außen	08:00 – 14:00 Uhr	X	-

9.2 Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr

In den nachfolgenden Ausführungen werden die berechneten Außengeräusche aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr des Studienmoduls 3 in Frankfurt beispielhaft anhand einiger ausgewählter Pegel-Häufigkeitsverteilungen als Liniendiagramme dargestellt. Zunächst werden die Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel (außen) der drei Verkehrsträger für die Teilzeiten Tag (06:00 – 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) an den 1.309 Probandenadressen gegenübergestellt. Darauf folgt die Gegenüberstellung der Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Außen- und Innengeräusche aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr für die Teilzeiten Tag (08:00 – 14:00 Uhr) bzw. Tag (06:00 – 18:00 Uhr) an den 85 Klassenräumen. Quellspezifische Gegenüberstellungen der Mittelungs- und Maximalpegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen an den 1.309 Probandenadressen und den 85 Klassenräumen sind dem Anhang 15 zu entnehmen. Die Breite der Pegelklassen in den dargestellten Pegel-Häufigkeitsverteilungen wird analog zu den Zusammenhängen aus Kapitel 7.1.2 zu 2,5 dB gewählt. Die in nachfolgenden Erläuterungen zu den Pegel-Häufigkeitsverteilungen genannten maximalen Häufungen an Probandenadressen beziehen sich immer auf Pegel oberhalb des Abbruchkriteriums von 30,0 dB bzw. 15,0 dB (vgl. Kapitel 2.3.6.1). Die Pegel-Häufigkeiten $\leq 30,0$ dB bzw. $\leq 15,0$ dB sind rein informativ dokumentiert. In Abbildung 9-2 ist die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr (außen) bezogen auf 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) dargestellt.

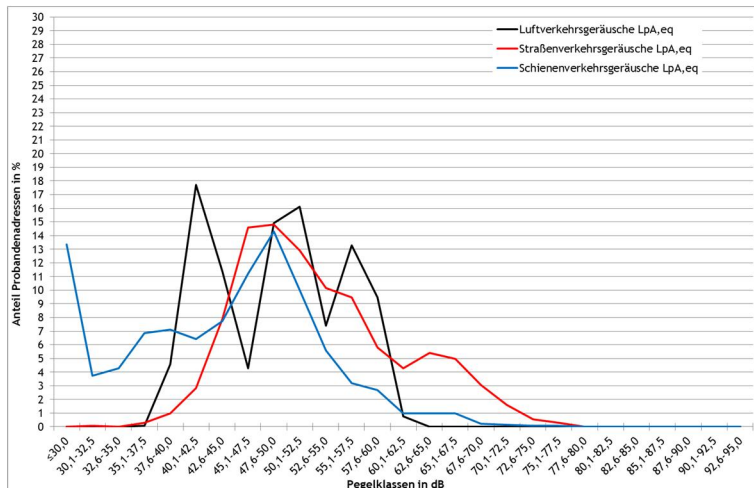


Abbildung 9-2: Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straße- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 62,5 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 30,1 dB und 77,5 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich im Untersuchungsgebiet über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 77,5 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehr zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) liegt zwischen 40,1 dB und 42,5 dB. Innerhalb dieser Pegelklasse befinden sich ca. 18 % der Probandenadressen. An ca. 5 % der Probandenadressen liegt der Mittelungspegel im Pegelbereich $\leq 40,0$ dB. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält keine Probandenadressen. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Straßenverkehr liegt zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Dies betrifft ca. 15 % der Probandenadressen. Ca. 1 % der Probandenadressen weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB beinhaltet keine Probandenadressen. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Schienenverkehr liegt zur Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr) an ca. 14 % der Probandenadressen zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. An ca. 35 % der Probandenadressen liegt der Mittelungspegel bei $\leq 40,0$ dB. Ca. 13 % der Probandenadressen befinden sich innerhalb der Pegelklasse $\leq 30,0$ dB. In Abbildung 9-3 ist die Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) bezogen auf 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) dargestellt.

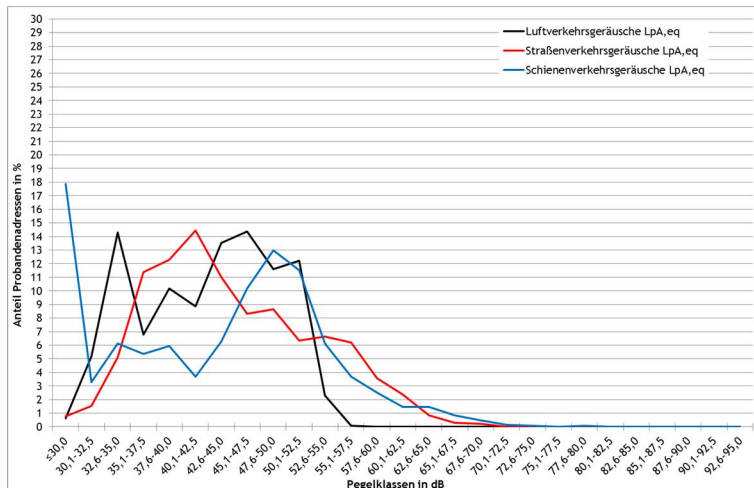


Abbildung 9-3: Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straße- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 57,5 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 70,0 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 80,0 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehr zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) liegt zwischen 45,1 dB und 47,5 dB. In dieser Pegelklasse befinden sich ca. 14 % der Probandenadressen. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet ca. 37 % der Probandenadressen. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält ca. 1 % der Probandenadressen. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr liegt zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) zwischen 40,1 dB und 42,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 14 % der Probandenadressen. Insgesamt ca. 31 % der Probandenadressen weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Ca. 1 % der Probandenadressen befindet sich innerhalb von $\leq 30,0$ dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehr liegt zur Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr) zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 13 % der Probandenadressen. Insgesamt 39 % der Probandenadressen weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Ca. 18 % der Probandenadressen befindet sich innerhalb von $\leq 30,0$ dB. In Abbildung 9-4 sind die relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) bezogen auf 85 Klassenräume für die Teilzeit Tag (08:00 – 14:00 Uhr) aus Luftverkehr und Tag (06:00 – 18:00 Uhr) aus Straßen- und Schienenverkehr dargestellt.

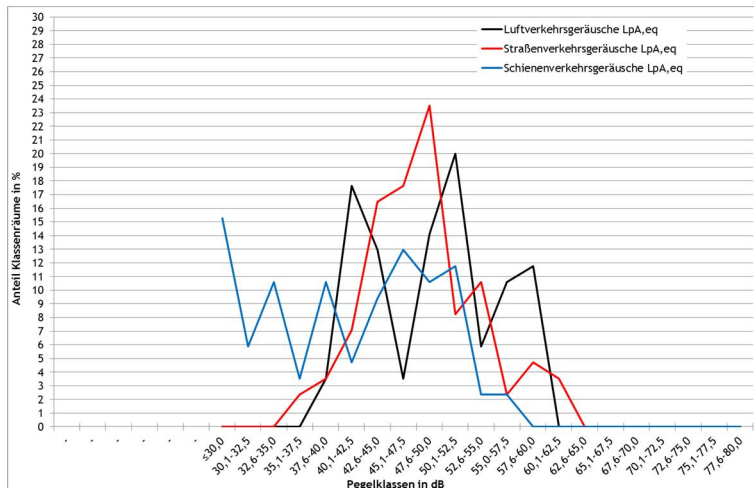


Abbildung 9-4: Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 – 14:00 Uhr) für Luftverkehrsgeräusche und Tag (06:00 – 18:00 Uhr) für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

Die Mittelungspegel aus Luftverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen 37,6 dB und 60,0 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehrsgeräuschen erstrecken sich über den Bereich zwischen 35,1 dB und 62,5 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehr erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 30,0$ dB und 57,5 dB. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehrsgeräuschen zur Teilzeit Tag (08:00-14:00 Uhr) liegt zwischen 50,1 dB und 52,5 dB. In dieser Pegelklasse befinden sich ca. 20 % der Klassenräume. Der Pegelbereich $\leq 40,0$ dB beinhaltet ca. 4 % der Klassenräume. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB enthält keine Klassenräume. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr) zwischen 47,6 dB und 50,0 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 24 % der Klassenräume. Insgesamt 6 % der Klassenräume weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Die Pegelklasse $\leq 30,0$ dB beinhaltet keine Klassenräume. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr) zwischen 45,1 dB und 47,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 13 % der Klassenräume. Insgesamt 46 % der Klassenräume weisen einen Mittelungspegel von $\leq 40,0$ dB auf. Ca. 15 % der Klassenräume befindet sich innerhalb von $\leq 30,0$ dB. In Abbildung 9-5 sind die relativen Pegel-Häufigkeitsverteilungen der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (innen) bezogen auf 85 Klassenräume für die Teilzeit 08:00 - 14:00 Uhr (Unterrichtszeit) aus Luftverkehr und 06:00 - 18:00 Uhr aus Straßen- und Schienenverkehr (für diese beiden Verkehrslärmquellen lagen keine differenzierten Daten für die Unterrichtszeit zur Verfügung) dargestellt.

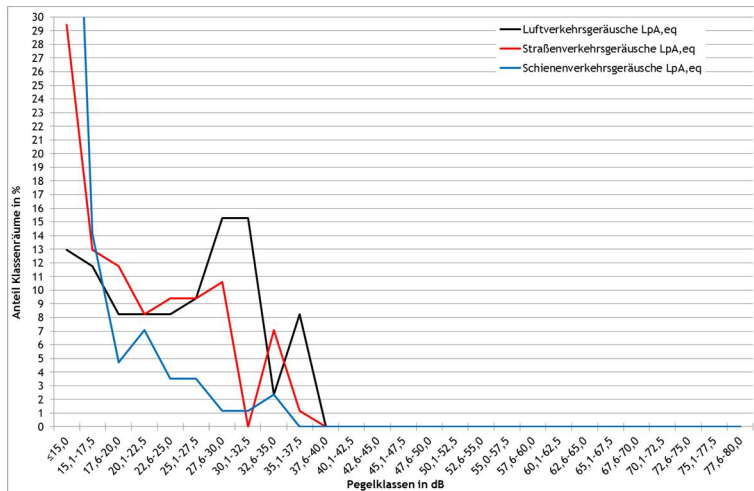


Abbildung 9-5: Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsinnenpegel an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 – 14:00 Uhr) für Luftverkehrsgeräusche und Tag (06:00 – 18:00 Uhr) für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche

Die Mittelungspegel aus Luftverkehrsgeräuschen erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 15,0$ dB und 37,5 dB. Die Mittelungspegel aus Straßenverkehrsgeräuschen erstrecken sich über den Bereich zwischen $\leq 15,0$ dB und 37,5 dB. Die Mittelungspegel aus Schienenverkehrsgeräuschen erstrecken sich über den Bereich $\leq 15,0$ dB und 35,0 dB. Die relative Pegel-Häufigkeitsverteilung aus Luftverkehrsgeräuschen weist zur Teilzeit Tag (08:00 - 14:00 Uhr) ein Plateau zwischen 27,6 dB und 32,5 dB auf. In diesen Pegelklassen befinden sich ca. 31 % der Klassenräume. Die Pegelklasse $\leq 15,0$ dB beinhaltet ca. 13 % der Klassenräume. Ca. 8 % der Klassenräume weisen die höchsten Innenpegel zwischen 35,1 dB und 37,5 dB auf. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel innen aus Straßenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr) zwischen 15,1 dB und 17,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 13 % der Klassenräume. Insgesamt ca. 29 % der Klassenräume weisen einen Mittelungspegel von $\leq 15,0$ dB auf. Die höchsten Innenpegel herrschen mit 35,1 dB bis 37,5 dB bei ca. 1 % der Klassenräume vor. Das Maximum der relativen Pegel-Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehrsgeräuschen liegt zur Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr) zwischen 15,1 dB und 17,5 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich ca. 14 % der Klassenräume. Insgesamt ca. 62 % der Klassenräume weisen einen Mittelungspegel von ≤ 15 dB auf. Ca. 2 % der Klassenräume befindet sich innerhalb der höchsten Pegelklasse zwischen 32,6 dB und 35,0 dB.

Verzeichnisse

Tabellen

Tabelle 2-1:	Korrektursummanden K in dB für übliche Verkehrssituationen (VDI 2719, 1987)	28
Tabelle 2-2:	Veränderung des Gesamt- sowie Schwerverkehrs; eigene Tabelle, Berechnung nach Daten aus: Hessen Mobil, Straßen und Verkehrsmanagement „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“, Ausgabe 2010, www.mobil.hessen.de/Downloads&Formulare	29
Tabelle 2-3:	Messstellen zur Ermittlung des Hintergrundpegels in der Umgebung des Frankfurter Flughafens (UNH, E-Mail vom 17.12.2013)	30
Tabelle 2-4:	Hintergrundpegel LpA,95,4h an den Messstationen	31
Tabelle 3-1:	Statistik der STANLY-Track Radarbahnen der Kalenderjahre 1997 – 2010 über alle AzB-Klassen	44
Tabelle 3-2:	Statistik der FANOMOS Radarbahnen der Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.05.2014 über alle AzB-Klassen	45
Tabelle 3-3:	Aufteilung der Flugbewegungen auf die Luftfahrzeuggruppen (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk) für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010	46
Tabelle 3-4:	Am Flughafen Frankfurt am Main operierende Luftfahrzeuggruppen (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk) und zugewiesene Flugzeugtypen beispielhaft für die Erhebungszeit 01.10.2010 – 31.12.2010	47
Tabelle 3-5:	Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.10.2012 – 30.09.2013 am Flughafen Köln/Bonn (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014), (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk)	48
Tabelle 3-6:	Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.05.2011 – 30.04.2012 am Flughafen Berlin/Schönefeld (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014) , (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk).....	50
Tabelle 3-7:	Flugbewegungszahlen der Erhebungszeit 01.10.2012 – 30.09.2013 am Flughafen Stuttgart (vgl. AVIA Consult GmbH, 2014) , (H: Hubschrauber, P: Propeller, S: Strahltriebwerk)	51
Tabelle 3-8:	Exemplarische Modellgeschwindigkeiten in km/h (in Klammern Angaben für Schwerverkehr SV).....	54
Tabelle 3-9:	Auszug aus Attributdefinition des Schienennetzes aus den Ergebnissen zur Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (2010)	57
Tabelle 3-10:	Zugmengengerüst der Strecke 3610 „Frankfurt (Main) Hbf (tief) – Eschhofen, W 612“ von Streckenkilometer 4,455 bis Streckenkilometer 9,260	58
Tabelle 3-11:	Auszug aus den Angaben der georeferenzierten Stützpunkte zur Nachbildung der Streckennetze an den Vergleichsstandorten des	

	Geodatenmanagement der DB Netz AG (DB Netz AG, E-Mail vom 04.06.2014).....	60
Tabelle 4-1:	Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von FANOMOS-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Tag in dB (Anzahl Messstellen N = 21).....	72
Tabelle 4-2:	Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von FANOMOS-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Nacht in dB (Anzahl Messstellen N = 21)	73
Tabelle 4-3:	Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von STANLY-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Tag in dB (Anzahl Messstellen N = 21).....	75
Tabelle 4-4:	Differenzen zwischen Messung und Berechnung in dB auf Grundlage von STANLY-Tracks an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 für die Teilzeit Nacht in dB (Anzahl Messstellen N = 21)	76
Tabelle 4-5:	Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD) der Differenzen zwischen Messung und Berechnung an den stationären Messstationen für den Monat Oktober 2010 in dB (Anzahl Messstellen N = 21)	77
Tabelle 4-6:	Mittelwert (M), Schätzwert der Standardabweichung (SD), Minimum (MIN) und Maximum (MAX) der Differenzen zwischen Messung und Berechnung an den stationären Messstationen über Tag und Nacht für den Monat Oktober 2010 in dB (Anzahl Messstellen N = 21).....	84
Tabelle 4-7:	Abweichungen zwischen Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen und DES Varianten Berechnungen außerhalb der Messpunkte (ca. 30 km) am Tag für den Monat Oktober 2010 in dB. Die angegebenen Abweichungen wurden den Rasterlärmkarten entnommen und weisen daher keine Nachkommastellen auf.	84
Tabelle 6-1:	Einflussfaktoren auf die Berechnungsunsicherheit für die drei Verkehrsgeräuscharten	93
Tabelle 6-2:	Erweiterungsfaktor für verschiedene Vertrauensniveaus bei ein- und zweiseitigen Tests bei Normalverteilung (DIN SPEC 45660-1, 2014)	95
Tabelle 6-3:	Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheiten für Luftverkehrsgeräusche.....	96
Tabelle 6-4:	Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheit für Straßenverkehrsgeräusche	97
Tabelle 6-5:	Einflussfaktoren mit Einschätzung der Unsicherheit für Schienenverkehrsgeräusche.....	97
Tabelle 7-1:	Überblick der allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen in Frankfurt für Studienmodul 1.....	104
Tabelle 7-2:	Verteilung der mittleren täglichen Flugbewegungen innerhalb der Erhebungswellen 1 bis 3 auf die Kennzeichnungszeiten monatlich getrennt nach WT und SSF für den Flughafen Frankfurt am Main	106
Tabelle 7-3:	Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Frankfurt aus Studienmodul 1.....	109

Tabelle 7-4:	Überblick über die allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen an den Referenzstandorten	115
Tabelle 7-5:	Verteilung der Flugbewegungen innerhalb der Erhebungszeit 01.05.2011 bis 30.04.2012 auf die Kennzeichnungszeiten (WT und SSF) und Teilzeiten am Flughafen Berlin/Schönefeld.....	118
Tabelle 7-6:	Verteilung der Flugbewegungen innerhalb der Erhebungszeit 01.10.2012 bis 30.09.2013 auf die Kennzeichnungszeiten (WT und SSF) und Teilzeiten an den Flughäfen Köln / Bonn und Stuttgart	118
Tabelle 8-1:	Überblick der Randbedingungen zu den akustischen Berechnungen im Blutdruckmonitoring	123
Tabelle 8-2:	Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr außen und innen in Frankfurt aus Studienmodul 2 „Blutdruckmonitoring“.....	126
Tabelle 8-3:	Mittelwerte mit Standardabweichung aus allen vorhandenen Angaben bei fehlender Angaben zu den Außenbauteilen und Fensterstellungen	127
Tabelle 8-4:	Mittelwerte mit Standardabweichung aus allen vorhandenen Angaben bei geschlossenem Fenster und fehlenden Angaben zu den Außenbauteilen..	127
Tabelle 8-5:	Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Frankfurt aus Studienmodul 2, Fallkontrollstudie zu Erkrankungsrisiken.....	132
Tabelle 8-6:	Außenpegelkorrektur durch die Lage eines Raumes zur Straße (Item_07.02 (08.03, 09.03, 10.03, 11.03))	138
Tabelle 8-7:	Außenpegelkorrektur durch die Lage eines Raumes zur Schiene (Item_07.04 (08.05, 09.05, 10.05, 11.05))	139
Tabelle 8-8:	Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel durch die Fensterstellung je Jahreszeit und Raum.....	140
Tabelle 9-1:	Überblick der allgemeinen Eckdaten zu den akustischen Berechnungen im Studienmodul 3	144
Tabelle 9-2:	Akustische Kenngrößen zu den Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsaußenpegeln an den Wohnstandorten und Grundschulen	146
Tabelle 9-3:	Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsinnenpegeln an den Grundschulen.....	147

Abbildungen

Abbildung 1-1:	Untersuchungsräume der NORAH-Studie Frankfurt, Berlin, Köln, Stuttgart	2
Abbildung 1-2:	Überblick über die in NORAH erforderliche Ermittlung der Exposition für N Probanden- bzw. Gebäudeadressen	3
Abbildung 2-1:	Beispiel zur Berechnung des Maximalpegels aus der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung (Summation der Maximalpegel-Häufigkeiten)	10
Abbildung 2-2:	Trennung sich überlappender Flächen	17
Abbildung 2-3:	Bereinigung von Mauervorsprüngen und Erkern	17
Abbildung 2-4:	Zusammenfassung aneinander grenzender Flächen	17
Abbildung 2-5:	Eingrenzung Untersuchungsraum Flughafen Frankfurt	19
Abbildung 2-6:	Methodik zur Festlegung der Untersuchungsgebiete der Schlafstudie	20
Abbildung 2-7:	Auszug innerstädtischer Gebäude aus den Ausgangsdaten aus RLP (vgl. Kapitel 3.2). Hausnummerninformation: rote Balken innerhalb Hausumringen (eingekreist), Straßennamen-information: orange Balken innerhalb Straßenflächen (gestrichelt eingekreist)	21
Abbildung 2-8:	Auszug innerstädtischer Gebäude aus dem akustischen Rechenmodell. Nebengebäude: blau schraffiert, Hauptgebäude: grün schraffiert	22
Abbildung 2-9:	Pegeldifferenzen zwischen Interpolation und Einzelpunktberechnung bei unterschiedlichen Rasterweiten Ln	23
Abbildung 2-10:	Abweichung der interpolierten Immissionspegel von Einzelpunktberechnungen	23
Abbildung 2-11:	Exemplarische Darstellung eines Erhebungsbogens zu Außenbauteilen...	26
Abbildung 2-12:	Zeitverlauf des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s(t)}$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Gernsheim 01:00 Uhr bis 02:00 Uhr	30
Abbildung 2-13:	Zeitverlauf des Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s(t)}$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden 01:00 Uhr bis 02:00 Uhr	31
Abbildung 3-1:	Studienregion Frankfurt am Main schematisch	33
Abbildung 3-2:	Beispiel der Detailstufe des berechneten DGM 10 im akustischen Rechenmodell für Straßen- und Schienenverkehr im Bereich Kelsterbach. Die Farbflächen wurden durch Linien in einem Höhenabstand von 2,5 m weiter unterteilt. An manchen Stellen sind Dämme und Einschnittsböschungen an Straßen- und Schienenwegen sichtbar.	35
Abbildung 3-3:	Beispiel der Detailstufe des berechneten DGM 50 im akustischen Rechenmodell für Luftverkehr im Bereich Kelsterbach	36
Abbildung 3-4:	Untersuchungsraum Köln.....	37
Abbildung 3-5:	Untersuchungsraum Berlin/Schönefeld	38
Abbildung 3-6:	Untersuchungsraum Stuttgart	39
Abbildung 3-7:	Behandlung von Gebäuden bei fehlenden Gebäudedaten.....	42
Abbildung 3-8:	Im Model abgebildetes Straßennetz	53

Abbildung 3-9:	Im Model abgebildetes Schienennetz	59
Abbildung 4-1:	(3-Bahnen-) Flugstreckensystem 01.01. – 09.03.2011 mit den rd. 9.000 Panelteilnehmern aus Studienmodul 1 (braun eingekreist die zu kurzen Abflugstrecken)	61
Abbildung 4-2:	(4-Bahnen-) Flugstreckensystem ab 10.03.2011 mit rd. 9.000 Panelteilnehmern aus Studienmodul 1 (braun eingekreist die zu kurzen Abflugstrecken)	62
Abbildung 4-3:	Betriebsrichtungsverteilung für Oktober 2010 aus http://apps.fraport.de/laerschutz/public?area=messung&date=1.10.2010&date2=1.04.2010 (Betriebsrichtung 25: Abflug nach Westen, Betriebsrichtung 07: Abflug nach Osten)	63
Abbildung 4-4:	Konzept zur Ermittlung der Berechnungsgrundlage für Fluglärm	64
Abbildung 4-5:	Beispiel für ein Datenblatt mit Leistungsprofil der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L (Landung eines Strahlflugzeugs der Klasse 5.1 beim Landeanflug. Die Variablen (5) und (6) (Geschwindigkeit und Flughöhe) können der Radaraufzeichnung oder aus obiger Tabelle entnommen werden, wobei die Höhe des Zwischenanflugs h_0 und der Gleitwinkel w auch in diesem Fall aus den Radarprofilen abgeleitet werden müssen (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008, S. 95)	65
Abbildung 4-6:	Lage der zu Vergleichszwecken verwendeten Messpunkte von FRA.NoM. 66	
Abbildung 4-7:	Exemplarische Darstellung eines importierten Abfluges von Bahn 25R aus STANLY-Tracks (rot: Rohdaten, grün: Spline-Korrektur, blau: informative Darstellung eines 20 km Radius)	68
Abbildung 4-8:	Geschwindigkeits- sowie Höhenprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L (Landung eines Strahlflugzeugs der Klasse 5.1 mit Höchststartmasse bis 50 t); für Grundlagenermittlung blaues und grünes Höhenprofil verwendet, für endgültige Berechnung blaues Höhenprofil verwendet.....	70
Abbildung 4-9:	Geschwindigkeits- sowie Höhenprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Anflug der Luftfahrzeugklasse S 5.1-L mit Radarführungshöhe detektiert als Zwischenanflugsegment (für Grundlagenermittlung blaues und grünes Höhenprofil verwendet, für endgültige Berechnung blaues Höhenprofil verwendet).....	71
Abbildung 4-10:	Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS Oktober 2010 06 – 22 Uhr Anzahl Messstellen N = 21	74
Abbildung 4-11:	Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung STANLY Oktober 2010 06:00 – 22:00 Uhr Anzahl Messstellen N = 21	77
Abbildung 4-12:	Geschwindigkeits- sowie Radarprofile aus Radardaten und nachgebildetes AzB Flugprofil für einen Start der Luftfahrzeugklasse S 5.1-S.....	78
Abbildung 4-13:	Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS vs. STANLY Oktober 2010 06:00 – 22:00 Uhr Anzahl Messstellen N = 21.....	78
Abbildung 4-14:	Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06:00 – 22:00 Uhr Anzahl der Messstellen N = 21	79

Abbildung 4-15: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06:00 - 22:00 Uhr an typischen Anflug-Messstellen (N = 5)	80
Abbildung 4-16: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010; 22:00 - 06:00 Uhr an typischen Anflug-Messstellen (N = 5)	80
Abbildung 4-17: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010 06 – 22 Uhr an typischen Abflug-Messstellen (N = 12)	81
Abbildung 4-18: Häufigkeitsverteilung Abweichung Messung – Berechnung FANOMOS / STANLY vs. DES-Varianten Oktober 2010, 22:00 - 06:00 Uhr an typischen Abflug-Messstellen (N = 12).....	81
Abbildung 4-19: Differenzrasterdarstellungen des Mittelungspegels Tag (Ld) zur Untersuchung der Abweichungen zwischen Berechnung auf Grundlage von Radarbahnen von Einzelflügen zu DES-Berechnung im weiteren Umfeld (ca. 30 km) des Flughafens (exemplarisch für STANLY).	82
Abbildung 4-20: Streudiagramm der Einzelflugberechnung und DES-Berechnung an den rd. 9.000 Immissionsorten des Studienmoduls 1; Tag (links) und Nacht (rechts)	83
Abbildung 5-1: Rasterberechnung Pilotgebiet Hanau	86
Abbildung 5-2: Plausibilitätsprüfung zur Erfassung der Flugbewegungen exemplarisch für 2005 im Zeitfenster 06:00 - 22:00 Uhr	88
Abbildung 5-3: Plausibilitätsprüfung der Straßenlärmberechnung exemplarisch für 2005	89
Abbildung 5-4: Plausibilitätsprüfung der Schienenberechnungen exemplarisch anhand der zeitlichen Veränderung des Mittelungspegels zwischen 2010 und 2007...	90
Abbildung 6-1: Zusammenhang zwischen der kombinierten Standardunsicherheit uc und dem Abstand s für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	99
Abbildung 6-2: Zusammenhang zwischen dem quellspezifischen Mittelungspegel LpA,eq und dem Abstand s für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	100
Abbildung 6-3: Zusammenhang zwischen der kombinierten Standardunsicherheit uc und dem Mittelungspegel Tag bzw. Nacht für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	101
Abbildung 6-4: Zusammenhang zwischen den Variablen Textverständnis (T-Werte ; Normskala des Tests zum Textverständnis) und Mittelungspegel der Flugverkehrsgeräusche an der Schule mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable (links) sowie mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable und der Berechnungsunsicherheit der Exposition durch Flugverkehrsgeräusche (rechts); schwarz: klassierte Ergebnisse mit Unsicherheiten in der Wirkungs- und in der Expositionsvariablen, blau: Ausgleichsgerade mit Konfidenzbereich (rot)	102
Abbildung 6-5: Zusammenhang zwischen den Variablen Wortverständnis (T-Werte) und Mittelungspegel der Flugverkehrsgeräusche an der Schule mit Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable (links) sowie mit	

	Berücksichtigung der Unsicherheit der Wirkungsvariable und der Berechnungsunsicherheit der Exposition durch Flugverkehrsgeräusche (rechts); schwarz: klassierte Ergebnisse mit Unsicherheiten in der Wirkungs- und in der Expositionsvariablen, blau: Ausgleichsgerade mit Konfidenzbereich (rot)	103
Abbildung 7-1:	Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch) (Kartenhintergrund „© OpenStreetMap-Mitwirkende“)	105
Abbildung 7-2:	Beispielhafte Darstellung einer falsch zur Startbahn 18 verlängerten Radarspur (magenta); die auf der Bahn 25C startende Spur wurde fälschlicherweise auf die Startbahn 18 verlängert	106
Abbildung 7-3:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	111
Abbildung 7-4:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)	112
Abbildung 7-5:	Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr).113	113
Abbildung 7-6:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	113
Abbildung 7-7:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)	114
Abbildung 7-8:	Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Berlin/Schönefeld	116
Abbildung 7-9:	Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Köln / Bonn	116
Abbildung 7-10:	Verteilung der Probanden aus Studienmodul 1 im Untersuchungsgebiet des Flughafens Stuttgart	117
Abbildung 7-11:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF) N = 11.069, Köln/Bonn (EDDK) N = 2.955, Berlin/Schönefeld (EDDB) N = 5.818 und Stuttgart (EDDS) N = 1.979 für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	120
Abbildung 7-12:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF) N = 11.069, Köln/Bonn (EDDK) N = 2.955, Berlin/Schönefeld (EDDB) N = 5.818 und Stuttgart (EDDS) N = 1.979 für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)	121

Abbildung 7-13:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF) N = 11.069, Köln/Bonn (EDDK) N = 2.955, Berlin/Schönefeld (EDDB) N = 5.818 und Stuttgart (EDDS) N = 1.979 für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	121
Abbildung 7-14:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF) N = 11.069, Köln/Bonn (EDDK) N = 2.955, Berlin/Schönefeld (EDDB) N = 5.818 und Stuttgart (EDDS) N = 1.979 für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	122
Abbildung 8-1:	Verteilung der Probandenadressen aus der Teilstudie „Blutdruckmonitoring“ im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch).....	124
Abbildung 8-2:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.2011 - 09.2012 bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	128
Abbildung 8-3:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.2011 - 09.2012 bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr) ..	129
Abbildung 8-4:	Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung der Mittelungspegel aus Luftverkehr der Subgruppe 10.2011 - 09.2012 im Blutdruckmonitoring bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)	130
Abbildung 8-5:	Untersuchungsgebiet Regierungsbezirk Darmstadt und RLP, indem sich Gebäudeadressen verteilen (schematisch).....	131
Abbildung 8-6:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft- und Straßenverkehrsgeräusche 2005 und Schienenverkehrsgeräusche 2010 an N = 863.200 Gebäudeadressen im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr).....	134
Abbildung 8-7:	Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft- und Straßenverkehrsgeräusche 2005 und Schienenverkehrsgeräusche 2010 an N = 863.200 Gebäudeadressen im Regierungsbezirk Darmstadt und Rheinhessen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)	135
Abbildung 8-8:	Abweichung der jährlichen Geräuschbelastung 1996 - 2010 vom Referenzjahr 2005 für die Teilzeit Tag 06:00 - 22:00 Uhr aus Luftverkehr. Mittelwert und Standardabweichung für N = 863.200 Gebäudeadressen (Mittelwerte als rote Rauten, Standardabweichung als rote Fehlerbalken)	136
Abbildung 8-9:	Abweichung der jährlichen Schienenverkehrsgeräuschbelastung aus 2002 und 2010 bezogen auf das Jahr 2007 für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) an N = 863.200 Gebäudeadressen (Mittelwerte als rote Rauten, Standardabweichung als rote Fehlerbalken).....	137

Abbildung 9-1:	Verteilung der Probandenadressen (blau) und Grundschulen (rot) aus Studienmodul 3 im Untersuchungsgebiet Frankfurt am Main (schematisch) (Kartenhintergrund „© OpenStreetMap-Mitwirkende“)	144
Abbildung 9-2:	Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straße- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)	148
Abbildung 9-3:	Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straße- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)	149
Abbildung 9-4:	Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche (außen) an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 – 14:00 Uhr) für Luftverkehrsgeräusche und Tag (06:00 -18:00 Uhr) für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	150
Abbildung 9-5:	Relative Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsinnenpegel (innen) an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 – 14:00 Uhr) für Luftverkehrsgeräusche und Tag (06:00 -18:00 Uhr) für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche	151

Literatur

1. FlugLSV (2008). Erste Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen vom 27. Dezember 2008. Bundesgesetzblatt Teil 1, 2980.
 1. FlugLSV (2008). Erste Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen vom 27. Dezember 2008. Anlage 1: Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD). Bundesanzeiger, 195a, 2.
 1. FlugLSV (2008). Erste Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen vom 27. Dezember 2008. Anlage 2: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB). Bundesanzeiger, 195a, 2.
 16. BImSchV (1990). Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990. Bundesgesetzblatt Teil 1, 1036, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014, Bundesgesetzblatt Teil 1, 2269, geändert worden ist.
 16. BImSchV (1990). Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990. Bundesgesetzblatt Teil 1, 1036, die durch Artikel 1 der Verordnung vom 18. Dezember 2014, Bundesgesetzblatt Teil 1, 2269, geändert worden ist. Anlage 2: Berechnung des Beurteilungspiegels für Schienenwege (Schall 03) vom 23. Dezember 2014. Bundesanzeigerblatt, Teil 1, 2271.
 34. BImSchV (2006). Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006. Bundesgesetzblatt Teil 1, 516
 34. BImSchV (2006). Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006. Anlage 2: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch) vom 22. Mai 2006. Bundesanzeiger, 154a, 6
 34. BImSchV (2006). Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006. Anlage 3: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS) vom 22. Mai 2006. Bundesanzeiger, 154a, 6
- Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm (VBEB) vom 9. Februar 2007 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007). Erhältlich unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/berechnungsmethode_umgebungslaerm.pdf; (15.01.2013)
- AVIA Consult GmbH (2014). NORAH Bericht über die Durchführung der Fluglärmberechnungen am Flughafen Köln/Bonn
- AVIA Consult GmbH (2014). NORAH Bericht über die Durchführung der Fluglärmberechnungen am Flughafen Berlin/Schönefeld
- AVIA Consult GmbH (2014). NORAH Bericht über die Durchführung der Fluglärmberechnungen am Flughafen Stuttgart
- Bartel, R., & Vogelsang, B. M., (2010). Nutzung von Flugverläufen im Nahverkehrsbereich deutscher Flughäfen für die Überwachung von Lärmschutzbereichen. In *Fortschritte der Akustik*, 36.

- Deutsche Jahrestagung für Akustik - DAGA, 15.-18. März 2010 in Berlin.* Berlin: Deutsche Gesellschaft für Akustik, S. 813-814
- Braunstein & Berndt GmbH (2013). SoundPLAN [Software für Lärm- und Schadstoffprognosen]. Backnang.
- Deutsche Flugsicherung. Luftfahrthandbuch AIP. Wolfhagen-Bründerssen, Flugversand Büscher.
- Deutsches Institut für Normung (1989). DIN 4109, Schallschutz im Hochbau: Anforderungen und Nachweise. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (1989). DIN 4109 Beiblatt 1, Schallschutz im Hochbau: Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (1990). DIN 45641, Mittelung von Schallpegeln. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (2006). DIN 45687, Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschemission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (2004). DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittleren Räumen. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (2009). DIN 1320, Akustik – Begriffe. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (2011). DIN 45643, Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung (2014). DIN SPEC 45660-1, Leitfaden zum Umgang mit der Unsicherheit in der Akustik und Schwingungstechnik – Teil 1: Unsicherheit akustischer Kenngrößen
- Deutsches Institut für Normung, International Organisation for Standardization (1999). DIN ISO 9613-2, Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2 Allgemeines Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth.
- Deutsches Institut für Normung, Europäische Norm & International Organisation for Standardization (2014). DIN EN ISO 3095. Akustik- Bahnanwendungen- Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (ISO 3095:2013). Berlin: Beuth.
- Eisenbahn-Bundesamt (2010). Kartenapplikation des Eisenbahn-Bundesamtes. Erhältlich unter: <http://laermkartierung1.eisenbahn-bundesamt.de/mb3/app.php/application/eba;> (16.03.2010)
- FluLärmG (2007). Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007. *Bundesgesetzblatt Teil 1*, 2550
- Griefahn, B., Möhler, U., & Schuemer, R. (Hrsg.) (1999). Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr. München: SGS
- Hack, E. (2003): Unsicherheit von Fitparametern bei Ausgleichsrechnungen. Kursunterlagen, Empa, Abteilung Elektronik/Messtechnik
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (2010). Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen? Erhältlich unter: [http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSV_V_Internet?rid=HMWVL_15/HSV_V_Internet/sub/9c3/9c37501f-e07c-431f-012f-31e2389e4818,,22222222-2222-2222-2222-222222222222.htm;](http://www.hsvv.hessen.de/irj/HSV_V_Internet?rid=HMWVL_15/HSV_V_Internet/sub/9c3/9c37501f-e07c-431f-012f-31e2389e4818,,22222222-2222-2222-2222-222222222222.htm) (09.04.2013)

- Kempiak, R., & Petz, M. (2007). Lärmkartierung Hessen 2007: Abschlussbericht (ACCON Bericht Nr.: ACB-0807-3882/20 vom 25. August 2007): Hauptverkehrsstraße außerhalb der Ballungsräume, Ballungsräume Frankfurt am Main und Wiesbaden, Flughafen Frankfurt (Fraport). Greifenberg: ACCON GmbH Ingenieurbüro für Schall- und Schwingungstechnik. Erhältlich unter: http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/laerm/laermkartierung/3882_20_endbericht_final_red.pdf; (19.04.2013)
- Kötz, W.-D. (2004). Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern: Ein klärendes Wort zur Schallpegeldifferenz außen/innen bei Fenstern in Kippstellung. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 51, 21-26
- Möhler, U. (1990). Spitzenpegel beim Schienenverkehrslärm. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 37, 35-40
- Möhler und Partner (2010). PASCHA [Programm zur Berechnung des passiven Schallschutzes an Verkehrswegen nach Akustik 23]. München.
- Richtlinie EG Nr. 2002/49 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm vom 25. Juni 2002. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, L189, 12-25. Erhältlich unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_umgebungslaerm.pdf; (09.04.2013)
- Richtlinie zur Berechnung von Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03 (1990). München: *Information Akustik 03 Bundesbahn-Zentralamt*
- Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen - RLS-90 des Bundesministers für Verkehr, Abteilung Straßenbau (1992). Köln: FGSV-Verlag. Berichtigter Nachdruck Februar 1992.
- Schreckenberger, D. (2013). NORAH-Grundlagenermittlung Akustik (unveröffentlichter Bericht). Hagen: ZEUS GmbH
- Straßenverkehrszentrale Baden-Württemberg (2010). Verkehrsstärkenkarte. Erhältlich unter: <http://www.svz-bw.de/fileadmin/verkehrszaehlung/svz/vsk/VSK>; (30.01.2015)
- Thomann, G. (2007). Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Diss., ETH Zürich, Nr. 17433.
- Verein Deutscher Ingenieure (1987). VDI 2719, Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen. Berlin: Beuth.
- Verein Deutscher Ingenieure (2012). VDI 4100, Schallschutz im Hochbau: Wohnungen – Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. Berlin: Beuth.
- Verein Deutscher Ingenieure (1976). VDI 2571, Schallabstrahlung von Industriebauten. Berlin: Beuth

Glossar

Erläuterungen zu gewählten Schallpegelbezeichnungen

Gemäß DIN 1320 wird der Mittelungsschalldruckpegel als äquivalenter Dauerschallpegel oder auch Mittelungspegel bezeichnet und abgekürzt durch folgende Bezeichnung (DIN 1320, 2009):

$L_{pAF,eq,T}$

L_p	Schalldruckpegel
A	Frequenzbewertung mit A-Bewertungsfilter
F	Zeitbewertung „Fast“
eq	Angabe Energieäquivalenz (energetische Mittelung)
T	Zeitintervall der Mittelung

Analog wird der Mittelungspegel auch in DIN 45641 definiert (DIN 45641, 1990). Die Zeitbewertung „Fast“ wird bei Messungen von Verkehrsgeräuschen aus Straßen- und Schienenverkehr verwendet, während die Zeitbewertung „Slow“ für Messungen von Verkehrsgeräuschen aus Luftverkehr verwendet wird. Nach DIN 45641 gilt folgende Beziehung (DIN 45641, 1990):

$$L_{pAF,eq} = L_{pAS,eq} = L_{eq}$$

sofern das Zeitintervall bei der Mittelung (oder auch die Kennzeichnungszeit) von Schalldruckpegeln größer ist als die Zeitkonstante der Zeitbewertung (DIN 45641, 1990).

Bei der Berechnung von Mittelungspegeln mit Hilfe von akustischen Rechenmodellen wird streng genommen keine Zeitbewertung Fast oder Slow vorgenommen, da das Rechenmodell die Schallpegel ohnehin prognostiziert und keine Schalldrucksignale verarbeitet werden. Die Berechnungen werden anhand von Verkehrsmengen in Verbindung mit geltenden Richtlinien innerhalb von Kennzeichnungszeiten durchgeführt.

Bei der Berechnung der Maximalpegel kann davon ausgegangen werden, dass das Rechenmodell „Fast“ bzw. „Slow“ bewertete Maximalpegel prognostiziert, da wie erläutert, die Maximalpegel aus einzelnen Vorbeifahrten bzw. Vorbeiflügen gebildet werden.

Demnach gilt:

1. $L_{pA,eq}$ Mittelungspegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr für verschiedene Teilzeiten
2. $L_{pAS,max}$ Maximalpegel aus Luftverkehr für verschiedene Teilzeiten
3. $L_{pAF,max}$ Maximalpegel aus Straßen- oder Schienenverkehr

Verwendete Symbole, Abkürzungen und Begriffe

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
Δh	m	Höhendifferenz
ΔL	dB	Pegeldifferenz
ΔL_f	dB	Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel in Abhängigkeit der Fensterstellung (je Jahreszeit und Raum) und den Angaben zu den Außenbauteilen eines Raumes
$\Delta L_{m,E}$	dB	Pegeldifferenz des Emissionspegels
$\Delta L_{pA,eq,max}$	dB	Maximale Pegeldifferenz des Mittelungspegels
$\Delta L_{pA,eq,min}$	dB	Minimale Pegeldifferenz des Mittelungspegels
$\Delta L_{pA,eq,Tag}$	dB	Pegeldifferenz des Mittelungspegels für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)
$\Delta L_{pE,max}$	dB	Maximale Pegeldifferenz des Schalldruckexpositionspegels
$\Delta L_{pE,min}$	dB	Minimale Pegeldifferenz des Schalldruckexpositionspegels
$\Delta L_{W'E,max}$	dB	Maximale Pegeldifferenz des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition
$\Delta L_{W'E,min}$	dB	Minimale Pegeldifferenz des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition
ΔL_z	dB	Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Ausrichtung des Schallzimmers bzw. Wohnzimmers bezogen zur Straße bzw. Schiene
ΣA_i	dB	Dämpfungsterme aufgrund der Einflüsse i auf dem Ausbreitungsweg
1. FlugLSV		Erste Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen
16.BImSchV		Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
34. BImSchV		Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
A	m^2	äquivalente Absorptionsfläche der Raumes
A	dB	Frequenzbewertung mit A-Bewertungsfilter
A_{div}	dB	geometrische Dämpfung
AG-Akustik		Arbeitsgemeinschaft Akustik
AIP		Luftfahrtthandbuch (Aeronautical Information Publication)
ALKIS		Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
APU		Auxiliary Power Unit (Hilfsgasturbine)
ARP		Flughafenbezugspunkt (Airport Reference Point)
ATA/ATD	h, min, sek	Actual Time of Arrival bzw. Actual Time of Departure; Zeitpunkt der Landung bzw. des Startes
ATKIS		Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AVIA Consult GmbH		Ingenieurbüro für Flugplatzplanung und Fluglärmberatung
AzB		Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD		Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
BBP		Bahnbezugspunkt
BKG		Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BP		Beobachtungsperiode
bspw.		beispielsweise
BUZ		Bahnumweltzentrum
bzgl.		bezüglich

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
bzw.		beziehungsweise
c_i		Sesitivitätskoeffizient bzw. Sensitivitätsfaktor
d	m	Sehnenlänge zur Approximation von Kreisbögen mit Bogenwinkeln von maximal 15°
$D_A(\Theta) / D_I(\Theta)$	dB	Richtwirkungskorrektur bzw. Richtwirkungsmaß in Abhängigkeit des Winkels zwischen Flugrichtung und Ausbreitungsvektor
D_I	dB	Richtwirkungsmaß
D_Ω	dB	Raumwinkelmaß
DB Netz AG		Deutsche Bahn Netz AG
$D_{BM}(s, h_m)$	dB	Boden- und Meteorologiedämpfung in Abhängigkeit der mittleren Höhe und des Abstandes
DES		Datenerfassungssystem; System zur Erfassung der Flugbetriebsdaten an Verkehrsflughäfen- bzw. plätzen oder auch militärischen Flugplätzen (enthält allgemeine Daten, Flugplatzdaten, Flugbewegungsangaben, Rollverkehr, Flugbetrieb in der Luft, Matrix zur Auswertung der bahnbezogenen Betriebsrichtungen)
DFS		Deutsche Flugsicherung GmbH
D_{Fz}	dB	Pegelkorrektur zur Berücksichtigung des Einflusses durch die Fahrzeugart
DGM		digitales Geländemodell
d. h.		das heißt
DHM		digitales Höhenmodell
DIN		Deutsches Institut für Normung
$D_L(s)$	dB	Luftabsorptionsmaß in Abhängigkeit des Abstandes
DLM		digitales Liegenschaftsmodell
d_n	dB	Absorptionskoeffizient für das n-te Oktavband
$D_s(s)$	dB	Abstandsmaß in Abhängigkeit des Abstandes
DTV		durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
$D_V(V)$	dB	Geschwindigkeitsmaß in Abhängigkeit der Geschwindigkeit
$D_z(a)$	dB	energetische Summe des Bodendämpfungsmaßes
EBA		Eisenbahnbundesamt
EDDB		ICAO-Ortskennung, ED = Nordeuropa, Deutschland; D = internationaler Verkehrsflughafen; B = Berlin/Schönefeld
EDDF		ICAO-Ortskennung, ED = Nordeuropa, Deutschland; D = internationaler Verkehrsflughafen; F = Frankfurt am Main
EDDK		ICAO-Ortskennung, ED = Nordeuropa, Deutschland; D = internationaler Verkehrsflughafen; K = Köln / Bonn
EDDS		ICAO-Ortskennung, ED = Nordeuropa, Deutschland; D = internationaler Verkehrsflughafen; S = Stuttgart
Erhebungszeit		Zeitintervall der jeweiligen Untersuchung. In der Regel sind damit einzelne Jahre gemeint
eq		Angabe der Energieäquivalenz (energetische Mittelung)
etc.		et cetera
EU/EG		Europäische Union bzw. Europäische Gemeinschaft
f		Funktion der Kenngröße Y in Abhängigkeit von N Eingangsgrößen $X_1 \dots X_N$
F bzw. S	s	Zeitbewertungsfilter (F = Fast = 0,125 s; S = Slow = 1 s)
FANOMOS		Flight Track and Monitoring System
Fitparameter		Ausgleichsparameter als Maß der Unsicherheit einer Linearisierung

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
FluLärmG		Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
f_{ON}	Hz	Oktavmittenfrequenz
FRA.NoM		Fraport Noise Monitoring
Fraport AG		Betreibergesellschaft des Flughafens Frankfurt am Main
GAT		General Aviation Terminal
GIS		Geoinformationssystem
Glasometer		Messgerät zur Bestimmung der Scheibendicke und des Scheibenzwischenraums eines Fensters
G_n	dB	asymptotische Pegelminderung bei Boden-Boden-Schallausbreitung für das n-te Oktavband
Gradiente		Steigung; beschreibt den Höhenverlauf von Straßen bzw. Schienen
H	m	Flughöhe
HBV-Datum		Hausbesuch / Erhebung und Geräteverteilungs-Datum
$h_{DGM10/1}$	m	Höhe des digitalen Geländemodells mit Rasterweite 10 m x 10 m bzw. 1 m x 1 m
h_{DGM50}	m	Höhe des digitalen Geländemodells mit Rasterweite 50 m x 50 m
Hessen Mobil		Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement
h_{GE}	m	Höhe der Schallquelle über Gelände
h_{GI}	m	Höhe des Immissionsortes über Gelände
HLSV		Hessisches Landesamt für Straßen und Verkehrswesen
HLUG		Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
h_m	m	mittlere Höhe über Gelände
h_{mn}	m	mittlere Höhe über Gelände bei negativem Höhenversatz
h_{mp}	m	mittlere Höhe über Gelände bei positivem Höhenversatz
h_r	m	Höhe des Immissionsortes (Messortes) über Gelände
h_s	m	Höhe der Schallquelle über Gelände
HVBG		Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
h_x	m	positiver bzw. negativer Höhenversatz Δh im DGM
ICAO		International Civil Aviation Organization
ID		Identifikationsnummer bzw. Identifikationsname
IO		Immissionsort
Isolinie		Linie gleichen Schalldruckmittelungspegels
K	dB	Korrektursummand zur Berücksichtigung unterschiedlicher spektraler Verteilungen bei den Geräuschquellen
k	%	Erweiterungsfaktor für verschiedene Vertrauensniveaus bei ein- und zweiseitigen Tests bei Normalverteilung
k	dB	Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB
K_{IO}	dB	Korrekturfaktoren zur Beschreibung des Immissionsortes
K_Q	dB	Korrekturfaktoren zur Beschreibung der Quelle
Kennzeichnungszeit		Zeitintervall der Mittelung über eine Anzahl von Tagen. Aufgrund des Detailgrades der Radardaten können Mittelungspegel aus Luftverkehrsgeräuschen für einzelne Tage, Wochen oder Monate berechnet werden.
L		Landeklasse von Luftfahrzeugen gemäß AzB
l	m	Länge der Schallquelle

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
l	m	Zuglänge
L_{Σ}	dB	energetische Pegelsumme
$L_{\Sigma On}$	dB	energetische Summe des Oktavspektrums des Luftfahrzeugs
L_0	dB	berechneter Freifeld-Außenpegel vor dem Fenster eines Raumes
$L_{2002} / L_{2007} / L_{2010}$	dB	Mittelungs- und Maximalpegel aus Schienenverkehrsgeräuschen für die Jahre 2002, 2007 und 2010
L_a	dB	maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel vor der Außenfläche
$L_{AF, max, Zug}$	dB	mittlerer maximaler Schalldruckpegel einer Zugvorbeifahrt
LANUV		Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LAP		Lärmaktionsplanung
LBM RLP		Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz
L_d	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)
L_{DEN}	dB	Tag-Abend-Nacht-Index für die Teilzeiten (Tag: 06:00 - 18:00 Uhr, Abend: 18:00 - 22:00 Uhr, Nacht: 22:00 - 06:00 Uhr)
L_{dn}	dB	Tag-Nacht-Pegel mit 10 dB Zuschlag für die Teilzeit 23:00 - 07:00 Uhr
LGL		Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg
LH-Stuttgart		Landeshauptstadt Stuttgart
L_i	dB	A-bewerteter Innenschallpegel, der im zu beurteilenden Raum nicht überschritten werden sollte
l_k	m	Teilstücklänge
Lkw		Lastkraftwagen
L_{Lkw}	dB	Mittelungspegel für 1 Lkw pro Stunde
L_n		Diese Bezeichnung beschreibt den Mittelungspegel für den Tag (06:00 - 22:00 Uhr) in verschiedenen Rasterabständen. Es ist keine übliche Pegelbezeichnung
$L_{m,E}$	dB	Emissionspegel; Mittelungspegel in 25 m Abstand zur Linienquelle und 3,5 m Höhe
$L_{m,i}(s, h_m)$	dB	Mittelungspegel eines Teilstücks am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und der mittleren Höhe
$L_{m,i}(s, h_{mn})$	dB	Mittelungspegel eines Teilstücks am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und der mittleren Höhe bei negativem Höhenversatz
$L_{m,i}(s, h_{mp})$	dB	Mittelungspegel eines Teilstücks am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und der mittleren Höhe bei positivem Höhenversatz
L_n	dB	Mittelungspegel aus Immissionsraster mit unterschiedlichen Rasterweiten
L_{night}	dB	Beurteilungspegel für die Teilzeit Nacht 22:00 - 06:00 Uhr
LOD		level of detail, Detailierungsgrad
L_p	dB	Schalldruckpegel
$L_{pA, 95, 1h}$	dB	95 % - Überschreitungspegel über eine Stunde
$L_{pA, 95, 4h}$	dB	95 % - Überschreitungspegel über vier Stunden
$L_{pA, 95, TM}$	dB	95 % - Überschreitungspegel zur Messzeit T_M (Hintergrundgeräuschpegel)
$L_{pA, eq}$	dB	Langzeitmittelungsschalldruckpegel, äquivalenter Dauerschallpegel, kurz: Mittelungspegel
$L_{pA, eq}(Achse+5)$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit (00:00 - 24:00 Uhr) einer Straßen- bzw. Schienenachse die um + 5 m in Richtung Norden ver-

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
		schoben ist
$L_{pA,eq}(Achse0)$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit (00:00 - 24:00 Uhr) einer Straßen- bzw. Schienenachse
$L_{pA,eq}(Achse-5)$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit (00:00 - 24:00 Uhr) einer Straßen- bzw. Schienenachse die um - 5 m in Richtung Süden verschoben ist
$L_{pA,eq,10.2010 - 09.2011}$	dB	Mittelungspegel der jährlichen Geräuschbelastung für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) der 1. Erhebungswelle des Studienmoduls 1 (Erhebungszeit 01.10.2010 bis 30.09.2011)
$L_{pA,eq,10.2011 - 09.2012}$	dB	Mittelungspegel der jährlichen Geräuschbelastung für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) für eine Subgruppe der Probandenadressen (N = 233) aus dem Blutdruckmonitoring (Erhebungszeit 01.10.2011 bis 30.09.2012)
$L_{pA,eq,18-06}$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit Abend-Nacht (18:00 Uhr - 06:00 Uhr)
$L_{pA,eq,18-22}$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit Abend (18:00 Uhr - 22:00 Uhr)
$L_{pA,eq,1996 \text{ bis } 2010}$	dB	Mittelungspegel der jährlichen Geräuschbelastung für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) der Jahre 1996 bis 2010
$L_{pA,eq,1s(t)}$	dB	Mittelungspegel über 1 Sekunde (Pegel-Zeitverlauf)
$L_{pA,eq,2005}$	dB	Mittelungspegel der jährlichen Geräuschbelastung für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) für das Jahr 2005
$L_{pA,eq,22-06}$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit Nacht (22:00 Uhr - 06:00 Uhr)
$L_{pA,eq,monat}$	dB	Mittelungspegel der monatlichen Geräuschbelastung für die Teilzeit (06:00 - 22:00 Uhr)
$L_{pA,eq,Tag/Nacht}$	dB	Mittelungspegel für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr) bzw. Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)
$L_{pAF,eq,T}$	dB	Mittelungsschalldruckpegel / äquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel)
$L_{pAF,max}$		Maximalpegel aus Straßen- bzw. Schienenverkehrsgeräuschen
$L_{pAS,max}$	dB	mittlerer Maximalschalldruckpegel, kurz: Maximalpegel aus Luftverkehrsgeräuschen
L_{pe}	dB	Pegel zur Beschreibung der Emission
$L_{pE}(D_I)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels in Abhängigkeit des Richtwirkungsmaßes am Immissionsort in verschiedenem Abstand s
$L_{pE}(D_I+SD)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels in Abhängigkeit des Richtwirkungsmaßes + Standardabweichung am Immissionsort in verschiedenem Abstand s
$L_{pE}(D_I-SD)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels in Abhängigkeit des Richtwirkungsmaßes -Standardabweichung am Immissionsort in verschiedenem Abstand s
$L_{pE}(s)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes
$L_{pE}(s, a+\Delta a)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und des Höhenwinkel + Höhenwinkeländerung
$L_{pE}(s, a-\Delta a)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und des Höhenwinkel - Höhenwinkeländerung
$L_{pE}(s, a)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes und des Höhenwinkels
$L_{pE}(s+US)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes + Standardunsicherheit
$L_{pE}(s-US)$	dB	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes - Standardunsicherheit

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
L_{pi}	dB	Pegel am Immissionsort
L_{PKW}	dB	Mittelungspegel für 1 Pkw pro Stunde
L_{tn} (bzw. L_{DN})	dB	Tag-Nacht-Pegel mit 10 dB Zuschlag für die Teilzeit 22:00 - 06:00 Uhr
LUBW		Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Luftfahrzeugtyp		Beschreibt die an einem Flughafen stattfindenden Flüge einzelner Baureihen wie beispielsweise A330, A380, B747 etc.
Luftfahrzeuggruppe		Beschreibt die Zusammenfassung einzelner Luftfahrzeugtypen (unterschiedliche Baureihen und Motorisierung) anhand ihrer Höchststartmasse gemäß AzD
Luftfahrzeugklasse		Beschreibt die unterschiedliche Schallemission jeder Luftfahrzeuggruppe getrennt nach Start und Landung gemäß AzB
LUGV		Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
LUWG		Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
L_{WA}	dB	A-bewerteter Schallleistungspegel
$L_{W'A}$	dB	A-bewerteter Pegel der längenbezogenen Schallleistung
$L_{WA,max}$	dB	Maximalwert des Schallleistungspegels
$L_{WA,max,Quelle}$	dB	mittlerer maximaler Schallleistungspegel einer Zugvorbeifahrt
$L_{W'AE}$	dB	Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition
L_{WE}	dB	energetische Summe des Schallleistungsexpositionspegels des Luftfahrzeugs
$L_{W'E} (V)$	dB	energetische Summe des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition des Luftfahrzeugs in Abhängigkeit der Geschwindigkeit
$L_{W'E} (V+30\%)$	dB	energetische Summe des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition des Luftfahrzeugs in Abhängigkeit von 30 % höheren Geschwindigkeiten
$L_{W'E} (V-30\%)$	dB	energetische Summe des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition des Luftfahrzeugs in Abhängigkeit von 30 % niedrigeren Geschwindigkeiten
$L_{W'E,n}$	dB	Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposition einer Luftfahrzeugklasse für das n-te Oktavband
L_x	dB	zu ergänzende Mittelungs- und Maximalpegel aus Schienenverkehrsgeräuschen für die Jahre 1996 bis 2010
m'	kg/m ²	flächenbezogene Masse
Mittelungszeit bzw. Teilzeit		Zeitintervall der Mittelung über mehrere Stunden eines Tages
MTOM	t	Höchststartmasse (maximum take off mass)
M		Mittelwert
n	1/h	Anzahl an Zugfahrten pro Stunde
N		Anzahl einer Untersuchungsmenge (Messstellen, Probandenadressen, Gebäudeadresse etc.)
n		Anzahl Flugbewegungen, die zur Berechnung verwendet wurden
Nachhallzeit		Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum nach Verstummen einer Schallquelle auf den tausendsten Teil abfällt
NAT		number above threshold; Überschreitungshäufigkeit eines Schwellwertes des Maximalpegels
n_{ges}		Gesamtanzahl der Flugbewegungen

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
nm	nm	Nautische Meile
NN		Normal Null, Bezugshöhe
NRW		Nordrhein-Westfalen
o. a.		oben angegeben
OTSD		Optimized Traffic Systems Development GmbH
PFU		Planfeststellungsuntersuchung
Pkw		Personenkraftwagen
p_{Lkw}	%	Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil)
QSI		Datenformat nach Anhang E der DIN 45687 (Qualitätssicherung für Software-Erzeugnisse zur Immissionsberechnung)
Q_o	dB	luftfahrzeugklassenspezifische Standardabweichung der Emissionsdaten
RLP		Rheinland-Pfalz
RLS-90		Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen 1990
RP-Darmstadt		Regierungsbezirk Darmstadt
R'_w	dB	vorhandenes bewertetes Schalldämm-Maß
$R'_{w,i}$	dB	vorhandenes bewertetes Schalldämm-Maß der Außenbauteile
$R_{w,res}$	dB	resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Außenfläche eines Raumes
s oder d	m	Effektiver Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort
S		Startklasse von Luftfahrzeugen gemäß AzB
SB-Anteil	%	Scheibenbremsanteil
Schallemission		Von einer Schallquelle emittierter (abgestrahlter) Schall. Je nach Richtlinie kann die Schallemission über den Schallleistungspegel L_w oder den sog. Emissionspegel $L_{m,E}$ beschrieben werden
Schallimmission		Einwirkung des Schalls an einem Ort
Schall 03		Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege
SZ		Schlafzimmer
SD	dB	Standardabweichung
SenStadtUm		Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
SSF		Feiertage, Samstag und Sonntag
S_g	m ²	vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche
S_i	m ²	Teilflächen
s_k	m	Abstand zwischen Immissionsort und dem Mittelpunkt eines Teilstücks
Sigma-Regelung		Regelung bzw. Vorschrift, welche die zeitlich wechselnden Betriebsrichtungen berücksichtigt
Standardunsicherheit		Die Standardunsicherheit entspricht gemäß GUM der als Standardabweichung (Vertrauensniveau 68 %) ausgedrückten Unsicherheit
SV		Schwerverkehr
SVZ		Straßenverkehrszählung
Transmission		Übertragung des Schalls zwischen Emissionsort und Immissionsort. Schallausbreitungsweg
T	s	Zeitintervall der Mittelung
T_B	h	Bezugszeit
T_M	h	Messzeit

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
U		erweiterte Unsicherheit
u. a.		unter anderem
$u(x_i)$		Standardunsicherheit des Schätzwertes x_i
u_{ac}	dB	Standardunsicherheit eines Flugzeugtyps
$u_{ac,max}$	dB	maximale Standardunsicherheit eines Flugzeugtyps
$u_{ac,min}$	dB	minimale Standardunsicherheit eines Flugzeugtyps
u_{as}	dB	Standardunsicherheit durch Typenzuordnung
$u_c(y)$		kombinierte Standardunsicherheit der Realisierung der Kenngröße y
u_{eng}	dB	Standardunsicherheit durch unterschiedliche Motorisierung
u_h	m	Standardunsicherheit der Flughöhe
u_i	dB	Standardunsicherheit der einzelnen Einflussgrößen bei Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen
u_{iL}	dB	Standardunsicherheit der Leistungssetzung bei Landungen
u_{iS}	dB	Standardunsicherheit der Leistungssetzung bei Starts
u_l	m	Standardunsicherheit des lateralen Abstandes zwischen Luftfahrzeug und Immissionsort
UNH		Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH
u_s	m	Standardunsicherheit des Abstandes zwischen Luftfahrzeug und Immissionsort
u_{sour}	dB	Standardunsicherheit des Quellwertes bzw. des Referenztyps
v	m/s	Geschwindigkeit
v. a.		vor allem
$V - max$	km/h	Fahrzeughöchstgeschwindigkeit der Züge
VBEB		Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm
VBUS		Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen
VBUSch		Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen
VDI		Verein Deutscher Ingenieure
vgl.		vergleiche
VISUM		Software für Verkehrsanalysen, Verkehrsprognosen und GIS-orientierte Datenverwaltung
v_{Lkw}	km/h	Geschwindigkeit einer Lkw Vorbeifahrt
v_{Pkw}	km/h	Geschwindigkeit einer Pkw Vorbeifahrt
v_{Zug}	km/h	mittlere Geschwindigkeit einer Zugvorbeifahrt
WBQ		Wissenschaftlicher Begleitkreis zur Qualitätssicherung
WZ		Wohnzimmer
WT		Werktage, Montag - Freitag
$X_1, X_2, X_N / x_1, x_2, x_N / x_i$		Eingangsgrößen bzw. Einflussgrößen
x-Koordinate	m	Rechtswertangabe der Position eines Luftfahrzeuges
Y / y		Kenngröße
y-Koordinate	m	Hochwertangabe der Position eines Luftfahrzeuges
Z	dB	Zusatzpegel zur Berücksichtigung der Änderung in der Triebwerksleistung

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
z. B.		zum Beispiel
Zeus		Zeus GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung
z-Koordinate	m	Höhenangabe aus Radardaten (Radarprofil)
ZSHH		Zentrale Stelle Hauskoordinaten und Hausumringe
α	°	Höhenwinkel
δ_k	°	Winkel am Emissionsort zwischen s_k und der Gleisachse
θ	°	Winkel zwischen der Luftfahrzeuglängsachse (Flugrichtung) und dem Ausbreitungsvektor zum Immissionsort
σ	m	Bogenlänge auf einer Flugspur
σ	dB	Standardabweichung aus Messungen
σ'	m	Bogenlänge einer Flugspur bzw. Radarspur, die von Luftfahrzeugklassen-Bezugspunkt an gezählt wird

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Interpolation akustischer Kenngrößen aus Immissionsrastern	177
Anhang 2:	Flugzeugtypen zu Luftfahrzeugklassen generell	178
Anhang 3:	Flugbewegungen zu Luftfahrzeugklassen	180
Anhang 4:	Berechnungsunsicherheit bei Luftverkehrsgeräuschen	181
Anhang 5:	Berechnungsunsicherheit bei Straßenverkehrsgeräuschen	194
Anhang 6:	Berechnungsunsicherheit bei Schienenverkehrsgeräuschen	204
Anhang 7:	Ergebnisse der Pegelberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche in Studienmodul 1	212
Anhang 8:	Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1	220
Anhang 9:	Vergleich der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche bei Nacht an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1	222
Anhang 10:	Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1	223
Anhang 11:	Flugbewegungen je Monat getrennt nach WT und SSF in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring	229
Anhang 12:	Monatsaufteilung für die individuellen Jahrespegel in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring	231
Anhang 13:	Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring	232
Anhang 14:	Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 2 Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie	234
Anhang 15:	Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 3	236
Anhang 16:	Zusammenstellung der akustischen Kenngrößen aus den Studienmodulen 1, 2 und 3	241
Anhang 17:	Messung und Berechnung frequenzabhängiger Nachhallzeiten in den Klassenräumen durch das Hörzentrum Oldenburg	258
Anhang 18:	Berichte der AVIA-Consult zu den Fluglärmrechnungen am Flughafen Köln/Bonn, Flughafen Stuttgart und Flughafen Berlin/Schönefeld	262

Anhang 1: Interpolation akustischer Kenngrößen aus Immissionsrastern

Sowohl der Mittelungspegel als auch der Maximalpegel werden bei diesem Verfahren wie folgt aus den Berechnungsrastern interpoliert:

- Lineare Interpolation in x-Richtung (zwischen P_1 / P_4 und P_2 / P_3) ergibt 2 Pegel an P_{23} und P_{14} ;
- Lineare Interpolation in y-Richtung zwischen P_{23} und P_{14} .

Eine interpolierte Maximalpegelverteilung wird wie folgt gebildet:

- Die Interpolation der Maximalpegelverteilung erfolgt grundsätzlich analog zur oben beschriebenen Mittelwertbildung der Pegel. Lineare Interpolation in x-Richtung (zwischen P_1 / P_4 und P_2 / P_3) ergibt 2 Maximalpegelverteilungen an P_{23} und P_{14} ;
- Lineare Interpolation in y-Richtung zwischen P_{23} und P_{14} (siehe unten);
- Bildung der 5 dB Klassen.

Die lineare Interpolation zweier Maximalpegelverteilungen erfolgt folgendermaßen:

- Berechnung des Erwartungswertes beider Verteilungen (z. B. an P_2 und P_3);
- Lineare Interpolation eines neuen Erwartungswertes (an P_{23});
- Beide ursprünglichen Verteilungen (an P_2 und P_3) werden zum interpolierten Erwartungswert hin verschoben;
- Lineare Interpolation aller 1 dB Klassen zwischen den beiden verschobenen Verteilungen.

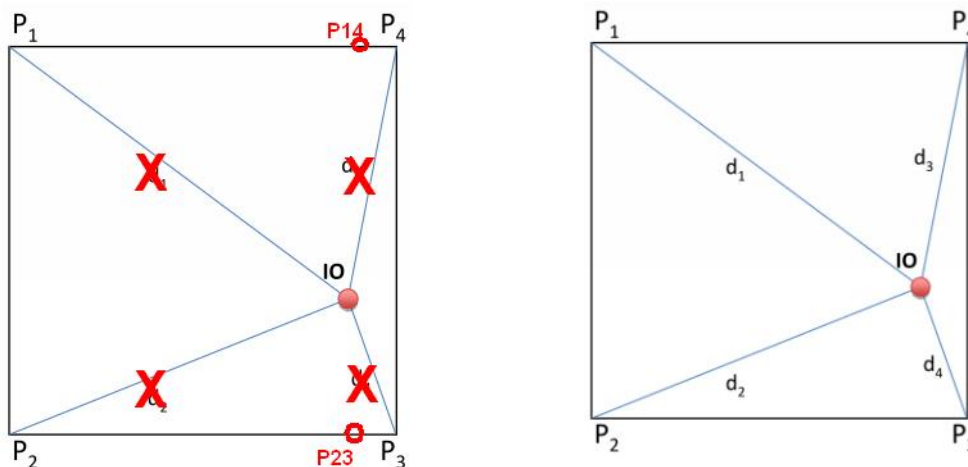


Abbildung A-1: Exemplarische Darstellung zur Interpolation der Schallpegel aus den Immissionsrastern

Anhang 2: Flugzeugtypen zu Luftfahrzeugklassen generell

Tabelle A-1: Generelle Zuweisung der Flugzeugtypen zu Luftfahrzeuggruppen nach AzB am Flughafen Frankfurt am Main für NORAH

Luftfahrzeuggruppe	Flugzeugtyp
H 1.0	H269, R22
H 1.1	A109, A119, ALO2, ALO3, AS50, AS55, B06, B06T, B105, B407, B427, B430, B47G, B47J, EC20, EC30, EC35, EN28, EN48, EXPL, FH11, GAZL, H12T, H500, LAMA, MI34, R4, R44, S330, S51, S52, SCOU, WASP, S332, BH06, S365, BH12, S342, B12, AS35, EC36, A119, A119, A119
H 1.2	AS32, AS65, B222, B230, BK17, EC45, EC55, H66, MI2, S360, S55P, S55T, S58T, S62, S65C, UH1, BH22, BH05, MBK7, S366, BH14
H 2.1	B212, B412, BSTP, H64, LYNX, MI4, PUMA, S58P, S61, S61R, S76, TIGR, WESX, WG30, SK76
H 2.2	EC25, EH10, FREL, H47, H53, H53S, H60, MI10, MI14, MI24, MI26, MI28, MI38, MI6, MI8, S64, S92
P 1.0	ZEP2
P 1.1	DIMO, ECHO, FDCT, G103, G109, GOLF, IMPU, RF10, RF3, RF4, RF47, RF5, RF6, RF9, RS12, SF23, SF24, SF25, SF27, SF28, SF31, SF32, SF35, SF36, TFUN, ULAC, MRC
P 1.3	A210, A9, AA1, AA5, AB11, AB15, AB18, AB95, AE45, AM3, AR11, AR15, AR79, B209, B36T, BE17, BE23, BE24, BE33, BE35, BE36, BE76, BE77, BU31, BX2, C120, C150, C152, C170, C172, C175, C177, C180, C182, C185, C188, C190, C195, C205, C206, C207, C210, C21T, C72R, C77R, C82R, CH7A, CLB1, COL3, COL4, D11, D250, D253, DA40, DA42, DH80, DH82, DH83, DO27, DR10, DR22, DR30, DR40, DV20, E400, F156, F260, F26T, G115, G120, G15T, GA7, GC1, GF20, GLAS, GLST, GLTU, GY80, HR10, HR20, JUNR, KL07, L200, L90, LA25, LA60, LEG2, LNC2, LNC4, LNCE, M200, M20P, M20T, MAME, MAVR, ME08, MF17, P149, P210, P28A, P28B, P28R, P28T, PA12, PA18, PA20, PA22, PA24, PA25, PA27, PA28, PA30, PA32, PA38, PA44, PA46, PC6P, PL12, PL2, PL4, PL9, PT70, R300, R90R, RALL, RS18, RV3, RV4, RV6, RV7, RV8, RV9, S208, S223, SC01, SR20, SR22, SUBA, SYMP, TAMP, TB30, TGRS, TOBA, TRIN, VIX, VO10, WA50, WACO, Y112, YK50, YK52, YK53, YK54, Z42, Z43, Z50, TPIN, BE38, DH8, O410, PA42, PARO, BE3B, MO20, MO2J, M20, JSTB, P21, DHC1
P 1.4	AC50, AC56, AC68, AC6L, AC72, AC80, AC90, AC95, AEST, AN2, AT3P, AT3T, AT5P, AT5T, AT6T, BE10, BE18, BE20, BE30, BE50, BE55, BE56, BE58, BE60, BE65, BE70, BE80, BE88, BE95, BE99, BE9L, BE9T, BN2P, BN2T, C208, C303, C310, C320, C335, C336, C337, C340, C402, C404, C411, C414, C421, C425, C441, DHC2, DO28, E110, E121, EX5T, F406, G850, IR23, JCRU, ME09, MU2, P180, P46T, P68, PA23, PA31, PA34, PA36, PAY2, PAY3, PAY4, PC12, PC6T, PC7, PC9, SS2P, SW2, T6, TBM7, TBM8, AC6T, BE90, C12, PAYE, TB70, PAY1, DHC6, PASE, RA06, BA10, BE9F, AC70, PA60, CL64, AC60, P31T, T300, P68T, T450
P 2.1	A748, AN24, AN28, AT43, AT44, AT45, AT72, AT8T, ATP, B190, B350, C212, CN35, D228, D328, DH8A, DH8B, DH8C, DH8D, DHC7, E120, F27, F50, I114, JS31, JS32, JS41, N262, SB20, SF34, SH36,

Luftfahrzeuggruppe	Flugzeugtyp
	STAR, SW3, SW4, AT42, BE02, DH7, FK27, FK50, HS74, FA22, BA31, BEST, DHC8, ATR, CS12, DCH8, F60, N260, AT75
P 2.2	AN12, AN22, AN26, AN8, CVLP, CVLT, DC2, DC3, DC4, IL14, IL18, JS20, JU52, L188, L410, SH33, DC6, G159, SH5, DH6, BELF, CL44, CL4G
P-MIL 1	YK11, YK12, YK18, T34P
P-MIL 2	C130, C160, C295, IL38, TU4, TU95, L382, ND16, ATLA, P3, T130, C123, C30J, KC13
S 1.0	FA10, S601, L329, N265, L29, L29A, L29B, SBR1
S 1.1	BA11, DC91, DC92, DC93, DC94, DC95, F28, T134, T154, VF14, YK40, C9, DC9, FK28, TU34, TU54
S 1.2	B731, B732, B7SV
S 1.3	B721, B722, B720, R721
S 3.2	DC85, DC86, DC87, DC8Q, IL62, IL76, IL86, V10, VC10, DC8, DC8F
S 4	B701, B703, C14T, CONC, T144, B707, C137, B70F
S 5.1	A148, AN72, ASTR, B461, B462, B463, BA46, BE40, C25A, C25B, C25C, C500, C501, C510, C525, C526, C550, C551, C560, C56X, C650, C680, C750, CL30, CL60, CRJ1, CRJ2, CRJ7, CRJ9, CRJX, E135, E145, E170, E50P, E55P, EA50, F100, F2TH, F70, F900, FA20, FA50, FA7X, FOUG, G150, GALX, GL5T, GLEX, GLF2, GLF3, GLF4, GLF5, H25A, H25B, H25C, HA4T, J328, J728, JCOM, LJ24, LJ25, LJ28, LJ31, LJ35, LJ40, LJ45, LJ55, LJ60, MU30, PRM1, RJ1H, RJ70, RJ85, T334, WW24, AJ25, BJ40, C20, C21, CL65, DA10, DA20, DA22, DA50, DA90, FK10, FK70, G4, HS25, LR24, LR31, LR35, LR55, LR60, DC8S, LR36, G3, G2, C20A, DA21, WW23, MU3, LR25, C21A, FK60, FA2, C512, CARJ, GULF, FA30, G5
S 5.2	A318, A319, A320, A321, B733, B734, B735, B736, B737, B738, B739, B752, E190, MD90, S210, T204, B73F, B73S, B73V, EA32, VK42, ZZZZ, BA15, HU90, 737, GA84, B73B, B73A, T350, ND30, B3A, B73, B73C, B75A, E320, E320, X73B, B712, A385, A430, B321, N733
S 5.3	MD80, MD81, MD82, MD83, MD87, MD88, YK42, B727, B72B
S 6.1	A306, A30B, A310, A330, A332, A333, A3ST, B753, B762, B763, B764, B772, B773, B77L, B77W, B783, B788, B789, B757, B767, B777, EA30, EA31, EA33, A300, AB6, A30, E310, N767
S 6.2	C17, DC10, IL96, L101, MD11, KC10, MA11, ND11, C17A
S 6.3	A342, A343, A345, A346, EA34, A340, A34, B340, E340
S 7	A124, B741, B742, B743, B744, B74D, B74R, B74S, B747, B74F, B74B, B74A, B74, B745
S 8	A388
S-MIL 1	E3CF, E3TF, C141, C5, C135, E3A, C5A, E3, K35A, K35E, KC35, K35R
S-MIL 2	AC11, HAWK, CM11, F4, L39
S-MIL 3	TOR
S-MIL 4	JSTA

Anhang 3: Flugbewegungen zu Luftfahrzeugklassen

Tabelle A-2: Aufteilung der Flugbewegungen auf die Luftfahrzeuggruppen für die Erhebungszeit 2005

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungen
?	57
H 1.1	30
H 1.2	19
H 2.1	2
H 2.2	14
P 1.3	6
P 1.4	692
P 2.1	15.650
P 2.2	91
P-MIL 2	192
S 1.0	40
S 1.1	1.528
S 1.2	108
S 1.3	197
S 3.2	515
S 5.1	82.965
S 5.2	249.036
S 5.3	6.695
S 6.1	60.562
S 6.2	12.543
S 6.3	17.367
S 7	36.242
S 8	2
S-MIL 1	352
S-MIL 6	3.962

Anhang 4: Berechnungsunsicherheit bei Luftverkehrsgeräuschen

Emission: Streuung innerhalb Luftfahrzeugklasse

Gemäß den Ausführungen der AzB wird bei der Berechnung der Pegelhäufigkeitskriterien davon ausgegangen, dass jeder Vorbeiflug am Immissionsort im Abstand s den gleichen Maximalpegel erzeugt. „In der Praxis beobachtet man aber Pegelverteilungen, die – für eine feste Kombination von Flugzeugtyp und Flugweg – nahezu einer Normalverteilung entsprechen.“ (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008, S. 43 f). Das bedeutet, die gemäß AzB berechneten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen weisen einen mittleren Maximalschalldruckpegel $L_{pAS,max}$ mit einer Standardunsicherheit Q_σ auf. Nach AzB gilt $Q_\sigma = 3$ dB als Standardabweichung der Luftfahrzeugklassen. Diese für die Berechnung der Maximalpegelverteilung anzuwendende Standardunsicherheit schlägt sich in erster Näherung auch auf die Berechnung der Mittelungspegel nieder, wobei sich die Effekte bei der Vielzahl der berücksichtigten Einzelflüge wiederum gegenseitig aufheben. Die durch die Streuung der Pegel innerhalb der Luftfahrzeugklassen resultierende Standardabweichung von $u_i = 3$ dB überschätzt daher zwar tendenziell die effektive Streuung, wird in vorliegender Untersuchung (wie bereits in Kapitel 6.3 beschrieben) als obere Abschätzung der Quellunsicherheit verwendet.

Emission: Richtwirkung

Gemäß AzB ist bei der Richtwirkung von Luftfahrzeugen von Rotationssymmetrie auszugehen (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Die Abschätzung der Berechnungsunsicherheit durch die Richtwirkung erfolgt anhand der Dissertation Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen Anhang A 14 (Thomann, 2007). Dort sind für verschiedene Flugzeugtypen in Abhängigkeit des Winkels θ Richtwirkungskorrekturen D_A für A-bewertete Schallleistungspegel und deren Standardabweichungen bei Rotationsymmetrie (Standardabweichung der Differenz zwischen den auf 305 Metern normierten gemessenen und mittels H_{ik} -Koeffizienten berechneten A-bewerteten Einzelereignispegeln) angegeben.

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch Richtwirkung werden für vordefinierte Abstände s die Winkel θ aus einer exemplarisch berechneten Radarbahn entnommen und mit den Richtwirkungskorrekturen und Standardabweichungen gemäß Thomann Anhang A 14 versehen (Thomann, 2007). Unter der Annahme, dass die Richtwirkungskorrekturen nach Thomann (D_A) für eine Berechnung gemäß AzB (D_I) verwendet werden können, werden folgende Schallexpositionspegel $L_{pE}(D_I)$, $L_{W'E}(D_I-SD)$ und $L_{W'E}(D_I+SD)$ berechnet. Zur Berechnung wird ferner angenommen, dass der Schallexpositionspegel nur von der Richtwirkung abhängig ist. Es gilt:

$$L_{pE}(D_I) = L_{WE} + D_I(\theta) + k \quad (24)$$

- $L_{pE}(D_I)$ energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels in Abhängigkeit des Richtwirkungsmaßes am Immissionsort in verschiedenem Abstand s
- L_{WE} energetische Summe des Schalleistungsexpositionspegels des Luftfahrzeugs (angenommen 141 dB)
- $D_I(\theta)$ Richtwirkungsmaß für verschiedene Winkel θ in $^\circ$
- k Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB (außer Richtwirkungsmaß). Werden zunächst mit 0 dB angenommen.

Die Standardunsicherheit durch die Richtwirkung wird dann in Anlehnung an Gleichung (31) unter der Annahme einer Rechteckverteilung aus den Pegeldifferenzen $\Delta L_{pE,max} = L_{pE}(D_I+SD) - L_{pE}(D_I)$ bzw. $\Delta L_{pE,min} = L_{pE}(D_I-SD) - L_{pE}(D_I)$ berechnet.

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle A-3 dargestellt.

Tabelle A-3: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Richtwirkung

s in m	θ in $^\circ$ aus Radardaten	D_I in dB	$D_I - SD$ in dB	$D_I + SD$ in dB	$L_{pE}(D_I)$ in dB	$L_{pE}(D_I - SD)$ in dB	$L_{pE}(D_I + SD)$ in dB	u_i in dB
1000	90	0,8	-1	2,6	141,8	140	143,6	1
2000	135	-2,4	-4,2	-0,6	138,6	136,8	140,4	1
5000	161	-9,9	-11,7	-8,1	131,1	129,3	132,9	1

In Abbildung A-2 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

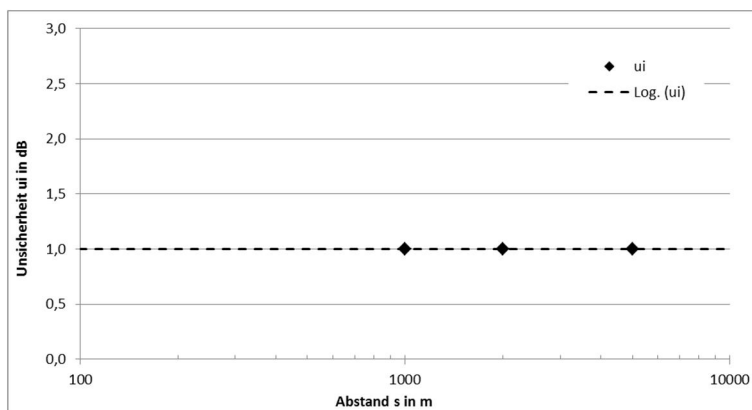


Abbildung A-2: Standardunsicherheit aus Richtwirkung u_i in Abhängigkeit von s

Emission: Geschwindigkeit

Gemäß Thomann besteht zwischen der Unsicherheit der Geschwindigkeit und der Standardabweichung im Schalldruckexpositionspegel ein linearer Zusammenhang. Zur Abschätzung der maximal möglichen Standardabweichung durch die Geschwindigkeit, wird von einer Unsicherheit von bis zu $\pm 30\%$ in den Geschwindigkeitsangaben der Radardaten ausgegangen (Thomann, 2007).

Zur Quantifizierung der Standardabweichung u_i der Geschwindigkeit werden zunächst die längenbezogenen Schalleistungsexpositionspegel $L_{W'E}$ (V), $L_{W'E}$ ($V-30\%$) und $L_{W'E}$ ($V+30\%$) (vgl. 1. FlugLSV, Anlage 2, 2008) für verschiedene Abstände s berechnet. Unter der An-

nahme, dass nur das Geschwindigkeitsmaß der AzB mit einer Unsicherheit behaftet ist gilt folgender Zusammenhang.

$$L_{W'E}(V) = L_{\Sigma On} + D_V(V) + k \quad (25)$$

$L_{\Sigma On}$ energetische Summe des Oktavpegelspektrums des Luftfahrzeugs (angen. 82 dB)

$L_{W'E}(V)$ energetische Summe des Pegels der längenbezogenen Schallleistungsexposition des Luftfahrzeugs in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

$D_V(V)$ Geschwindigkeitsmaß in Abhängigkeit der Geschwindigkeit V

k Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB. Werden zunächst mit 0 dB angenommen.

Unter Annahme einer Rechteckverteilung der Werte wird die Standardunsicherheit aus den Pegeldifferenzen $\Delta L_{W'E, \max} = L_{W'E}(V-30\%) - L_{W'E}(V)$ bzw. $\Delta L_{W'E, \min} = L_{W'E}(V+30\%) - L_{W'E}(V)$ in Anlehnung an Gleichung (31) berechnet. In Tabelle A-4 sind die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt.

Tabelle A-4: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Geschwindigkeit aus den Radardaten

s in m	v in m/s	v - 30 % in m/s	v + 30 % in m/s	$L_{W'E}(V)$ in dB	$L_{W'E}(V - 30 \%)$ in dB	$L_{W'E}(V + 30 \%)$ in dB	u_i in dB
1000	99,42	69,594	129,246	62	63,6	60,9	0,8
2000	99,42	69,594	129,246	62	63,6	60,9	0,8
5000	99,42	69,594	129,246	62	63,6	60,9	0,8

In Abbildung A-3 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

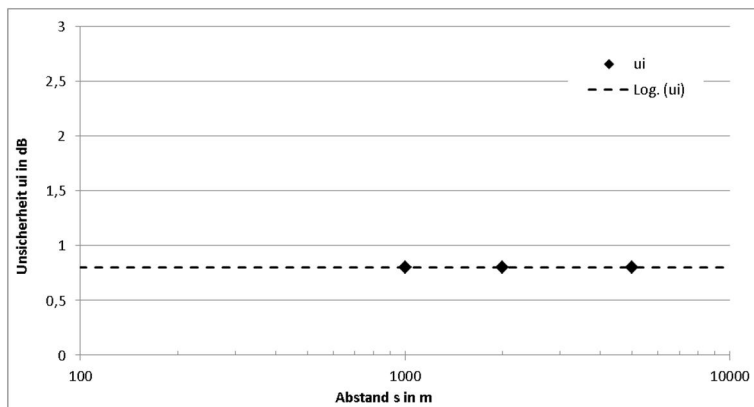


Abbildung A-3: Standardunsicherheit aus Geschwindigkeitsangaben u_i in Abhängigkeit von s

Emission: Verkehrsmenge (Ausfallrate bei den Radardaten)

Zur Erstellung der Schallausbreitungsmodelle für Luftverkehrsgeräusche werden die von der DFS übergebenen FANOMOS oder STANLY-Track-Radardaten in die Modellsoftware importiert. Dabei werden die Angaben zu den Bewegungsprofilen (x, y, z, v Angaben) und die Flugplanangaben (Angaben zu Start oder Landung, Zielrunway, etc.) in Flugbewegungsdatenbanken abgelegt. Enthalten Flugbewegungen fehlerhafte oder unvollständige Angaben in den Bewegungsprofilen oder in den Flugplanangaben, so werden diese Daten für die Berechnungen teilweise oder gänzlich unbrauchbar.

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch Ausfälle bei den Radardaten werden anhand einer Flugbewegungsdatenbank mit hoher Ausfallrate beispielhaft die absoluten Pegelabweichung bezogen auf alle Flüge, für Landungen und Starts berechnet. Dabei wird folgender Berechnungsansatz verwendet.

$$\Delta L = 10 * \log(n_{ges}) - 10 * \log(n) \quad (26)$$

n_{ges} Gesamtanzahl der Flugbewegungen

n Anzahl Flugbewegungen, die zur Berechnung verwendet werden können

Die Vorauswertung der Flugbewegungsdatenbank mit hoher Ausfallrate an Radardaten ist in nachfolgender Tabelle A-5 dargestellt. Der Prozentsatz an Flugbewegungen, die nicht weiter verwendet werden können, liegt, bezogen auf alle Flüge, bei 8,7 %. Nicht verwertbare Landeanflüge (Arrival) liegen bei 1,1 % und nicht verwertbare Starts (Departure) bei 7,6 %. Daraus folgt, dass zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch die Ausfälle an Radardaten keine Rechteckverteilung gemäß Gleichung (27) angenommen werden kann, da sich die Ausfälle nicht gleichmäßig auf Starts und Landungen verteilen. Die Standardunsicherheit u_i wird daher anhand der Ausfallrate bezogen auf alle verwendbaren Flugbewegungen quantifiziert und liegt somit bei $u_i = 0,4$ dB. Dies entspricht dem arithmetischen Mittelwert aus den Abweichungen bezogen auf alle verwendbaren Landungen und Starts.

Tabelle A-5: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch Ausfälle bei den Radardaten

AzB-Group	Anzahl Flugbewegungen n_{ges}	Total [%]	Flugbewegungen ohne Fehler [%]	Flugbewegungen fehlerhaft aber verwendbar [%]	Flugbewegungen nicht verwendbar [%]	Anzahl fehlerhaft	Zur Berechnung verwendbar n	Abweichung der Pegel u_i [dB]
All	186840,0	100,0	91,3	0,0	8,7	16319,0	170521,0	0,4
Arrival	93366,0	50,0	48,8	0,0	1,1	2092,0	91274,0	0,1
Departure	93404,0	50,0	42,4	0,0	7,6	14157,0	79247,0	0,7
Pattern Flight	70,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0	0,0	0,0

Emission: Verkehrszusammensetzung

Gemäß den Ausführungen der AzD werden Luftfahrzeugtypen anhand ihres MTOM (Höchststartmasse) in AzB-Klassen eingeteilt (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008). Daher ist die Einteilung leichter Luftfahrzeuge in eine AzB-Klasse für sehr schwere Luftfahrzeuge nahezu ausgeschlossen und wird nicht näher untersucht. Problematisch sind Fälle ähnlich schwerer Luftfahrzeuge. Nachfolgender Auszug aus der AzD enthält die Definition der Luftfahrzeugklassen S 5.2 und S 5.3. Es zeigt sich, dass sich die Luftfahrzeugklassen S 5.2 und S 5.3 lediglich in ihrem Triebwerks-Nennstromverhältnis unterscheiden. Eine falsche Zuordnung kann daher für sehr ähnliche Luftfahrzeuge nicht ausgeschlossen werden. Nachfolgende Tabelle A-6 enthält einen Auszug aus den Definitionen der Luftfahrzeugklassen gemäß AzD (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008).

Tabelle A-6: Definition der Luftfahrzeugklassen gemäß AzD

Luftfahrzeugklasse	Definition
.	.
.	.
.	.
S 5.2	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nennstromverhältnis größer 3,
S 5.3	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nennstromverhältnis bis 3,
.	.
.	.
.	.

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch Fehler bei der Zuweisung der Luftfahrzeuge zu Luftfahrzeugklassen, werden die Emissionsdaten der Luftfahrzeugklassen S 5.2 – S und S 5.3 – S in Tabelle A-7 gegenübergestellt.

Tabelle A-7: Quellemission der Luftfahrzeugklasse S 5.2 – S und S 5.3 – S

Oktavmittelfrequenz	Luftfahrzeugklasse S 5.2 – S	Luftfahrzeugklasse S 5.3 – S
f_{0n} Hz	$L_{W'E,n}$ dB	$L_{W'E,n}$ dB
63	131,9	134,9
125	135,5	138,0
250	133,7	137,7
500	132,5	135,5
1.000	130,2	132,2
2.000	128,8	129,3
4.000	130,5	126,0
8.000	126,2	121,7
Energetische Summe L_Z	141,0	143,4

Die Differenz zwischen der energetischen Summe des Oktavspektrums der Luftfahrzeugklassen S 5.3 – S und S 5.2 – S zeigt, dass bei falscher Zuweisung sehr ähnlicher Flugzeugtypen

pen eine Fehleinschätzung von 2,4 dB möglich ist. Unterstellt man eine Rechteckverteilung, ergibt sich eine Standardunsicherheit von $u_i = \frac{2,4 \text{ dB}}{\sqrt{12}} = 0,7 \text{ dB}$.

Transmission: Abstandsmaß

a) Unsicherheit der Positionsangaben x, y und z aus Radardaten

Laut der Angaben der DFS können bei der Messung der x- und y-Position horizontale Abweichungen im Geradeausflug von durchschnittlich +/- 200 m auftreten. Im Kurvenflug sind sogar Abweichungen von maximal +/- 400 m möglich. Die Messtoleranz des barometrischen Höhenmessers im Luftfahrzeug liegt bei bis zu +/- 30 m (http://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Flugverl%C3%A4ufe%20online/FAQs%20STANLY_Track/).

Zur Abschätzung der Standardunsicherheit bei der Berechnung der Schallimmission wird von einer mittleren lateralen Abweichung von $\pm (400 \text{ m} + 200 \text{ m})/2 = \pm 300 \text{ m}$ und einer Abweichung der horizontalen Position (Flughöhe) von $\pm 30 \text{ m}$ ausgegangen.

Die Standardabweichung u_l der lateralen bzw. u_h der horizontalen Positionstoleranz errechnet sich unter Annahme einer Rechteckverteilung zu

$$u_l = \frac{300 \text{ m} + 300 \text{ m}}{\sqrt{12}} = 173 \text{ m} \quad (27)$$

$$u_h = \frac{30 \text{ m} + 30 \text{ m}}{\sqrt{12}} = 17 \text{ m} \quad (28)$$

In erster Näherung ergibt sich daraus die abstandsbedingte Unsicherheit zu

$$u_s = \sqrt{u_l^2 + u_h^2} = 174 \text{ m} \quad (29)$$

Dieser Wert wird verwendet, um in vordefinierten Abständen s die Schalldruckexpositionspegel $L_{pE}(s)$, $L_{pE}(s-u_s)$ und $L_{pE}(s+u_s)$ zu berechnen. Unter der Annahme, dass nur die abstandsbedingte Pegelabnahme D_s von u_s betroffen ist, gilt folgender Ansatz:

$$L_{pE}(s) = L_{WE} + D_s(s) + k \quad (30)$$

$L_{pE}(s)$	energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes s
L_{WE}	energetische Summe des Schallleistungsexpositionspegels des Luftfahrzeugs (angenommen 141 dB)
$D_s(s)$	Abstandsmaß in Abhängigkeit des Abstandes s
k	Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB außer Abstandsmaß. Werden zunächst mit 0 dB angenommen.

Zur Bestimmung der Standardunsicherheit der Positionsangaben werden die Pegeldifferenzen $\Delta L_{pE,max} = L_{pE}(s-u_s) - L_{pE}(s)$ bzw. $\Delta L_{pE,min} = L_{pE}(s + u_s) - L_{pE}(s)$ berechnet. Weiter wird von einer Rechteckverteilung der Schalldruckexpositionspegel ausgegangen. Zur Berechnung der Unsicherheitskomponente durch die Lageunsicherheit gilt folgender Ansatz:

$$u_i = \frac{\Delta L_{pE,max} - \Delta L_{pE,min}}{\sqrt{12}} \quad (31)$$

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle A-8 dargestellt.

Tabelle A-8: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Positionsangaben aus den Radardaten

s in m	s - u_s in m	s + u_s in m	$L_{pE}(s)$ in dB	$L_{pE}(s - u_s)$ in dB	$L_{pE}(s + u_s)$ in dB	u_i in dB
1000	826	1.174	70	71,7	68,6	0,9
2000	1.826	2.174	64	64,8	63,3	0,4
5000	4.826	5.174	56	56,3	55,7	0,2

In Abbildung A-4 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

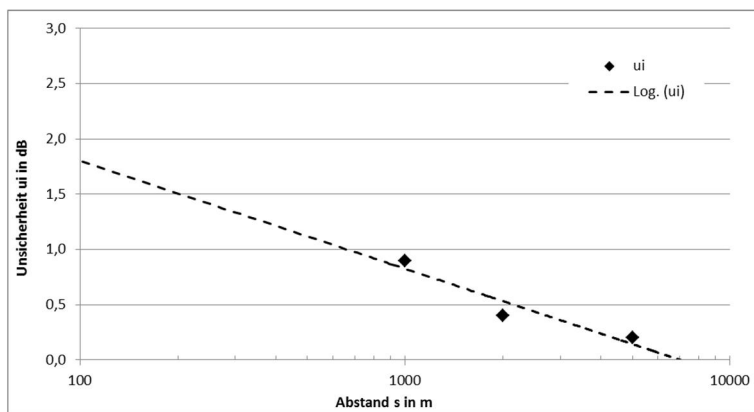


Abbildung A-4: Standardunsicherheit aus Lage der Quelle u_i in Abhängigkeit von s

Hinweis:

Auch diese Abweichungen der Positionsangaben werden sich in der Regel bei der Berechnung der für Mittelungspegel zusammengefassten Einzelflüge größtenteils gegenseitig aufheben. Die angegebene Unsicherheit überschätzt daher die effektive Unsicherheit. In vorliegender Untersuchung soll der angegebene Wert dennoch als obere Abschätzung der Unsicherheit eingehen.

b) Unsicherheit durch barometrische Höhenkorrektur

Gemäß den Ausführungen der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS) sind die Höhenangaben, die aus den Luftfahrzeugen stammen, nicht nur durch die Messtoleranz des barometrischen Höhenmessers mit einer Unsicherheit behaftet. Durch die Abweichungen der Temperatur und des Luftdrucks in unterschiedlichen Flughöhen bezogen auf Standardatmosphäre kann die barometrische Höhe um bis zu +/- 300 m von der geometrischen Höhe abweichen

(http://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Flugsicherung/Umwelt/Flugverl%C3%A4ufe%20online/FAQs%20STANLY_Track/). Die sogenannte barometrische Höhenkorrektur wird gemäß DFS am Flughafen durchgeführt. Gemäß Thomann wird diese Korrektur ab einer Flughöhe von 7.000 Fuß (d.i. über 2.000 m) durchgeführt. Das Schallausbreitungsmodell ist also erst ab dieser Höhe mit der Standardunsicherheit der barometrischen Höhenkorrektur behaftet. Unterhalb dieser Höhe entfällt deren Einfluss. Zur Quantifizierung der Standardabweichung u_i durch die barometrische Höhenkorrektur wird davon ausgegangen, dass sich ein möglicher Immissionsort direkt unterhalb einer Radarbahn befindet. Dadurch ist der Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort gleich der Höhe der Schallquelle h_s über Grund und der Einfluss der barometrischen Höhenkorrektur am größten. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass der Abstand s bei dieser Betrachtung nur von der barometrischen Höhenkorrektur abhängt und somit die Standardabweichung $u_s = 300$ m beträgt. Wie in Anhang 4 Transmission: Abstandsmaß a) erläutert, werden gemäß Gleichung (30) (mit denselben Annahmen) die Schalldruckexpositionspegel $L_{pE}(s)$, $L_{pE}(s-u_s)$ und $L_{pE}(s+u_s)$ berechnet. Danach werden die Pegeldifferenzen $\Delta L_{pE,max}$ und $\Delta L_{pE,min}$. Mittels Gleichung (31) wird die Standardunsicherheit durch den Einfluss der barometrischen Höhenkorrektur berechnet. In Tabelle A-9 sind die Ergebnisse dieser Berechnung dargestellt.

Tabelle A-9: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Positionsangaben aus den Radardaten

s in m	$s - u_s$ in m	$s + u_s$ in m	$L_{pE}(s)$ in dB	$L_{pE}(s-u_s)$ in dB	$L_{pE}(s+u_s)$ in dB	u_i in dB
1000	1000	1000	70	70	70	0
2000	1700	2300	64	65,4	62,8	0,8
5000	4700	5300	56	56,6	55,5	0,3

In Abbildung A-5 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

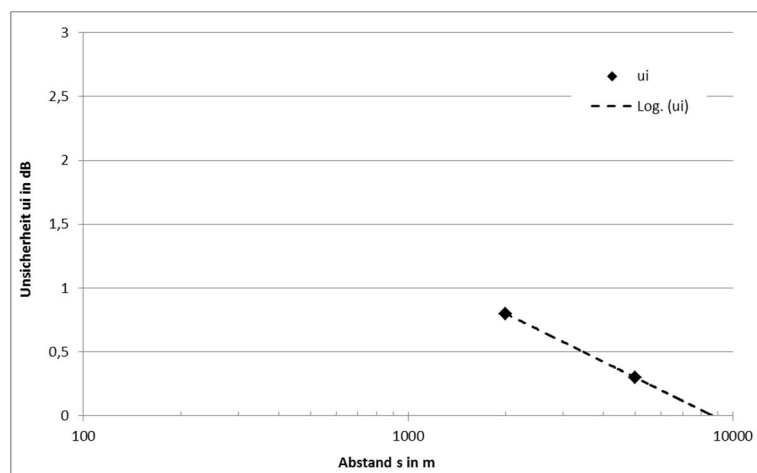


Abbildung A-5: Standardunsicherheit aus barometrischer Höhenkorrektur u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Luftabsorption

Das Luftabsorptionsmaß hängt gemäß AzB vom Absorptionskoeffizienten d_n (je Oktavband) sowie von der Entfernung zwischen Schallquelle und Immissionsort ab (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Zur Vereinfachung wird der Absorptionskoeffizient der 500 Hz Oktav als maß-

geben angenommen. Der Abstand s ist wie in Anhang 4 Transmission: Abstandsmaß a) beschrieben, mit der Standardunsicherheit der Lage u_s behaftet.

Der Wert für u_s wird dann verwendet, um in vordefinierten Abständen s die Schalldruckexpositionspegel $L_{pE}(s)$, $L_{pE}(s - u_s)$ und $L_{pE}(s + u_s)$ zu berechnen. Unter der Annahme, dass nur das Luftabsorptionsmaß D_L von u_s betroffen ist gilt folgender Ansatz:

$$L_{pE}(s) = L_{WE} + D_L(s) + k \quad (32)$$

- $L_{pE}(s)$ energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes s ,
 L_{WE} energetische Summe des Schalleistungsexpositionspegel des Luftfahrzeugs (angenommen 141 dB),
 $D_L(s)$ Luftabsorptionsmaß bei 500 Hz in Abhängigkeit des Abstandes s ,
 k Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB. Werden zunächst mit 0 dB angenommen.

Unter der Annahme einer Gleichverteilung werden in Anlehnung an Gleichung (31) die Standardabweichungen u_i durch Luftabsorption anhand der Pegeldifferenzen $\Delta L_{pE,max} = L_{pE}(s-u_s) - L_{pE}(s)$ bzw. $\Delta L_{pE,min} = L_{pE}(s+u_s) - L_{pE}(s)$ für die verschiedenen Abstände s ermittelt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle A-10 dargestellt.

Tabelle A-10: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch Luftabsorption

s in m	$s - u_s$ in m	$s + u_s$ in m	$L_{pE}(s)$ in dB	$L_{pE}(s - u_s)$ in dB	$L_{pE}(s + u_s)$ in dB	u_i in dB
1000	599	1401	138,7	139,6	137,5	0,5
2000	1599	2401	136,4	137,3	135,5	0,5
5000	4599	5401	129,5	130,4	128,6	0,5

In Abbildung A-6 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

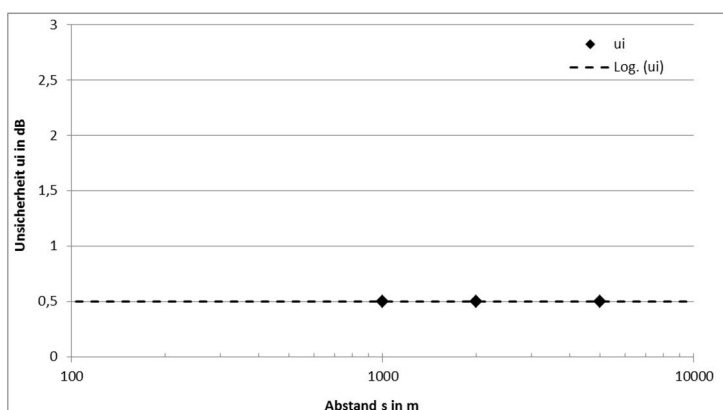


Abbildung A-6: Standardunsicherheit der Luftabsorption u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Bodendämpfung

Das Bodendämpfungsmaß hängt gemäß AzB von der frequenzabhängigen asymptotischen Pegelminderung bei Boden-Boden-Schallausbreitung G_n , dem Abstand s sowie dem Höhenwinkel α ab (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). G_n wird nachfolgend vereinfacht als energetischer Summenpegel angenommen. Da in diesem Abschnitt nur die zusätzliche Unsicherheitskomponente der Bodendämpfung in Abhängigkeit des verwendeten Digitalen Geländemodells (DGM) ermittelt wird, wird die Lageunsicherheit u_s als vernachlässigbar angesehen. Somit ist nur der Höhenwinkel α mit einer Unsicherheit behaftet.

Der Höhenwinkel α kann – unter der Annahme Einfallswinkel = Ausfallswinkel – wie folgt beschrieben werden (Normalfall).

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h_s - h_r}{\sqrt{s^2 - (h_s - h_r)^2}}\right) \quad (33)$$

h_r Höhe des Immissionsortes über Gelände in m
 h_s Höhe der Schallquelle über Gelände in m
 s Abstand zwischen Immissionsort und Schallquelle in m

Die Höhen h_r und h_s sind im Modell auf das Höhenniveau des Digitalen Geländemodells bezogen. Werden unterschiedliche Digitale Geländemodelle (DGM) zur Berechnung der Schallimmission verwendet, führt dies zu einer Unsicherheit in den Höhen h_r und h_s . Zur Quantifizierung dieser Standardunsicherheit werden die im Rahmen der Studie verwendeten DGM 50 und DGM 10 (bzw. 1) mit einander verglichen. Die Ermittlung der Höhenabweichung wird wie folgt für einen ausgewählten Bereich durchgeführt.

$$\Delta h = h_{DGM10/1} - h_{DGM50} \quad (34)$$

Der maximale Höhenunterschied zwischen beiden DGM konnte zu +/- 14 m ermittelt werden. Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit aus Bodendämpfung werden drei Fälle unterschieden.

Normalfall: Schallquelle und Immissionsort befinden sich auf der gleichen DGM-Kachel bei freier Schallausbreitung. Es gilt Gleichung (33).

Positiver Höhenversatz zwischen zwei DGM-Kacheln: Der Immissionsort befindet sich auf DGM-Kachel a und die Schallquelle auf DGM-Kachel b. An der Grenze zwischen DGM-Kachel a und DGM-Kachel b besteht ein positiver Höhenversatz h_x . Außerdem wird vereinfacht angenommen, dass die Reflexion des Schallstrahls am Boden auf DGM-Kachel a stattfindet. Der Höhenwinkel α berechnet sich wie folgt.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h_s + h_x - h_r}{\sqrt{s^2 - (h_s + h_x - h_r)^2}}\right) \quad (35)$$

Negativer Höhenversatz zwischen zwei DGM-Kacheln:

Der Immissionsort befindet sich auf DGM-Kachel a und die Schallquelle auf DGM-Kachel b. An der Grenze zwischen DGM-Kachel a und DGM-Kachel b besteht ein negativer Höhenversatz h_x . Außerdem wird vereinfacht angenommen, dass die Reflexion des Schallstrahls am Boden auf DGM-Kachel a stattfindet. Der Höhenwinkel α berechnet sich wie folgt.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h_s - h_x - h_r}{\sqrt{s^2 - (h_s - h_x - h_r)^2}}\right) \quad (36)$$

h_x positiver bzw. negativer Höhenversatz Δh im DGM in m

Diese Winkeländerung wird dann verwendet, um in vordefinierten Abständen s die Schalldruckexpositionspegel $L_{pE}(s, a)$, $L_{pE}(s, a - \Delta a)$ und $L_{pE}(s, a + \Delta a)$ zu berechnen. Dazu wird folgender Zusammenhang angenommen:

$$L_{pE}(s, \alpha) = L_{WE} + D_Z(\alpha) + k \quad (37)$$

$L_{pE}(s, a)$ energetische Summe des Schalldruckexpositionspegels am Immissionsort in Abhängigkeit des Abstandes s und des Höhenwinkels a

L_{WE} energetische Summe des Schallleistungsexpositionspegel des Luftfahrzeugs (angenommen 141 dB)

$D_Z(a)$ energetische Summe des Bodendämpfungsmaßes in Abhängigkeit des Höhenwinkels a

k Zusammengefasste Dämpfungsterme nach AzB. Werden zunächst mit 0 dB angenommen.

Gemäß den Zusammenhängen in der AzB ist das Bodendämpfungsmaß D_Z nur relevant, wenn gilt $0^\circ < a < 15^\circ$ (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Die Auswertung einer exemplarisch berechneten Radarbahn ergibt, dass diese Bedingung nur in großen Abständen s erfüllt ist. Demzufolge wirkt sich auch die Standardunsicherheit durch Bodendämpfung erst in großen Abständen s aus. Unter der Annahme einer Gleichverteilung werden in Anlehnung an Gleichung (31) die Standardabweichungen u_i durch Bodendämpfung anhand der Pegeldifferenzen $\Delta L_{pE, max} = L_{pE}(s, a + da) - L_{pE}(s, a)$ bzw. $\Delta L_{pE, min} = L_{pE}(s, a - da) - L_{pE}(s, a)$ für die verschiedenen Abstände s ermittelt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle A-11 dargestellt.

Tabelle A-11: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch Bodendämpfung

s in m	a in °	$a - da$ in °	$a + da$ in °	$L_{pE}(s, a)$ in dB	$L_{pE}(s, a - da)$ in dB	$L_{pE}(s, a + da)$ in dB	u_i in dB
1000	47,7	46,2	48,6	141	141	141	0
2000	24,3	23,6	24,5	141	141	141	0
5000	11,4	11,1	11,4	137,1	136,8	137,1	0,1

In Abbildung A-7 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

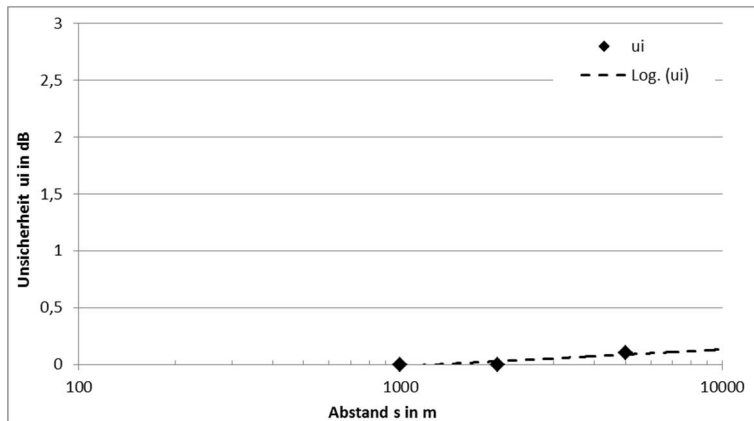


Abbildung A-7: Standardunsicherheit der Bodendämpfung u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Abschirmung durch Bebauung

Gemäß AzB nicht berücksichtigt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

Transmission: Reflexion

Gemäß AzB nicht berücksichtigt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

Anmerkung: In der Realität können durchaus Abschirmungen und Reflexionen bei der Abstrahlung von bodennahen Luftverkehrsrgeräuschen auftreten; allerdings fließen derartige Effekte in der AzB nicht ein und werden daher auch in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

Immission: Lagegenauigkeit der Adresse

Die Lage der Adresspunkte, die als Immissionsorte zur Schallausbreitungsberechnung verwendet werden, können um wenige Meter in x- und y- Richtung schwanken. Diese geringen Abweichungen wirken sich jedoch kaum auf den berechneten Schallimmissionspegel aus und werden daher nicht näher betrachtet.

Immission: Kennzeichnung der Hausfassade

Da die Abschirmung durch Bebauung in der AzB (durch die Annahme der Geräuscheinwirkung von oben aus großer Höhe) keine Berücksichtigung findet, kann auch der Einfluss der Kennzeichnung der Hausfassade vernachlässigt werden (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Die Geräuscheinwirkung aus Luftverkehr wird als gleich stark an allen Fassaden angenommen.

Diese Unsicherheit wird nicht zur Bildung der Gesamtunsicherheit aufaddiert, da sich nur ein kleiner Teil der Pegelkenngößen auf die lauteste Fassade bezieht.

Immission: Stockwerkshöhe

Die Unsicherheit, die bei Vernachlässigung der Stockwerkshöhe auftritt, beschränkt sich beim Luftverkehr auf Bereiche, die sehr nah am Flughafen liegen, und die Geräusche daher maßgebend durch tief fliegende Flugzeuge bestimmt werden. Um festzustellen wie hoch

die Abweichung der Schallimmissionen je Stockwerk bezogen auf die in NORAH verwendete Immissionsorthöhe von 4 m werden kann, wird eine Vergleichsberechnung an den ausgewählten Immissionsorten durchgeführt. Dazu werden die Immissionspunkte mit einer fiktiven Geschossanzahl von 5 - 10 versehen. Die Geschosshöhe wird mit 2,8 m veranschlagt. Lediglich ein Immissionsort zeigte einen signifikanten Anstieg der Schallimmissionen von im Mittel 0,2 dB je Geschoss. Die Entfernung dieses Immissionsortes zum Flughafen beträgt ca. 3 km. Der kürzeste Abstand s beträgt ca. 1,3 km, wobei die Flughöhe des Landeanflugs ca. 27 m über Grund beträgt. Die reale Geschossanzahl dieses Gebäudes liegt bei maximal 3 Geschossen, dadurch ist die mittlere Pegelabweichung $< 0,1$ dB. Außerdem ist davon auszugehen, dass Wohnhochhäuser üblicherweise in Ballungsräumen zu finden sind. Daher kann die Standardunsicherheit durch die Stockwerkshöhe vernachlässigt werden.

Anhang 5: Berechnungsunsicherheit bei Straßenverkehrsgeräuschen

Emission: Eingabefehler

Bei der Eingabe des Straßenverkehrsnetzes im Untersuchungsraum Frankfurt wird das VISUM-Modell des Hessischen Landesamtes für Straßen- und Verkehrswesen (HLSV) verwendet. Dieses Verkehrsumlegungsmodell weist gegenüber einem aus Zählstellen zusammengesetztem Modell einen höheren Detaillierungsgrad auf. Bei der Durchsicht der Straßenattribute wurde jedoch festgestellt, dass bei der Umlegung teilweise sehr hohe Schwerverkehrsanteile (SV) > 50 % bis zu 100 % auftreten. Diese können im Einzelfall auch der Realität entsprechen, insgesamt treten diese jedoch zu häufig auf. Diese hohen Schwerverkehrsanteile können daher bei der Umsetzung der Verkehre auf das Straßennetz entstehen. Um die daraus entstehende Unsicherheit abschätzen zu können, werden die Strecken mit SV-Anteilen > 50 % statistisch dargestellt:

Tabelle A-12: Streckenkilometer mit SV-Anteilen > 50 % im Untersuchungsraum Frankfurt

Verkehrsstärke DTV	Kilometer mit SV > 50 %	Prozent
bis 100	92,2	35,1
100 bis 250	62,8	23,9
250 bis 500	46,1	17,5
500 bis 1.000	32,5	12,4
1.000 bis 2.500	9,7	3,7
2.500 bis 5.000	16,9	6,4
Über 5.000	2,7	1,0
Summe	262,9	100

Insgesamt sind in dem Modell Frankfurt 9527,3 km Straßen enthalten, somit weisen ca. 3 % der Straßen SV-Anteile > 50 % auf. Bei der Berechnung nach VBUS geht ein SV-Anteil von 75 % (mittlerer Wert des Wertebereichs von 50 bis 100 % SV-Anteil) gegenüber einem üblichen Wert von 20 % für Bundesstraßen mit einem rund 5 dB höheren Emissionspegel ein.

Anhand eines, bezogen auf die Streckenlänge gewichteten, Mittelwerts der SV-Anteile > 50 % im Bezug zur Gesamtstreckenlänge ergibt sich somit (ungeachtet der unterschiedlichen Absolutwerte der Schallemission) eine obere Abschätzung der Unsicherheit von $u_i = 0,3 \text{ dB}$.

$$u_i = 10 * \lg \left(\frac{9.264 \text{ km}}{9.527 \text{ km}} * 10^{0,1*0} + \frac{263 \text{ km}}{9.527 \text{ km}} * 10^{0,1*5} \right) \text{ dB} = 0,3 \text{ dB} \quad (38)$$

Emission: Quellemission

Die Quellemission eines Pkw bzw. Lkw wird nach VBUS bzw. RLS-90 beschrieben durch einen Zusammenhang des Vorbeifahrtpegels in Abhängigkeit von der Vorbeifahrtgeschwindigkeit v gemäß folgender Formel:

$$L_{Pkw} = 27,7 \text{ dB} + 10 * \lg \left(1 + (0,02 * v_{Pkw}^2) \right) \text{ dB} \quad (39)$$

$$L_{Lkw} = 23,1 \text{ dB} + 12,5 * \lg(v_{Lkw}) \text{ dB} \quad (40)$$

Diese Vorbeifahrtpegel sind Grundlage für die Emissionsberechnung nach VBUS (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

Tatsächlich unterliegt der Vorbeifahrtpegel von Pkw und Lkw fahrzeugindividuellen Schwankungen, die durch das Fahrzeug und das Fahrverhalten bestimmt werden. Zur Abschätzung dieser Prognoseunsicherheit der Vorbeifahrtpegel dienen im Folgenden Messungen von Einzelvorbeifahrten von Pkw und Lkw im innerstädtischen Bereich. Dabei werden im frei fließenden Verkehr der Vorbeifahrtpegel $L_{pAF,max}$ einzeln trennbarer Vorbeifahrten von Fahrzeugen zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit gemessen. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Innerhalb des Geschwindigkeitsbereichs 50 ± 5 km/h werden die folgenden Vorbeifahrtpegel für Pkw gemessen:

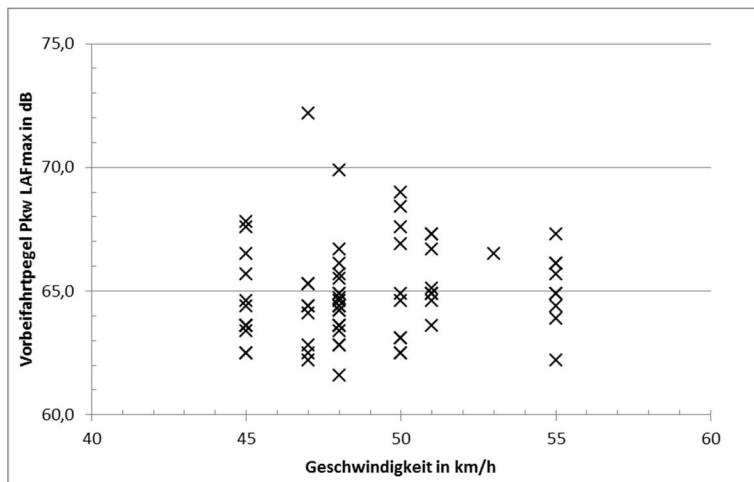


Abbildung A-8: Gemessene Vorbeifahrtpegel $L_{pAF,max}$ von Pkw in 7,5 m Abstand ($N = 72$)

Ausgehend von diesen Messwerten ergibt sich für Pkw eine Standardabweichung in dieser Geschwindigkeitsklasse von $\sigma = 1,9$ dB.

Für Lkw liegen jedoch nur sehr wenige Vorbeifahrten innerhalb eines Geschwindigkeitsbereichs (7 Vorbeifahrten innerhalb $v = 40 \dots 50$ km/h) vor. Die hierfür erzielten Vorbeifahrtpegel weisen jedoch ebenfalls eine Standardabweichung von rd. 2 dB auf.

Im Folgenden wird daher bzgl. der Emissionsbeschreibung von Straßenverkehrsgeräuschen von einer fahrzeugabhängigen Standardunsicherheit der Emission von $u_i = 1,9$ dB ausgegangen.

Emission: Richtwirkung

Gemäß VBUS nicht berücksichtigt (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

Emission: Geschwindigkeit

Die Quellemission von Straßen wird nach VBUS beschrieben durch einen Zusammenhang des Vorbeifahrtpegels in Abhängigkeit von der Vorbeifahrtgeschwindigkeit v gemäß folgender Formel:

$$L_{Pkw} = 27,7 \text{ dB} + 10 * \lg \left(1 + (0,02 * v_{Pkw}^2) \right) \text{ dB} \quad (41)$$

$$L_{Lkw} = 23,1 \text{ dB} + 12,5 * \lg(v_{Lkw}) \text{ dB} \quad (42)$$

Diese Vorbeifahrtpegel sind Grundlage für die Emissionsberechnung nach VBUS (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

Tatsächlich unterliegt die Vorbeifahrtgeschwindigkeit von Pkw und Lkw individuellen Schwankungen, die durch den Verkehrsfluss und das Fahrverhalten bestimmt werden. Zur Abschätzung dieser Prognoseunsicherheit der Vorbeifahrtgeschwindigkeit dienen im Folgenden Messungen von Einzelvorbeifahrten von Pkw und Lkw im innerstädtischen Bereich. Dabei werden im frei fließenden Verkehr der Vorbeifahrtpegel $L_{pAF,max}$ einzeln trennbarer Vorbeifahrten von Fahrzeugen zusammen mit der Fahrzeuggeschwindigkeit gemessen. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h. Die Messungen finden in derselben Messstelle an insgesamt 15 unterschiedlichen Messterminen zu unterschiedlichen Tageszeiten statt. Die Verteilung der gemessenen Vorbeifahrtgeschwindigkeiten ist in folgender Abbildung dargestellt:

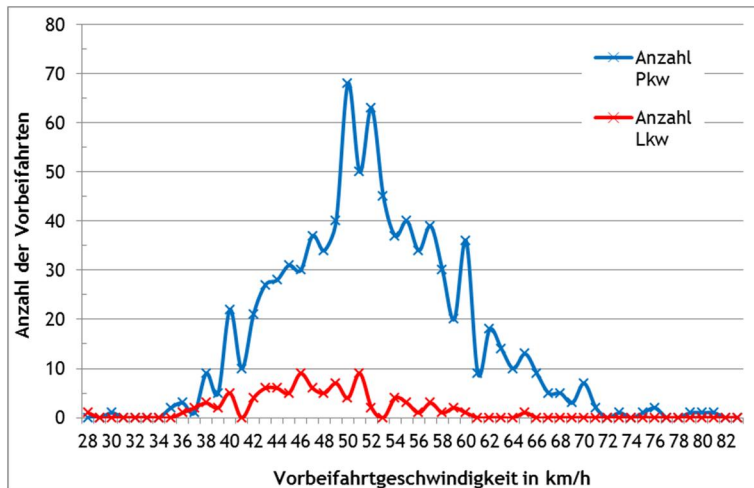


Abbildung A-9: Gemessene Vorbeifahrtgeschwindigkeiten von Pkw und Lkw an einer innerstädtischen Straße bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h (N = 958)

Die Standardabweichung der gemessenen Vorbeifahrtgeschwindigkeiten beträgt bei Pkw 15 % der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und bei Lkw 12 % der zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Umgerechnet ergibt dies nach den Vorgaben der VBUS unter der Annahme eines mittleren Lkw-Anteils von 20 % (entsprechend Bundesstraße) eine Standardunsicherheit der Emission von $u_i = 0,7$ dB.

Emission: Verkehrsmenge

Die Quellemission von Straßen hängt wesentlich von der Verkehrsstärke ab. Eingangsparameter ist die stündliche Verkehrsmenge M , die aus der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) ermittelt wird.

Die Verkehrsstärke geht in vorliegender Untersuchung überwiegend als DTV aus dem VISUM-Modell in die Berechnung ein. An einigen der Streckenabschnitte aus dem VISUM-Modell liegen gleichzeitig auch die Zählzeiten von Zählstellen aus dem gleichen Zeitraum vor. Die Gegenüberstellung der Zählzeiten mit den Modelldaten ist für Straßen mit einer DTV von mehr als 1.000 Kfz / 24 h in folgender Abbildung dargestellt:

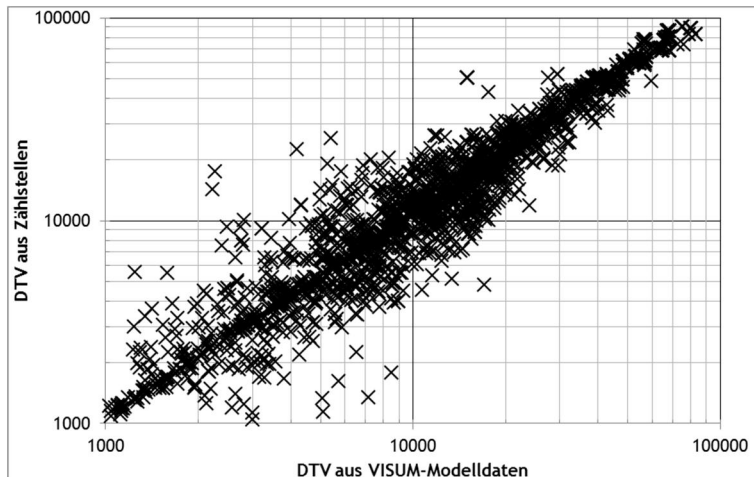


Abbildung A-10: Vergleich der DTV-Werte aus dem VISUM-Modell an Abschnitt mit Zählstellen mit der DTV aus Zählungen (N = 2.277)

Ogleich auch die Zählzeiten fehlerbehaftet sein können, kann die Abweichung zwischen Zählwert und Modellwert auch als Unsicherheitsabschätzung für die Verkehrsstärke dienen. Die mittlere Abweichung des Zählwerts vom Modellwert beträgt im obigen Datensatz gerundet 27 %. Dies entspricht einem Pegelunterschied von $u_i = 1,0 \text{ dB}$.

Emission: Fahrbahnbelag

Zur Berücksichtigung von unterschiedlichen Straßenoberflächen sind in der VBUS Korrekturwerte für unterschiedliche Straßentypen angegeben. Dabei wird grundsätzlich für verschiedene zusätzliche Höchstgeschwindigkeiten zwischen Asphaltbeton-, offenporigen Asphaltbeton- und Pflasterstraßen unterschieden (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Im Rahmen der NORAH Studie werden die Straßenoberflächen pauschal unterteilt. Straßen mit einer Modellgeschwindigkeit von $v = 100 / 80 \text{ km/h}$ (Landes- und Bundesstraßen, außer- und innerorts) werden als Straßen mit „Asphaltbeton 0/11 ohne Splittung“ angesetzt und somit mit -2 dB beaufschlagt. Autobahnen werden gemäß heutigem Einbaustandard als „Gussasphalt, Asphaltbeton, Splitt-Mastix“ angesetzt und somit mit 0 dB beaufschlagt. Offenporige Asphaltbetonstraßen sind im Rhein-Main-Gebiet nur an wenigen Straßen in Ballungsräumen zu finden und werden daher vernachlässigt. Auch Pflasterstraßen sind eher vereinzelt in alten Gassen in Ballungsräumen zu finden und werden ebenfalls vernachlässigt.

Die vergebenen Pegelkorrekturen spiegeln somit im Mittel näherungsweise die realen Straßenoberflächen im Rhein-Main Gebiet wieder. Unter der Annahme einer Gleichverteilung der Straßenoberflächen ergibt sich die Standardunsicherheit der Straßenoberfläche zu $u_i = \frac{0 - (-2) \text{ dB}}{\sqrt{12}} = 0,6 \text{ dB}$.

Transmission: Lage der Quelle

Je nach Genauigkeit der digitalen Ausgangsdaten zu Straßen kann die Lagegenauigkeit der Straßenachse und somit der Emissionsbänder im Bereich von wenigen Zentimetern (Laserscanning) oder mehreren Metern (GPS-Satellitenmessung) schwanken. Ein Vergleich der ursprünglich modellierten Straßenachse und der Straßenachse aus einem hinterlegten Sa-

tellitenbild zeigt, dass der Abstand zwischen beiden $u_s = 5$ m beträgt. Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch die Lage der Straße werden die Straßenachsen im Testgebiet einmal um + 5 m nach Norden und einmal um – 5 m nach Süden verschoben. Die Straße selbst verläuft in Ost-West-Richtung.

Für die ursprüngliche sowie für die verschobenen Straßenachsen werden die Schallimmissionspegel $L_{pA,eq}(Achse0)$, $L_{pA,eq}(Achse-5)$ und $L_{pA,eq}(Achse+5)$ in Anlehnung an die VBUS für 24 h an ausgewählten Gebäuden in verschiedenen Abständen von der Schallquelle mittels Gebäudelärmkarten berechnet. Die Schallimmissionspegel an der „lautesten“ Fassade der verschobenen Schallquellen werden dann von den Schallimmissionspegeln an der „lautesten“ Fassade der ursprünglichen Schallquelle abgezogen. Folglich gilt:

$$\Delta L_{pA,eq,max} = L_{pA,eq}(Achse + 5) - L_{pA,eq}(Achse0) \quad (43)$$

$$\Delta L_{pA,eq,min} = L_{pA,eq}(Achse - 5) - L_{pA,eq}(Achse0) \quad (44)$$

Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt folgender Ansatz zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus der Lage der Schallquelle anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort.

$$u_i = \frac{\Delta L_{pA,eq,max} - \Delta L_{pA,eq,min}}{\sqrt{12}} \quad (45)$$

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle A-13 dargestellt.

Tabelle A-13: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Lage der Straßenachse

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
20	2,8	-3,5	1,8
200	0,3	-0,2	0,1
500	0,1	0	0

In Abbildung A-11 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

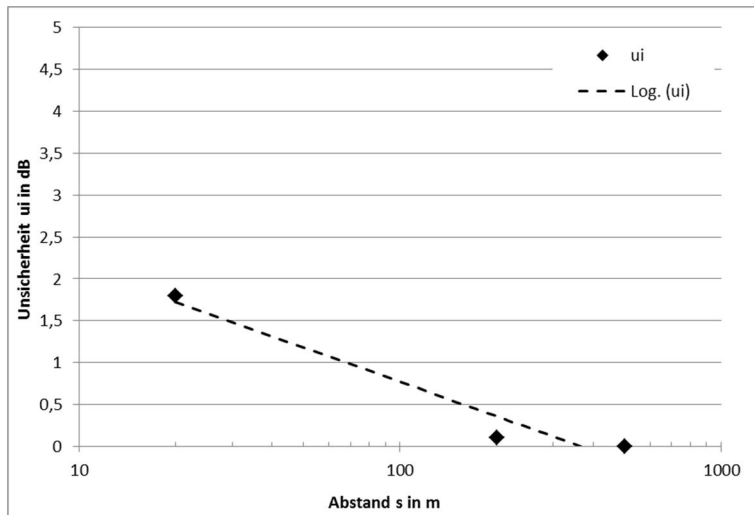


Abbildung A-11: Standardunsicherheit aus Lage der Quelle u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Boden- und Meteorologiedämpfung

Die Boden- und Meteorologiedämpfung hängt gemäß VBUS von der mittleren Höhe über Grund h_m , dem Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort (Laufweg des Schallstrahls) sowie der Fläche zwischen Laufweg des Schallstrahls und Grund ab. Die Unsicherheitskomponente der Bodendämpfung, die sich aus der Unsicherheit des verwendeten Digitalen Geländemodells (DGM) ergibt, kann als vernachlässigbar angesehen werden.

Wesentlich durchschlagender sind die Unsicherheitskomponenten, die sich aus den veränderlichen Witterungsbedingungen und den unterschiedlichen Bodendämpfungen durch harte bzw. poröse Böden ergeben.

Die DIN ISO 9613-2 gibt hierfür eine Schätzung der Genauigkeit für den berechneten Abwerteten Dauerschalldruckpegel L_{AT} an. In Tabelle 5 der DIN ISO 9613-2 ist für eine mittlere Höhe von Quelle und Empfänger zwischen 0 m und 5 m in einem Abstandsbereich von 0 m bis 1.000 m eine Toleranz von ± 3 dB angegeben. Diese Schätzungen basieren auf Situationen, wo weder Reflexionen noch Abschirmungen auftreten.

Ausgehend von einer Rechteckverteilung innerhalb dieser Schätzgenauigkeit wird die Standardunsicherheit aufgrund der Boden- und Meteorologiedämpfung wie folgt abgeschätzt:

$$u_i = \frac{+3 \text{ dB} - (-3 \text{ dB})}{\sqrt{12}} = 1,7 \text{ dB} \quad (46)$$

Transmission: Abschirmung durch Bebauung

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch fehlende Bebauung wird eine Vergleichsberechnung der Straßenverkehrsgeräusche nach VBUS für zwei verschiedene Bebauungssituationen an ausgewählten Gebäuden in verschiedenem Abstand s durchgeführt. Dabei enthält eine Bebauungssituation alle in NORAH verwendeten Gebäude sowie zusätzlich hinzugefügte Gebäude im Testgebiet (angenommener „Bebauungsstand 2010“). In der anderen Bebauungssituation werden Gebäude auf dem Ausbreitungsweg entfernt (angenommener „Bebauungsstand 2005“).

Für den Bebauungsstand 2010 sowie für den Bebauungsstand 2005 werden die Schallimmissionspegel $L_{pA,eq}$ in Anlehnung an die VBUS für 24 h an ausgewählten Immissionsorten in verschiedenen Abständen von der Schallquelle berechnet. Die Schallimmissionspegel des Bebauungsstandes 2005 werden dann von den Schallimmissionspegeln des Bebauungsstandes 2010 in Anlehnung an Gleichung (43) und (44) abgezogen.

Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt Gleichung (45) zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus unterschiedlicher Bebauung anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort.

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle A-14 dargestellt.

Tabelle A-14: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch unterschiedliche Bebauung

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
20	0	0	0
200	-0,1	-5,4	1,5
500	0,1	-0,5	0,2

In Abbildung A-12 sind die Unsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

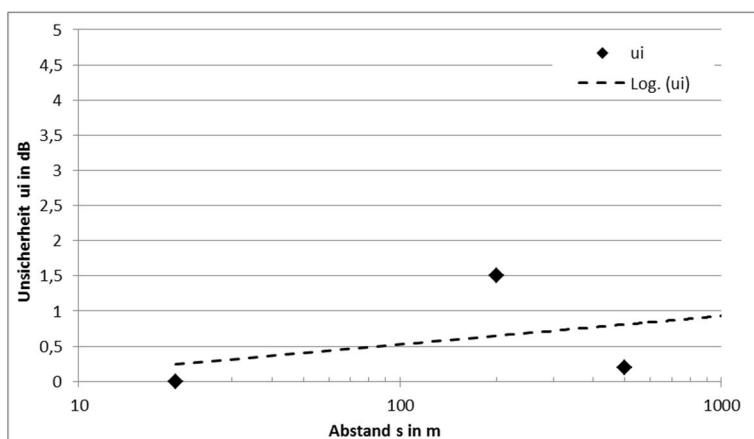


Abbildung A-12: Standardunsicherheit durch unterschiedliche Bebauung u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Abschirmung durch Schallschutzwände

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch fehlende Schallschutzwände wird eine Vergleichsberechnung der Straßenverkehrsgeräusche nach VBUS für zwei verschiedene Bebauungssituationen an ausgewählten Gebäuden in verschiedenem Abstand s durchgeführt. Dabei enthält eine Bebauungssituation alle in NORAH verwendeten Lärmschutzwände im Testgebiet. In der anderen Bebauungssituation sind keine Lärmschutzwände enthalten.

Für die ursprüngliche sowie für die veränderte Situation werden die Schallimmissionspegel $L_{pA,eq}$ in Anlehnung an die VBUS für 24 h an ausgewählten Immissionsorten in verschiedenen Abständen von der Schallquelle berechnet. Die Schallimmissionspegel mit LSW werden dann von den Schallimmissionspegeln ohne LSW in Anlehnung an Gleichung (43) und (44) abgezogen.

Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt Gleichung (45) zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus fehlenden LSW anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort.

Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle A-15 dargestellt.

Tabelle A-15: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch fehlende LSW

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
20	12,3	8,4	1,1
200	0,4	0	0,1
500	0,7	0,2	0,1

In Abbildung A-13 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

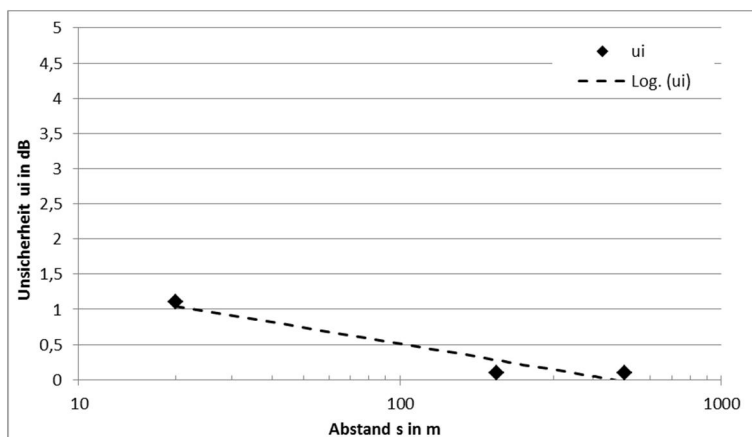


Abbildung A-13: Standardunsicherheit durch fehlende LSW u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Reflexion

Gemäß VBUS ergibt sich durch Mehrfachreflexion zwischen parallelen, reflektierenden Stützmauern, Lärmschutzwänden oder geschlossenen Hausfassaden (Lückenanteil $< 30\%$) eine Pegelerhöhung von maximal 3,2 dB (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Unter Annahme

einer Rechteckverteilung ergibt sich die Standardunsicherheit durch Mehrfachreflexionen zu $u_i = \frac{3,2 \text{ dB}}{\sqrt{12}} = 0,9 \text{ dB}$

In Abbildung A-14 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

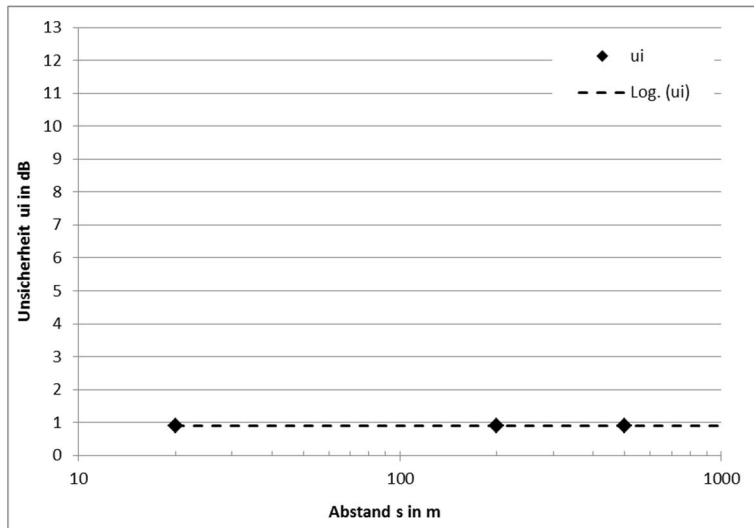


Abbildung A-14: Standardunsicherheit durch Reflexion u_i in Abhängigkeit von s

Immission: Lagegenauigkeit der Adresse

Die Standardunsicherheit aufgrund der Lagegenauigkeit der Adresse verhält sich äquivalent zur Lageunsicherheit der Schallquelle. Unter der Annahme, dass sich die Koordinaten eines Gebäudes um maximal $\pm 5 \text{ m}$ in ihrer horizontalen Lage ändern, ist die Standardunsicherheit der Lage der Adresse bzw. der Gebäude gleich der Standardunsicherheit der Schallquelle (vgl. Anhang 5 Transmission: Lage der Quelle).

Immission: Eigenabschirmung der Gebäude

Diese Unsicherheit wird nicht zur Bildung der Gesamtunsicherheit aufaddiert, da sich nur ein kleiner Teil der Pegelkenngößen nicht auf die lauteste Fassade bezieht.

Immission: Stockwerkshöhe

Diese Unsicherheit wird nicht zur Bildung der Gesamtunsicherheit aufaddiert, da sich nur ein kleiner Teil der Pegelkenngößen nicht auf die in 4 m Höhe gelegenen Immissionspunkte bezieht.

Anhang 6: Berechnungsunsicherheit bei Schienenverkehrsgeräuschen

Emission: Streuung innerhalb der Zuggattungen

Die Quellemission von Zügen wird nach VBUSch beschrieben durch einen Zusammenhang des Vorbeifahrtpegels in Abhängigkeit von der Zuggattung, der Vorbeifahrtgeschwindigkeit, der Zuglänge und der Bauart der Bremsen.

Die hierfür erforderlichen Angaben werden als mittlere bzw. standardisierte Angaben vom Infrastrukturunternehmen (d. h. der Deutschen Bahn) für Klassen von Zuggattungen (z. B. ICE, Ferngüterzüge, Regionalzüge etc.) zur Verfügung gestellt.

Tatsächlich unterliegt aber auch hier der Vorbeifahrtpegel von Zügen gleicher Gattung Schwankungen, die sich z. B. durch den Zustand der Radlaufflächen (Polygone, Flachstellen) oder den Umrüstgrad auf lärmarme Bremssohlen ergeben können.

Zur Abschätzung dieser Prognoseunsicherheit der Vorbeifahrtpegel dienen im Folgenden Messungen an einer gemischten Bahnstrecke nach DIN ISO 3095 (2014).

Für Güterzüge innerhalb des Geschwindigkeitsbereichs 95 ± 5 km/h wurden die folgenden Vorbeifahrtpegel gemessen:

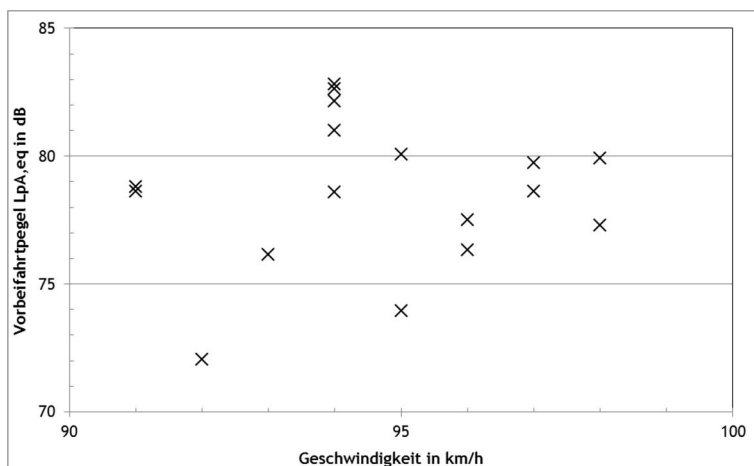


Abbildung A-15: Gemessene Vorbeifahrtpegel $L_{pA,eq}$ von Güterzügen in 7,5 m Abstand ($N = 17$)

Ausgehend von diesen Messwerten ergibt sich für Güterzüge eine Standardabweichung in dieser Geschwindigkeitsklasse von $\sigma = 2,9$ dB.

Bei den Personenzuggattungen treten nur vergleichsweise geringe Standardabweichungen auf. Die an derselben Strecke ermittelten Standardabweichungen für IC-Züge beträgt $\sigma = 1,1$ dB, diejenige für Regionalzüge $\sigma = 0,5$ dB.

In der Regel sind jedoch besonders die Güterzüge im Hinblick auf den Mittelungspegel Tag oder Nacht pegelbestimmend, so dass im Folgenden bzgl. der Emissionsbeschreibung von

Schienenverkehrsgeräuschen von einer zugspezifischen Standardunsicherheit der Emission von $u_i = 2,9$ dB ausgegangen wird.

Emission: Richtwirkung

Das Richtwirkungsmaß ist gemäß VBUSch über folgenden Zusammenhang definiert (34. BImSchV, Anlage 2, 2006):

$$D_I = 10 * \lg(0,22 + 1,27 * \sin^2(\delta_k)) \quad (47)$$

D_I Pegeldifferenz durch Richtwirkung

δ_k Winkel am Emissionsort zwischen s_k (Abstand zwischen IO und Mittelpunkt des Teilstücks) und Gleisachse

Der Winkel δ_k ist abhängig von der Position der Gleisachse bezogen auf die Position des Immissionsortes. Diese Positionsangabe ist wiederum abhängig von der Lageunsicherheit der digitalen Ausgangsdaten (vgl. Anhang 6 Transmission: Lage der Quelle).

Nach VBUSch wird zur Berechnung des Mittelungspegels die Gleisachse in sog. Teilstücke k zerlegt. Innerhalb eines jeden Teilstücks ist das Richtwirkungsmaß D_I und damit der Einfluss auf die berechneten Mittelungspegel am größten, wenn gilt $\delta_k = 90^\circ$. Dieser Zusammenhang gilt, sobald die Teilstücklänge $l_k = 0$ m beträgt. Daraus folgt, dass der Abstand s zwischen Emissions- und Immissionsort seinen kleinsten Wert angenommen hat. Winkeländerungen aufgrund der Lageunsicherheit der digitalen Ausgangsdaten wirken sich in diesem Punkt kaum auf die berechneten Mittelungspegel aus. Da im Rahmen der Unsicherheitsbetrachtung innerhalb der NORAH-Studie vereinfacht von jeweils kürzesten Abständen zwischen Emissions- und Immissionsort ausgegangen wird, kann der Einfluss des Richtwirkungsmaßes auf die Berechnungsunsicherheit vernachlässigt werden.

Emission: Geschwindigkeit

Wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, werden die Schallemissionen aus Schienenverkehr für die zulässige Streckenhöchstgeschwindigkeit (bzw. jeweils zulässige Fahrgeschwindigkeit für Züge, die die Streckenhöchstgeschwindigkeit nicht fahren können) berechnet. Gemäß VBUSch werden die Emissionspegel in Personenbahnhöfen vereinfacht anhand der Streckenhöchstgeschwindigkeit berechnet.

Zur Quantifizierung der Berechnungsunsicherheit durch unterschiedliche Geschwindigkeiten innerhalb von Personenbahnhöfen wird eine exemplarische Vergleichsrechnung durchgeführt. Für einen gewählten Streckenabschnitt werden aus dem vom BUZ erhaltenen Zugmengengerüst die Schallemissionen für unterschiedliche Geschwindigkeiten berechnet. Es werden zwei Fälle betrachtet.

Fall 1: Der gewählte Streckenabschnitt enthält keinen Personenbahnhof. Daher werden die Zuggeschwindigkeiten auf die Streckenhöchstgeschwindigkeit begrenzt, sofern sie diese

Geschwindigkeit fahren können (ist dies nicht der Fall, wird die Zuggeschwindigkeit verwendet).

Fall 2: Der gewählte Streckenabschnitt enthält einen Personenbahnhof. Daher werden die Zuggeschwindigkeiten aller Züge auf eine maximale Durchfahrtgeschwindigkeit von $v = 60 \text{ km/h}$ begrenzt.

Für beide Fälle werden in Anlehnung an die VBUSch 24 h Schallemissionspegel für den Streckenabschnitt berechnet. Zur Ermittlung der Abweichung wird der Pegel des Personenbahnhofs vom Pegel der freien Strecke abgezogen. Aus der berechneten Pegeldifferenz wird unter Annahme einer Rechteckverteilung die Standardunsicherheit $u_i = \frac{\Delta L_{m,E}}{\sqrt{12}}$ für unterschiedliche Geschwindigkeiten berechnet. Nachfolgende Tabelle A-16 stellt das Ergebnis dar.

Tabelle A-16: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch verschiedene Geschwindigkeiten

s in m	$\Delta L_{m,E}$ in dB	u_i in dB
40	4,5	1,3
200	4,5	1,3
500	4,5	1,3

Nachfolgende Abbildung A-16 enthält die Ergebnisse graphisch in Abhängigkeit des Abstandes s.

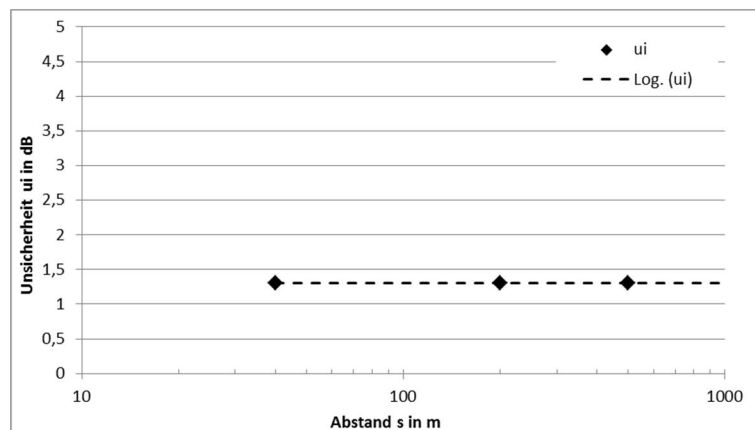


Abbildung A-16: Standardunsicherheit durch verschiedene Geschwindigkeiten u_i in Abhängigkeit von s

Emission: Verkehrsmenge

Die Verkehrsmengen zur Berechnung der Geräuschbelastung aus Schienenverkehr entstammen den Zugmengengerüsten des Bahnumweltzentrums (BUZ) und geben den Ist-Zustand 2010 wieder. Im Gegensatz zu Prognosedaten, wie sie üblicherweise für Berechnungen in gesetzlichen Verfahren verwendet werden, spiegeln die Zahlen des Ist-Zustands die tatsächliche Verkehrsmenge in der Regel sehr gut wieder. Dennoch können auch hier Abweichungen auftreten. Im Rahmen einer Lärmwirkungsuntersuchung zu Schienenverkehr

(Griefahn, B. et al., 1999) wurden an vier Untersuchungsgebieten sowohl Zählungen der vorbeifahrenden Züge (über 2 Wochen jeweils 24 h) durchgeführt als auch Verkehrsmengen von der DB zum Istzustand eingeholt. Die Gegenüberstellung der gezählten und der von der DB erhaltenen Verkehrsmengen ist in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Tabelle A-17: Vergleich der gezählten und der von der DB erhaltenen Zahl der Vorbeifahrten aus (Greifhahn, B. et al., 1999)

Anzahl der Züge/24 h	Bei Messung gezählt (Mittelwert über alle 14 Tage der Messungen)	Daten der DB	Abweichung in dB $10 \cdot \lg(n_{DB}/n_{zahl})$
Untersuchungsgebiet 1	255	288	0,5
Untersuchungsgebiet 2	251	272	0,3
Untersuchungsgebiet 3	187	192	0,1
Untersuchungsgebiet 4	208	210	0,0

Da die Abweichungen der gezählten von den „offiziellen“ Zugzahlen sich vor allem durch eine unterschiedliche Zahl der Güterzüge widerspiegeln und diese den Mittelungspegel bestimmen, kann aus der Abweichung der tatsächlichen von den offiziellen Verkehrsmengen direkt über das logarithmisierte Verhältnis auf die Abweichung der errechneten Emission geschlossen werden. Über die vier oben dargestellten Untersuchungsgebiete ergibt sich eine mittlere geschätzte Abweichung der Emission auf Grundlage der gezählten Zugzahlen im Vergleich zu den Zugzahlen von der DB von 0,3 dB.

Emission: Schienenzustand

Gemäß VBUSch kann im Rahmen der Lärmvorsorge als Schallminderungsmaßnahme das sog. „Besonders überwachte Gleis“ angewendet werden. Das „Besonders überwachte Gleis“ ist eine Schallschutzmaßnahme, bei der ein definierter akustisch günstiger Schienenzustand durch Überwachung und erforderlichenfalls Schleifen der Schienenfahrfläche erzielt wird. Üblicherweise ergibt sich dadurch eine Pegelminderung von bis zu 3 dB (34. BImSchV, Anlage 2, 2006). Unter Annahme einer Rechteckverteilung ergibt sich die Standardunsicherheit durch den Schienenzustand $u_i = \frac{3 \text{ dB}}{\sqrt{12}} = 0,9 \text{ dB}$. In Abbildung A-17 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

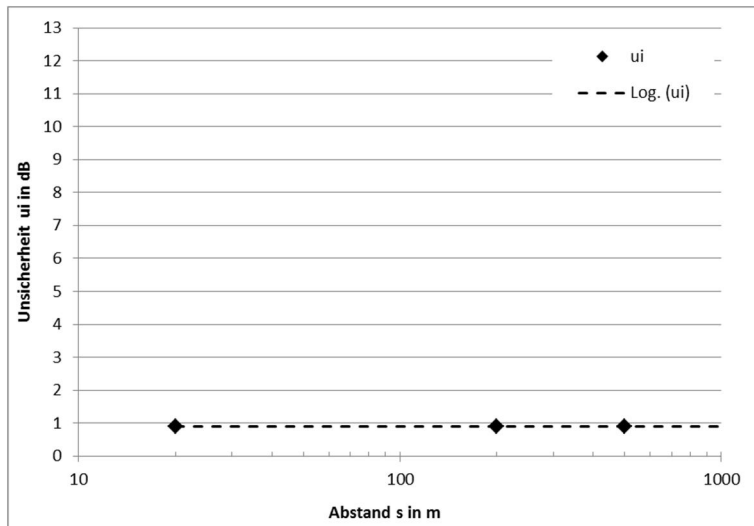


Abbildung A-17: Standardunsicherheit durch Schienenzustand u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Lage der Quelle

Je nach Genauigkeit der digitalen Ausgangsdaten zu Schienen kann die Lagegenauigkeit der Schienenachse im Bereich von wenigen Zentimetern (Laserscanning) oder mehreren Metern (GPS-Satellitenmessung) schwanken. Um die Auswirkungen der Lageunsicherheit bei Schienen zu untersuchen, wird eine im Modell enthaltene Schiene an die ursprüngliche Lage der im Testgebiet vorhandenen Straße angepasst. Dieser Schritt ist nötig, da innerhalb des Testgebietes keine Schiene in der Nähe einer Lärmschutzwand liegt und somit ein komplett neues Testgebiet gesucht werden muss. Die neue Schienenachse wird wie zuvor die Straße um ± 5 m nach Norden und Süden verschoben. Für die ursprüngliche sowie für die verschobenen Schienenachsen werden die Schallimmissionspegel $L_{pA,eq}(Achse0)$, $L_{pA,eq}(Achse-5)$ und $L_{pA,eq}(Achse+5)$ in Anlehnung an die VBUSch für 24 h an ausgewählten Gebäuden in verschiedenen Abständen von der Schallquelle mittels Gebäudelärmkarten berechnet. Die Schallimmissionspegel an der „lautesten“ Fassade der ursprünglichen Schallquelle werden dann von den Schallimmissionspegeln an der „lautesten“ Fassade der verschobenen Schallquellen abgezogen. Es gilt Gleichung (43) und (44). Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt Gleichung (45) zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus der Lage der Schallquelle anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort. Die Berechnungsergebnisse sind in Tabelle A-18 dargestellt.

Tabelle A-18: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i der Lage der Schienenachse

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
40	5,1	-0,9	1,7
200	0,1	-0,2	0,1
500	0,1	0	0

In Abbildung A-18 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

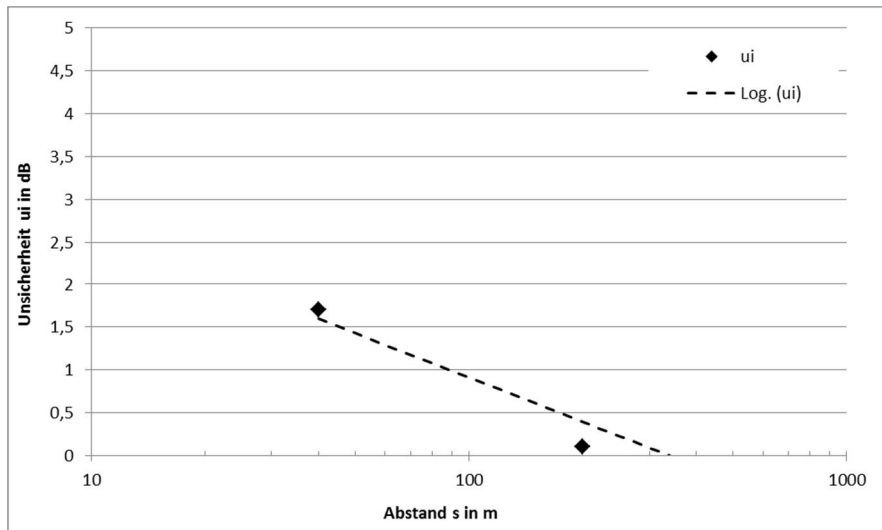


Abbildung A-18: Standardunsicherheit aus Lage der Quelle u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Boden- und Meteorologiedämpfung

Da die Boden- und Meteorologiedämpfung der VBUSch und VBUS gleich definiert sind, können die Zusammenhänge aus Anhang 5 (Transmission: Boden- und Meteorologiedämpfung) angesetzt werden (vgl. (34. BImSchV, Anlage 2, 2006) bzw. (34. BImSchV, Anlage 3, 2006)).

Transmission: Abschirmung durch Bebauung

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch fehlende Bebauung wird eine Vergleichsberechnung der Schienenverkehrsgeräusche nach VBUSch für zwei verschiedene Bebauungssituationen an ausgewählten Gebäuden in verschiedenem Abstand s durchgeführt. Dabei enthält die eine Bebauungssituation alle in NORAH verwendeten Gebäude sowie zusätzlich hinzugefügte Gebäude im Testgebiet (angenommener "Bebauungsstand 2010"). In der anderen Bebauungssituation werden Gebäude auf dem Ausbreitungsweg entfernt (angenommener "Bebauungsstand 2005"). Für den Bebauungsstand 2010 sowie für den Bebauungsstand 2005 werden die Schallimmissionspegel L_m in Anlehnung an die VBUSch für 24 h an ausgewählten Immissionsorten in verschiedenen Abständen von der Schallquelle berechnet. Die Schallimmissionspegel des Bebauungsstandes 2005 werden dann von den Schallimmissionspegeln des Bebauungsstandes 2010 in Anlehnung an Gleichung (43) und (44) abgezogen. Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt Gleichung (45) zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus unterschiedlicher Bebauung anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort. Die Berechnungsergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle A-19: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch unterschiedliche Bebauung

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
40	0	0	0
200	-3,7	-6	0,7
500	0,2	-1,8	0,6

In Abbildung A-19 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

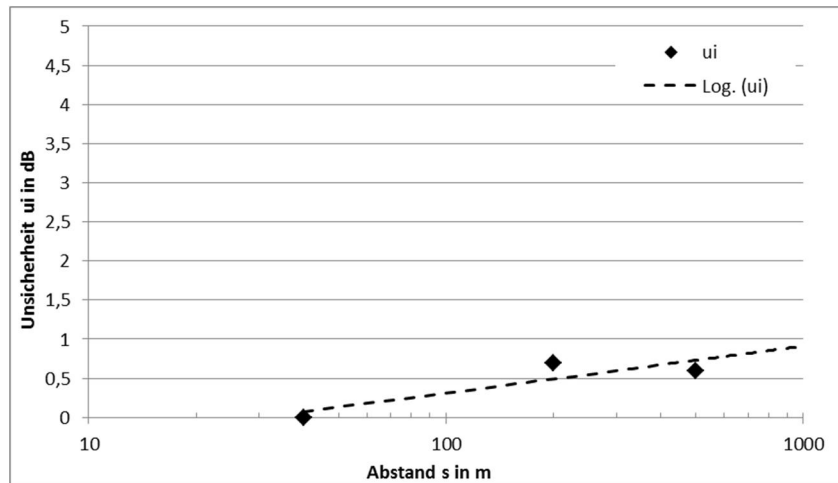


Abbildung A-19: Standardunsicherheit durch unterschiedliche Bebauung u_i in Abhängigkeit von s

Transmission: Abschirmung durch Schallschutzwände

Zur Quantifizierung der Standardunsicherheit durch fehlende Schallschutzwände wird eine Vergleichsberechnung der Schienenverkehrsgeräusche nach VBUSch für zwei verschiedene Bebauungssituationen an ausgewählten Gebäuden in verschiedenem Abstand s durchgeführt. Dabei enthält die eine Bebauungssituation alle in NORAH verwendeten Lärmschutzwände im Testgebiet. In der anderen Bebauungssituation sind keine Lärmschutzwände enthalten. Für die ursprüngliche sowie für die veränderte Situation werden die Schallimmissionspegel $L_{pA,eq}$ in Anlehnung an die VBUSch für 24 h an ausgewählten Immissionsorten in verschiedenen Abständen von der Schallquelle berechnet. Die Schallimmissionspegel mit LSW werden dann von den Schallimmissionspegeln ohne LSW in Anlehnung an Gleichung (43) und (44) abgezogen. Unter der Annahme einer Rechteckverteilung der Pegelabweichungen gilt Gleichung (45) zur Ermittlung der Standardunsicherheit aus fehlenden LSW anhand der maximalen bzw. minimalen Pegeldifferenzen je Abstand s zwischen Schallquelle und Immissionsort. Die Berechnungsergebnisse sind in nachfolgender Tabelle dargestellt.

Tabelle A-20: Quantifizierung der Standardunsicherheit u_i durch fehlende LSW

s in m	$\Delta L_{pA,eq,max}$ in dB	$\Delta L_{pA,eq,min}$ in dB	u_i in dB
40	10,9	6,3	1,3
200	3,1	0,1	0,9
500	1,7	1	0,2

In Abbildung A-20 sind die Standardunsicherheiten u_i in Abhängigkeit von s dargestellt.

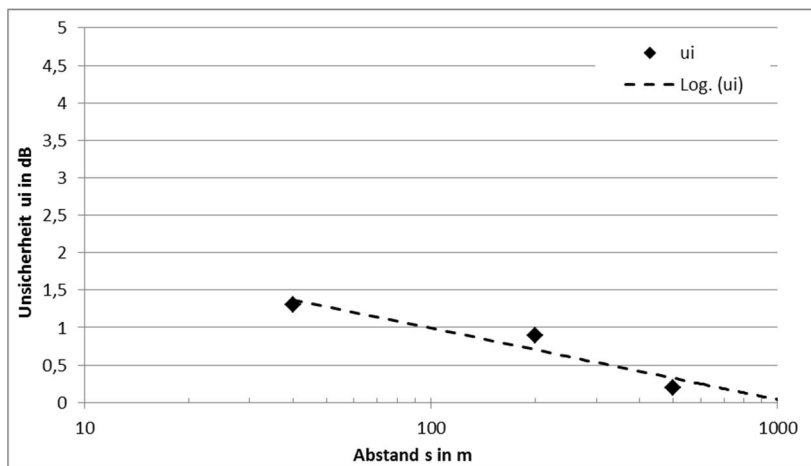


Abbildung A-20: Standardunsicherheit durch fehlende LSW u_i in Abhängigkeit von s

Immission: Lagegenauigkeit der Adresse

Die Standardunsicherheit aufgrund der Lagegenauigkeit der Adresse verhält sich äquivalent zur Lageunsicherheit der Schallquelle. Unter der Annahme, dass sich die Koordinaten eines Gebäudes um maximal ± 5 m in ihrer horizontalen Lage ändern, ist die Standardunsicherheit der Lage der Adresse bzw. der Gebäude gleich der Standardunsicherheit der Schallquelle (vgl. Anhang 6 Transmission: Lage der Quelle).

Immission: Eigenabschirmung der Gebäude

Diese Unsicherheit wird nicht zur Bildung der Gesamtunsicherheit aufaddiert, da sich nur ein kleiner Teil der Pegelkenngrößen nicht auf die lauteste Fassade bezieht.

Immission: Stockwerkshöhe

Diese Unsicherheit wird nicht zur Bildung der Gesamtunsicherheit aufaddiert, da sich nur ein kleiner Teil der Pegelkenngrößen nicht auf die in 4 m Höhe gelegenen Immissionspunkte bezieht.

Anhang 7: Ergebnisse der Pegelberechnungen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche in Studienmodul 1

Mittelungs- und Maximalpegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr des Studienmoduls 1, Erhebungswelle 1

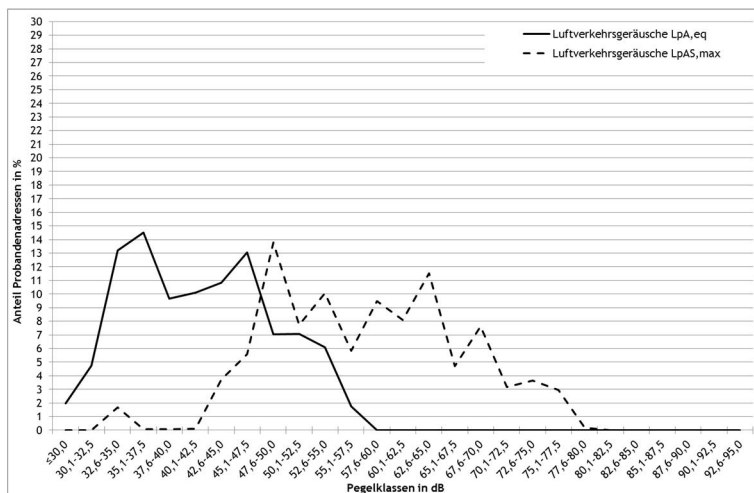


Abbildung A-21: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und mittleren Maximalpegel aus Luftverkehr der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

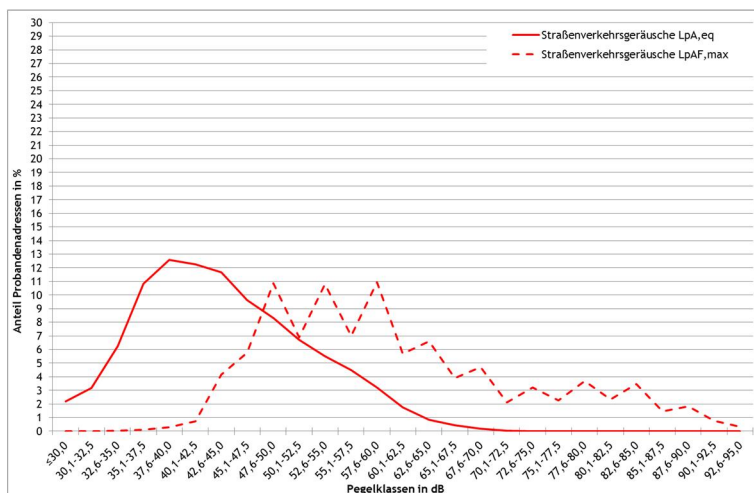


Abbildung A-22: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

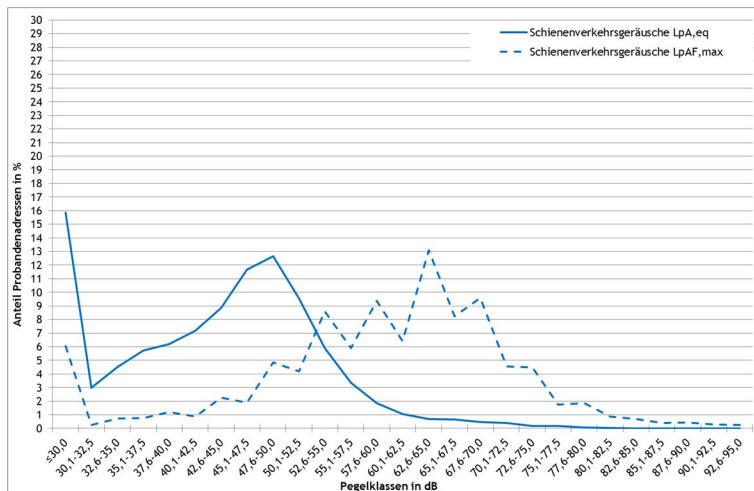


Abbildung A-23: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr der 1. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 11.069 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Mittelungspegel aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr aller Erhebungswellen des Studienmoduls 1

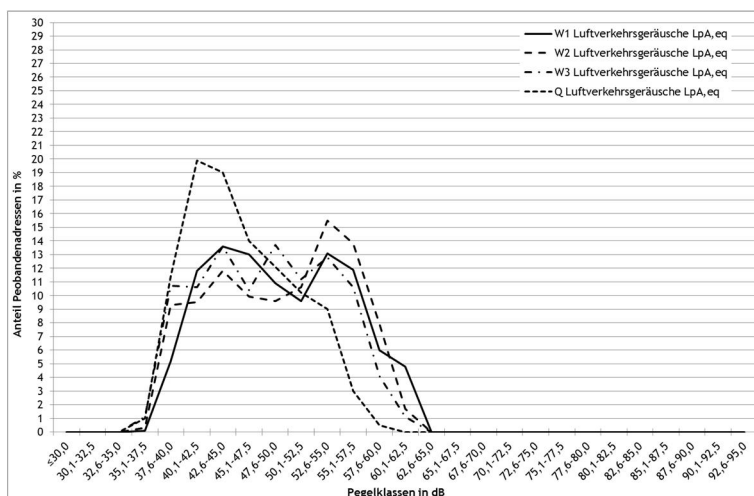


Abbildung A-24: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Luftverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

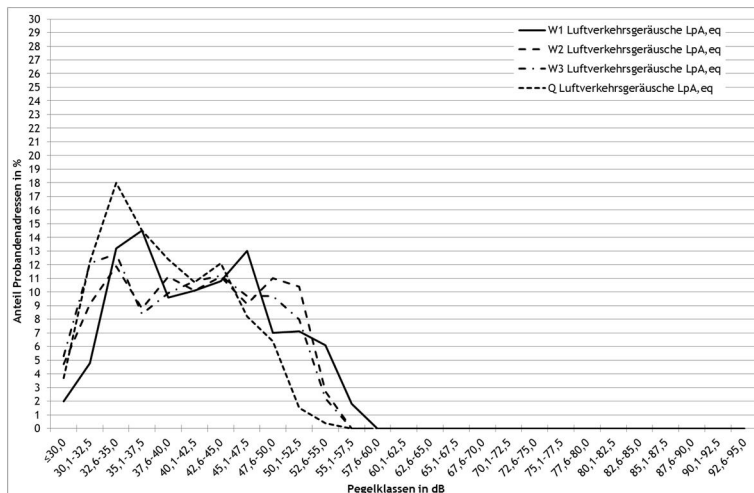


Abbildung A-25: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Luftverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

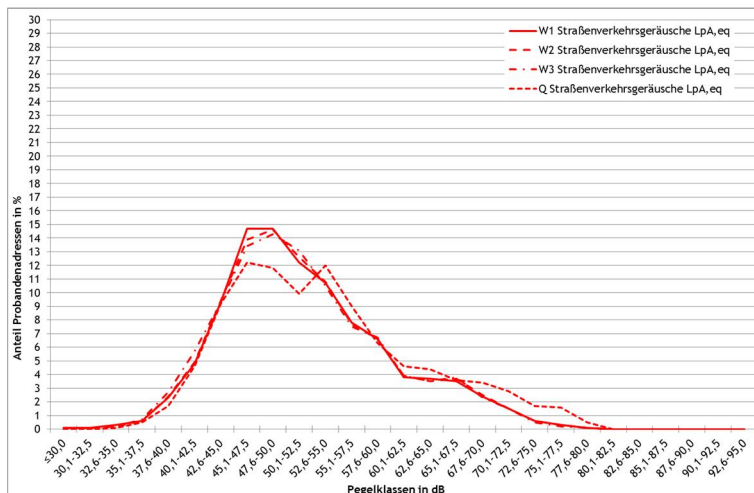


Abbildung A-26: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

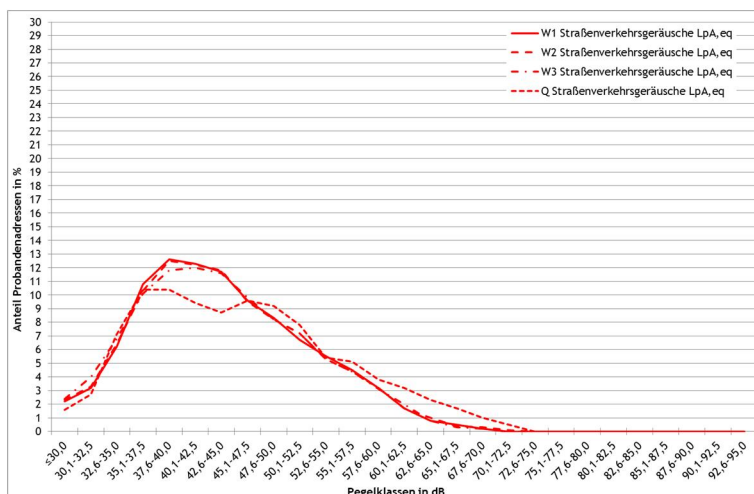


Abbildung A-27: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Straßenverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

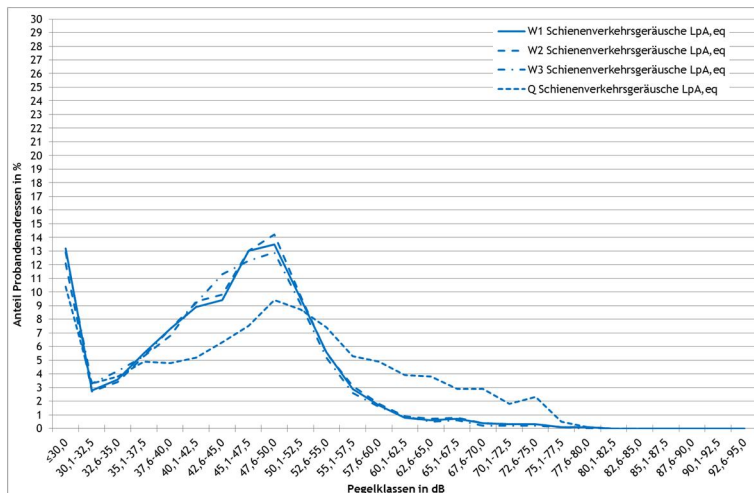


Abbildung A-28: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Tag (06:00 – 22:00 Uhr)

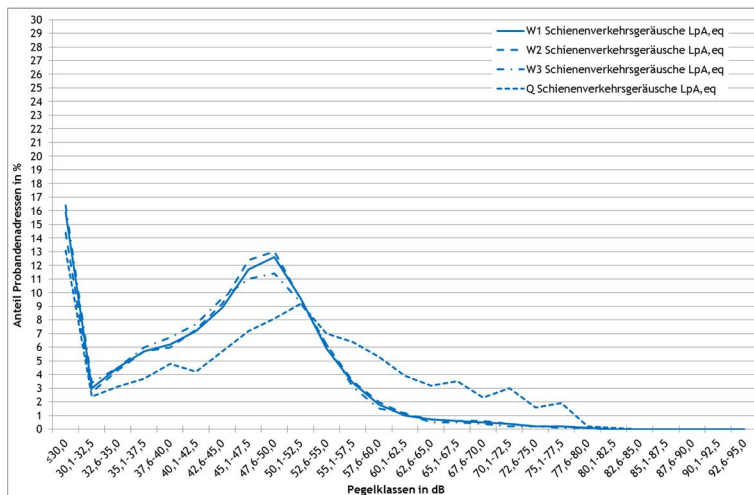


Abbildung A-29: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel aus Schienenverkehr über alle Erhebungswellen in Studienmodul 1 für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Abweichung der monatlichen zur jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr in den Erhebungswellen 2 und 3 des Studienmoduls 1

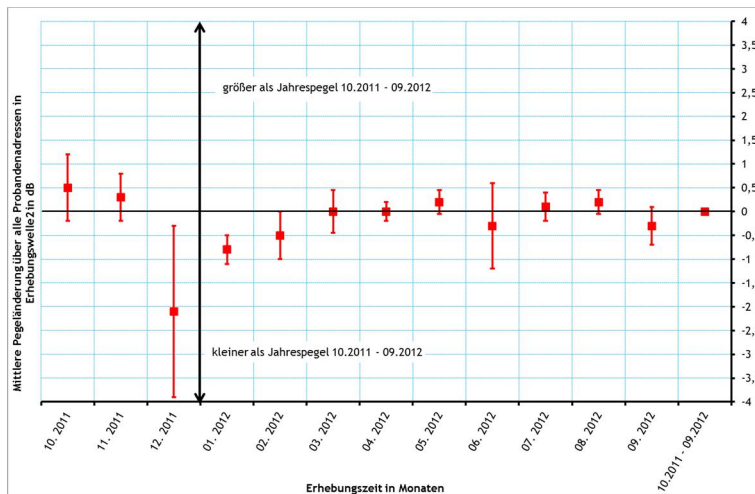


Abbildung A-30: Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr der 2. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 5.357 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

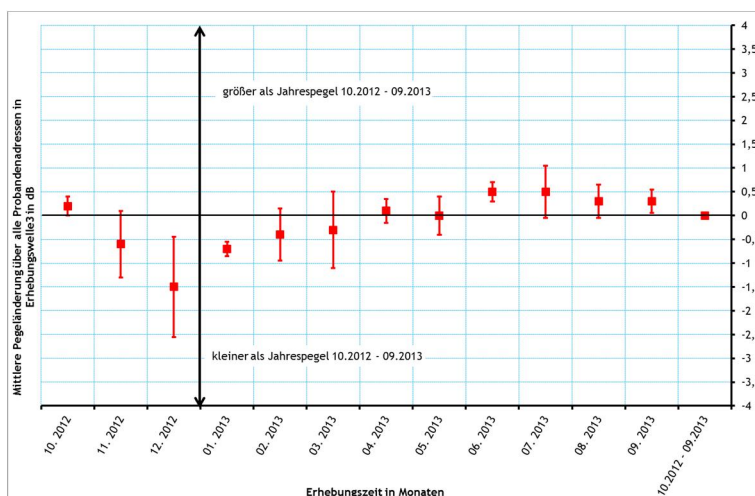


Abbildung A-31: Abweichung der monatlichen von der jährlichen Geräuschbelastung aus Luftverkehr der 3. Erhebungswelle in Studienmodul 1 bezogen auf N = 5.914 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

Mittelungs- und Maximalpegel der Gesamtgeräusche aus Luft- und Schienenverkehr sowie Luft- und Straßenverkehr des Studienmoduls 1, Querschnittserhebung

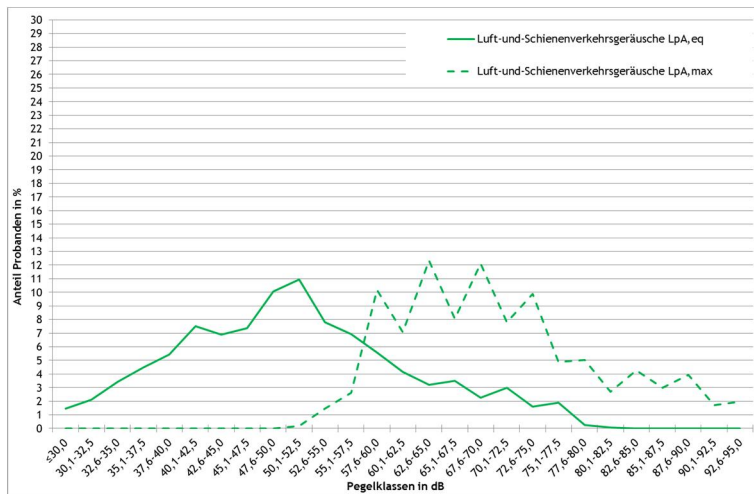


Abbildung A-32: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche (Mittelungspegel und Maximalpegel) aus Luft- und Schienenverkehr in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

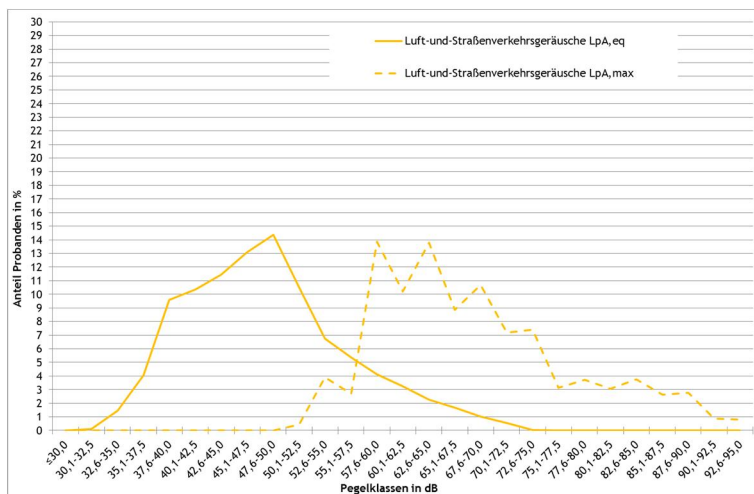


Abbildung A-33: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche (Mittelungspegel und Maximalpegel) aus Luft- und Straßenverkehr in der Querschnittserhebung des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 7.113 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Gesamtgeräusche aus Luft- und Schienenverkehr sowie Luft- und Straßenverkehr des Studienmoduls 1, Erhebungswelle 2

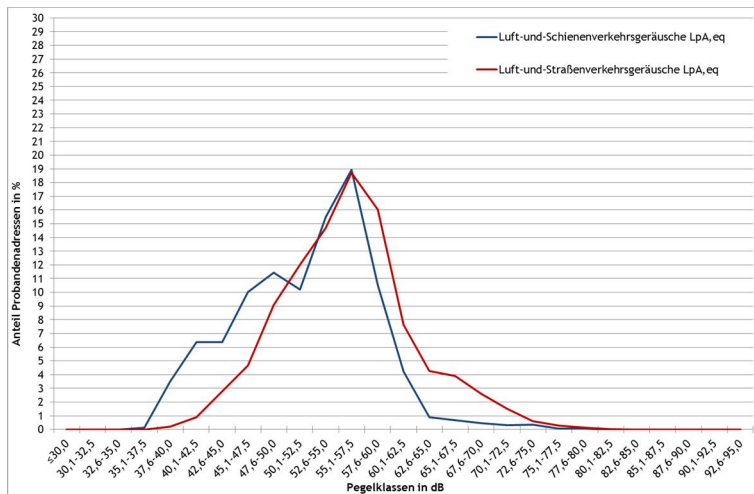


Abbildung A-34: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in Erhebungswelle 2 des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 5.357 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

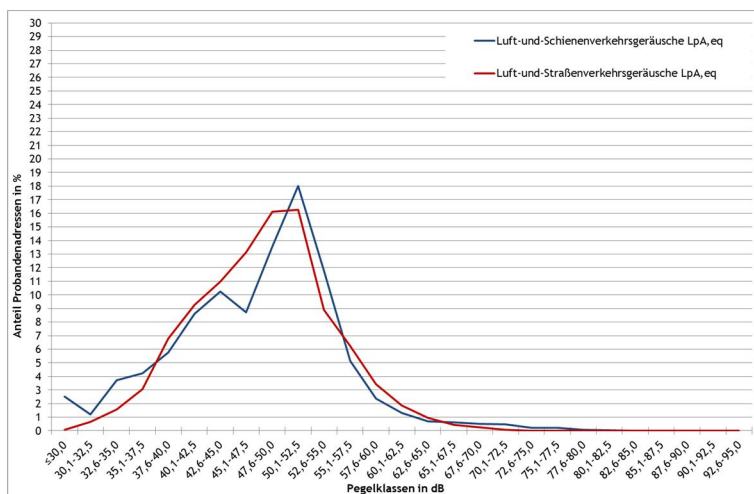


Abbildung A-35: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche aus Luft- und Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Luft- und Schienenverkehrsgeräuschen in Erhebungswelle 2 des Studienmoduls 1 bezogen auf N = 5.357 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

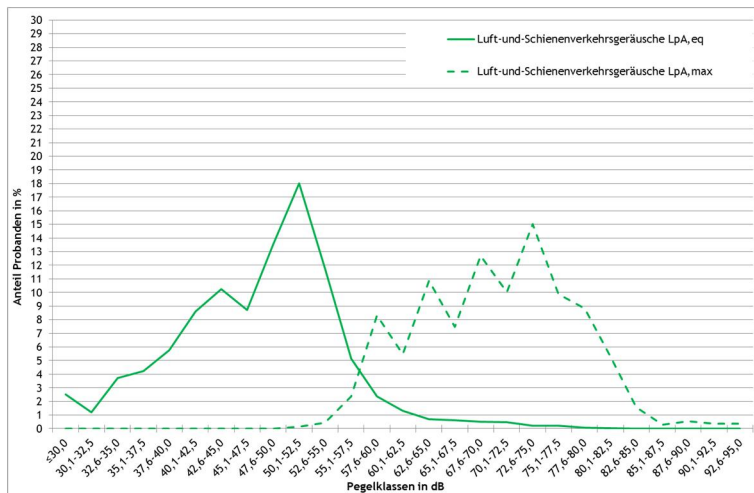


Abbildung A-36: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche (Mittelungspegel und Maximalpegel) aus Luft- und Schienenverkehr in Erhebungswelle 2 des Studienmoduls 1 bezogen auf $N = 5.357$ Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

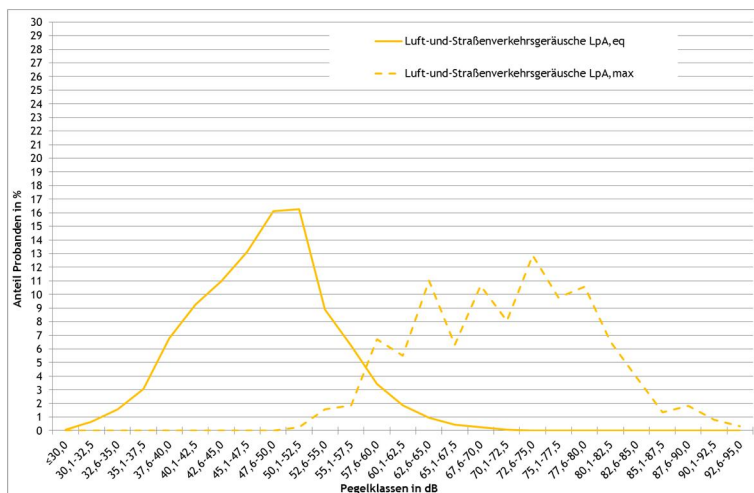


Abbildung A-37: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Gesamtgeräusche (Mittelungspegel und Maximalpegel) aus Luft- und Straßenverkehr in Erhebungswelle 2 des Studienmoduls 1 bezogen auf $N = 5.357$ Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Anhang 8: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1

Tabelle A-21: Akustische Kenngrößen zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten aus Studienmodul 1

Akustische Kenngröße	Teilzeiten	Luftverkehr				Straßen- und Schienenver- kehr
		Berlin/Schönefeld		Köln / Bonn; Stuttgart		
		Bezugszeit Monat WT / SSF	Bezugszeit Jahr gesamt und getrennt WT / SSF	Bezugszeit Jahr WT / SSF	Bezugs- zeit Jahr	Bezugszeit Jahr
$L_{pA,eq}$	05:00 – 06:00 Uhr	X	X	X	X	-
	06:00 – 07:00 Uhr			X	X	-
	06:00 -08:00 Uhr	X	X			
	07:00 – 08:00 Uhr			X	X	-
	08:00 – 14:00 Uhr	X	X			
	14:00 – 18:00 Uhr	X	X			
	08:00 – 18:00 Uhr			X	X	-
	18:00 – 19:00 Uhr			X	X	-
	18:00 – 20:00 Uhr	X	X			
	19:00 – 22:00 Uhr			X	X	-
	20:00 – 22:00 Uhr	X	X			
	22:00 – 23:00 Uhr	X	X	X	X	-
	23:00 – 05:00 Uhr	X	X	X	X	-
	07:00 – 18:00 Uhr			-	X	-
	18:00 – 23:00 Uhr			-	X	-
	06:00 – 18:00 Uhr		X	X	X	X
	18:00 – 22:00 Uhr		X	X	X	X
	06:00 – 22:00 Uhr		X	X	X	X
	22:00 – 06:00 Uhr		X	X	X	X
	00:00 – 24:00 Uhr		X	X	X	X
L_{DEN}	00:00 – 24:00 Uhr	-	X	X	X	X
$L_{pAF,max}$	-	-	-	-	-	X
Maximal- pegel-	05:00 – 06:00 Uhr	X	X	X	X	-
	06:00 – 07:00 Uhr	-		X	X	-

Akustische Kenngröße	Teilzeiten	Luftverkehr				Straßen- und Schienenver- kehr
		Berlin/Schönefeld		Köln / Bonn; Stuttgart		
		Bezugszeit Monat WT / SSF	Bezugszeit Jahr gesamt und getrennt WT / SSF	Bezugszeit Jahr WT / SSF	Bezugs- zeit Jahr	Bezugszeit Jahr
Häufig- keits- verteilung	06:00 -08:00 Uhr	X	X			
	07:00 – 08:00 Uhr			X	X	
	08:00 – 14:00 Uhr	X	X			
	14:00 – 18:00 Uhr	X	X			
	08:00 – 18:00 Uhr			X	X	
	18:00 – 19:00 Uhr			X	X	
	18:00 – 20:00 Uhr	X	X			
	19:00 – 22:00 Uhr			X	X	
	20:00 – 22:00 Uhr	X	X			
	22:00 – 23:00 Uhr	X	X	X	X	
	23:00 – 05:00 Uhr	X	X	X	X	
	06:00 – 22:00 Uhr		X	-	X	
	22:00 – 06:00 Uhr		X	-	X	

Anmerkung: Die akustischen Kenngrößen aus Luftverkehr für diese Mittelungszeiten wurden nur für den Vergleichsstandort Köln / Bonn berechnet

Anhang 9: Vergleich der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche bei Nacht an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1

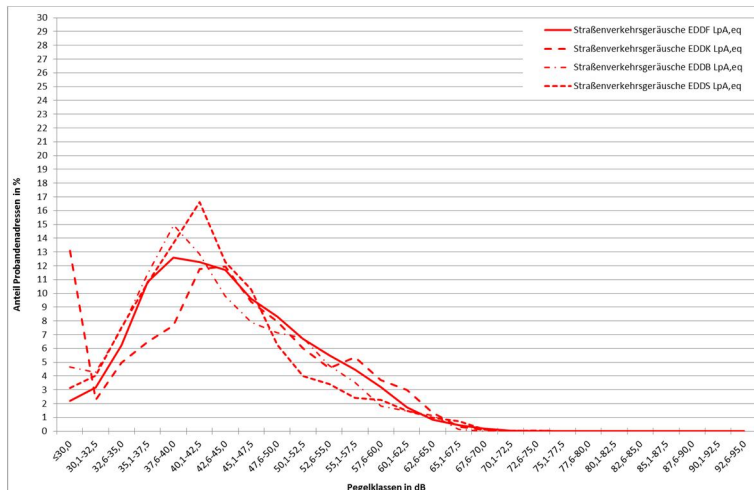


Abbildung A-38: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF), Köln/Bonn (EDDK), Berlin/Schönefeld (EDDB) und Stuttgart (EDDS) für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

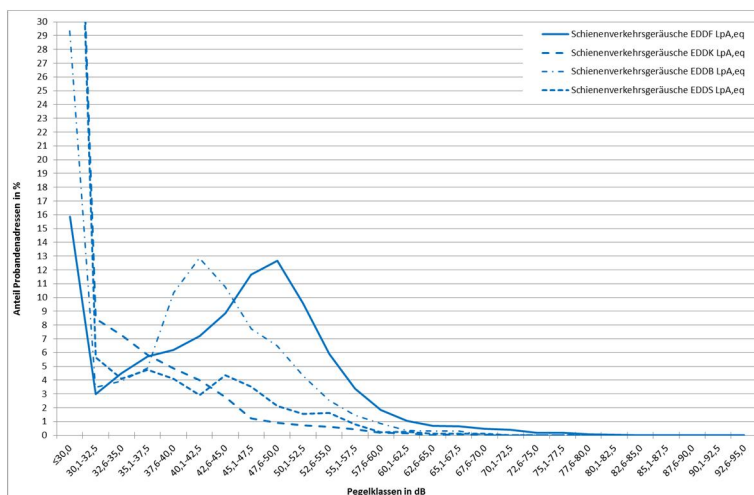


Abbildung A-39: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsgeräusche an den Flughäfen Frankfurt am Main (EDDF), Köln/Bonn (EDDK), Berlin/Schönefeld (EDDB) und Stuttgart (EDDS) für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Anhang 10: Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr an den Vergleichsstandorten des Studienmoduls 1

Köln / Bonn: Berechnete Mittelungspegel für die Teilzeiten Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

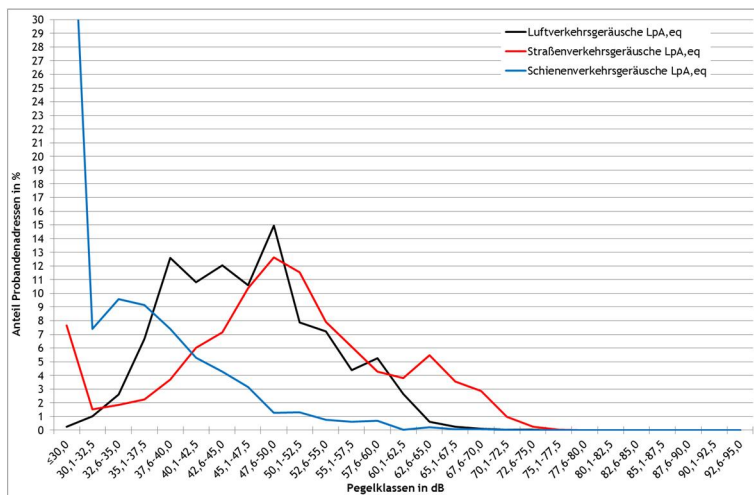


Abbildung A-40: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Untersuchungsgebiet Köln / Bonn bezogen auf N = 2.955 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

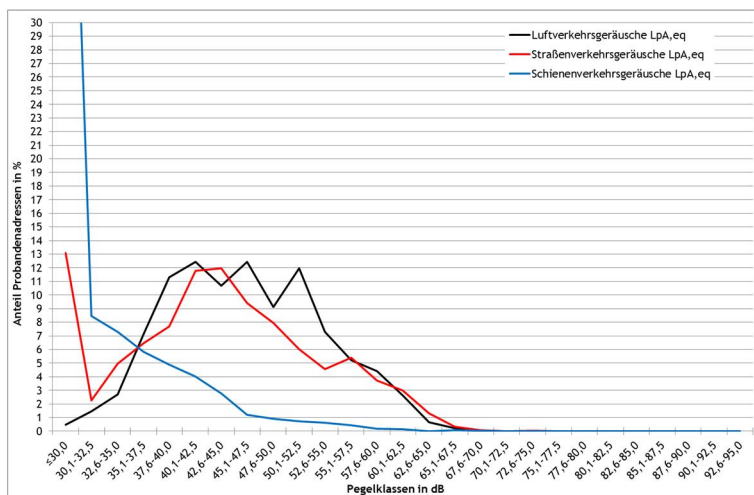


Abbildung A-41: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche im Untersuchungsgebiet Köln / Bonn bezogen auf N = 2.955 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Köln / Bonn: Berechnete Mittelungs- und Maximalpegel für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

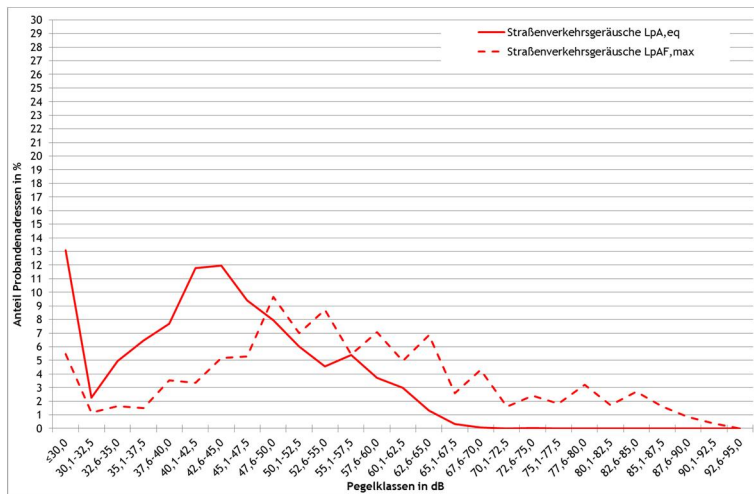


Abbildung A-42: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet Köln / Bonn bezogen auf N = 2.955 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

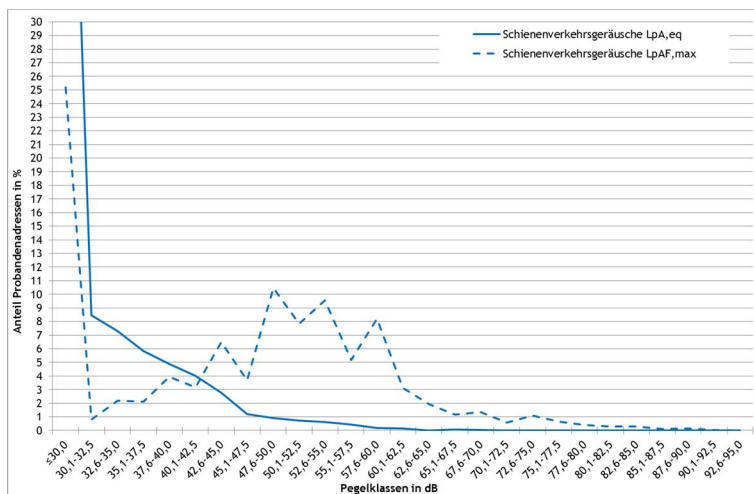


Abbildung A-43: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr im Untersuchungsgebiet Köln / Bonn bezogen auf N = 2.955 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Berlin/Schönefeld: Berechnete Mittelungspegel für die Teilzeiten Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

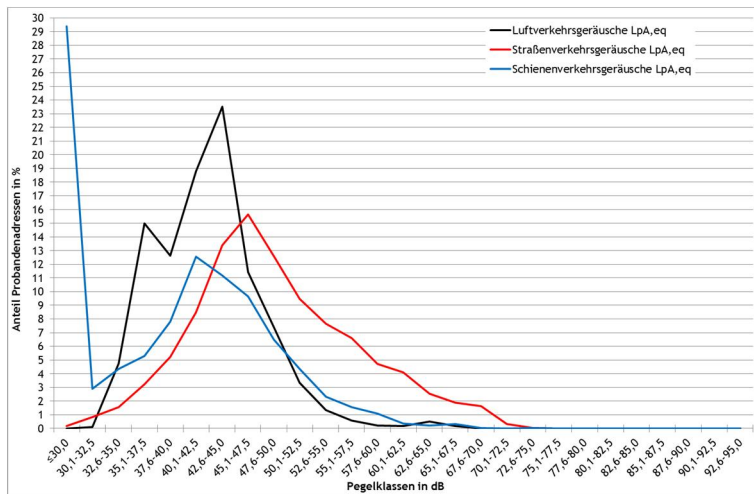


Abbildung A-44: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der im Untersuchungsgebiet Berlin/Schönefeld bezogen auf N = 5.818 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

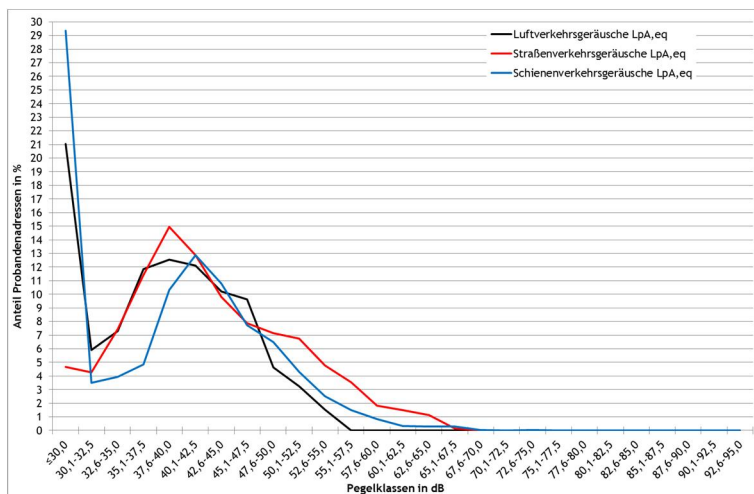


Abbildung A-45: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der im Untersuchungsgebiet Berlin/Schönefeld bezogen auf N = 5.818 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Berlin/Schönefeld: Berechnete Mittelungs- und Maximalpegel für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

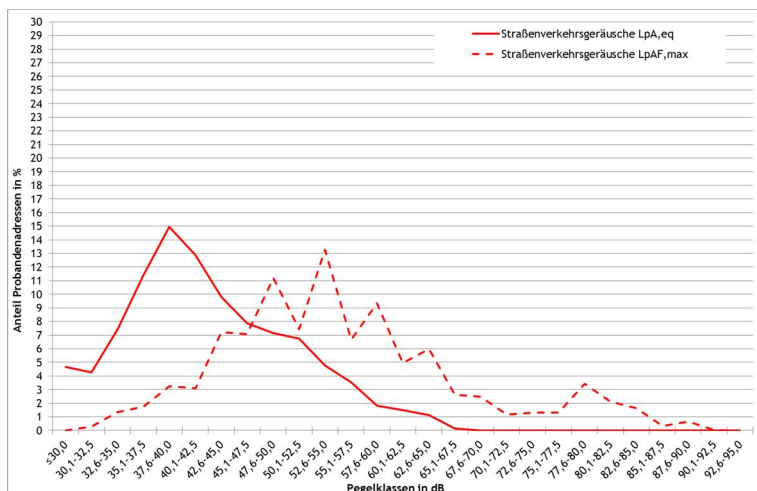


Abbildung A-46: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet Berlin/Schönefeld bezogen auf N = 5.818 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

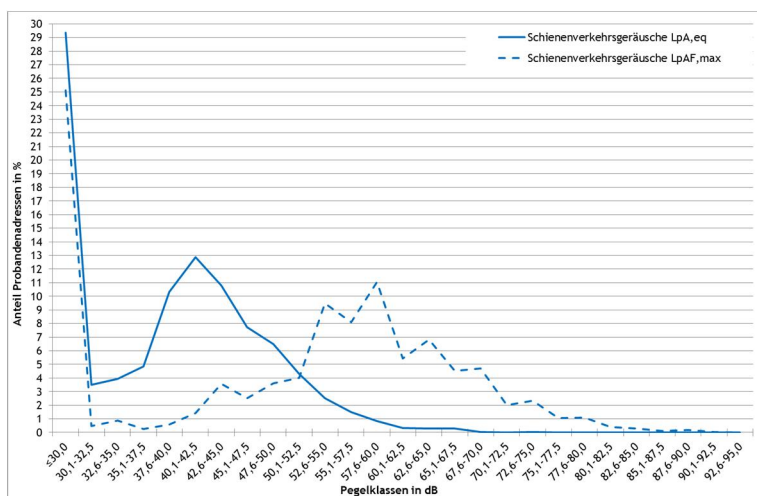


Abbildung A-47: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr im Untersuchungsgebiet Berlin/Schönefeld bezogen auf N = 5.818 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Stuttgart: Berechnete Mittelungspegel für die Teilzeiten Tag (06:00 - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

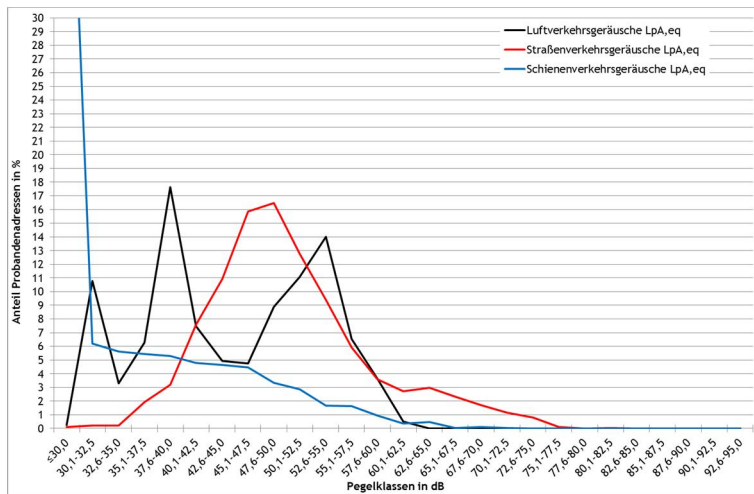


Abbildung A-48: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der im Untersuchungsgebiet Stuttgart bezogen auf N = 1.979 Probandenadressen für die Teilzeit Tag (06:00 - 22:00 Uhr)

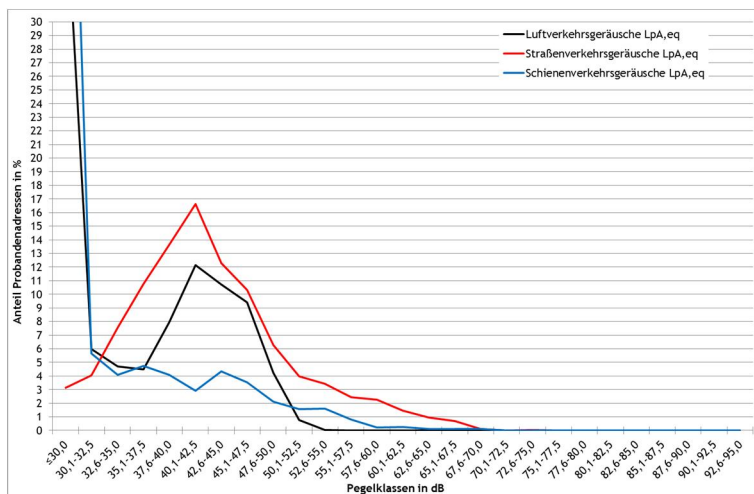


Abbildung A-49: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der im Untersuchungsgebiet Stuttgart bezogen auf N = 1.979 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Stuttgart: Berechnete Mittelungs- und Maximalpegel für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

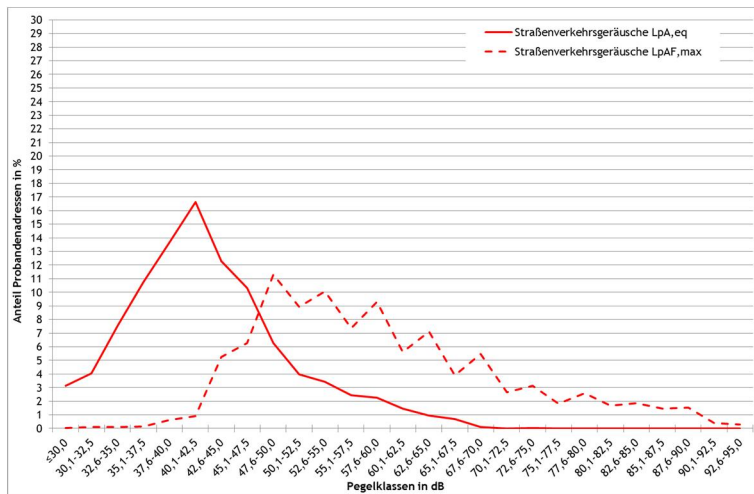


Abbildung A-50: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet Stuttgart bezogen auf N = 1.979 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

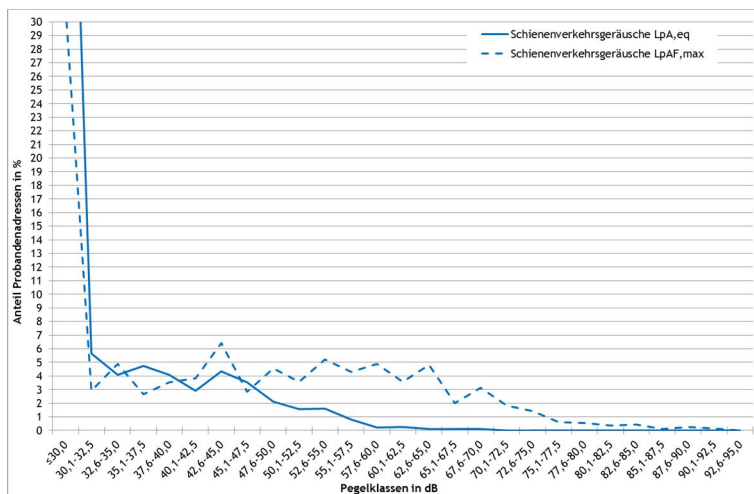


Abbildung A-51: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr im Untersuchungsgebiet Stuttgart bezogen auf N = 1.979 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Anhang 11: Flugbewegungen je Monat getrennt nach WT und SSF in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring

Tabelle A-22: Verteilung der mittleren täglichen Flugbewegungen innerhalb der Erhebungszeiten 01.07.2011 bis 30.04.2014 auf die Kennzeichnungszeiten monatlich getrennt nach WT und SSF für den Flughafen Frankfurt am Main

Monate innerhalb der Erhebungszeit	Erhebungszeit BP1 und BP2	
	01.07.2011 bis 30.04.2014	
	Kennzeichnungszeit	
	Werktage (WT)	Feiertage, Samstage und Sonntage (SSF)
	Flüge	Flüge
Juli 11	1.360	1.355
August 11	1.348	1.360
September 11	1.404	1.398
Oktober 11	1.342	1.372
November 11	1.336	1.312
Dezember 11	1.262	1.147
Januar 12	1.215	1.188
Februar 12	1.157	1.234
März 12	1.298	1.286
April 12	1.337	1.290
Mai 12	1.374	1.332
Juni 12	1.409	1.398
Juli 12	1.379	1.370
August 12	1.340	1.380
September 12	1.350	1.415
Oktober 12	1.382	1.371
November 12	1.282	1.234
Dezember 12	1.152	1.025
Januar 13	1.156	1.051
Februar 13	1.209	1.166
März 13	1.190	1.183
April 13	1.299	1.306
Mai 13	1.363	1.321
Juni 13	1.410	1.372
Juli 13	1.368	1.388
August 13	1.364	1.358

Monate innerhalb der Erhebungszeit	Erhebungszeit BP1 und BP2	
	01.07.2011 bis 30.04.2014	
	Kennzeichnungszeit	
	Werktage (WT)	Feiertage, Samstage und Sonntage (SSF)
	Flüge	Flüge
September 13	1.417	1.392
Oktober 13	1.359	1.355
November 13	1.269	1.215
Dezember 13	1.152	1.055
Januar 14	1.151	1.099
Februar 14	1.116	1.120
März 14	1.084	1.104
April 14	1.097	1.126

Anhang 12: Monatsaufteilung für die individuellen Jahrespegel in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring

Tabelle A-23: Aufteilung der benötigten individuellen Jahrespegel in Abhängigkeit vom HBV-Datum im Blutdruckmonitoring über die Beobachtungsperioden 1 und 2

Beobachtungsperiode (BP)	Messbeginn (=Datum HBV)	Luftverkehrsgeräusche	
		Monatspegel	Jahrespegel
		=Vormonat des Messbeginns / Monat des Messbeginns	Beginn - Ende
BP 1	Jul 12	Jun 12 / Jul 12	Jul 11 - Jun 12
	Aug 12	Jul 12 / Aug 12	Aug 11 - Jul 12
	Sep 12	Aug 12 / Sep 12	Sep 11 - Aug 12
	Okt 12	Sep 12 / Okt 12	Okt 11 - Sep 12
	Nov 12	Okt 12 / Nov 12	Nov 11 - Okt 12
	Dez 12	Nov 12 / Dez 12	Dez 11 - Nov 12
	Jan 13	Dez 12 / Jan 13	Jan 12 - Dez 12
	Feb 13	Jan 13 / Feb 13	Feb 12 - Jan 13
	Mrz 13	Feb 13 / Mrz 13	Mrz 12 - Feb 13
	Apr 13	Mrz 13 / Apr 13	Apr 12 - Mrz 13
	Mai 13	Apr 13 / Mai 13	Mai 12 - Apr 13
BP 2	Jun 13	Mai 13 / Jun 13	Jun 12 - Mai 13
	Jul 13	Jun 13 / Jul 13	Jul 12 - Jun 13
	Aug 13	Jul 13 / Aug 13	Aug 12 - Jul 13
	Sep 13	Aug 13 / Sep 13	Sep 12 - Aug 13
	Okt 13	Sep 13 / Okt 13	Okt 12 - Sep 13
	Nov 13	Okt 13 / Nov 13	Nov 12 - Okt 13
	Dez 13	Nov 13 / Dez 13	Dez 12 - Nov 13
	Jan 14	Dez 13 / Jan 14	Jan 13 - Dez 13
	Feb 14	Jan 14 / Feb 14	Feb 13 - Jan 14
	Mrz 14	Feb 14 / Mrz 14	Mrz 13 - Feb 14
	Apr 14	Mrz 14 / Apr 14	Apr 13 - Mrz 14
	Mai 14	Apr 14 / Mai 14	Mai 13 - Apr 14

Anhang 13: Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 2 Blutdruckmonitoring

Mittelungs- und Maximalpegel für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche in der Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

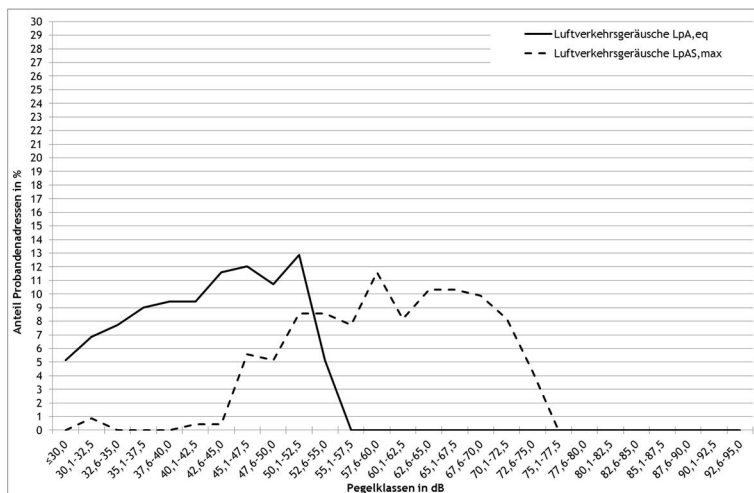


Abbildung A-52: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.11 – 09.12 bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

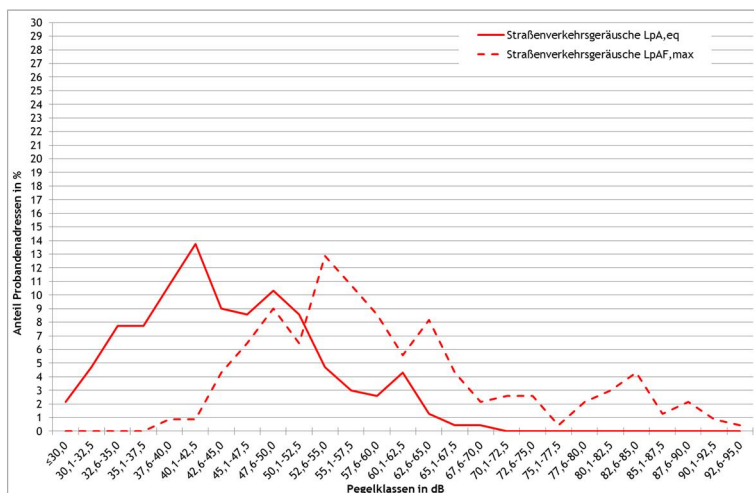


Abbildung A-53: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.11 – 09.12 bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

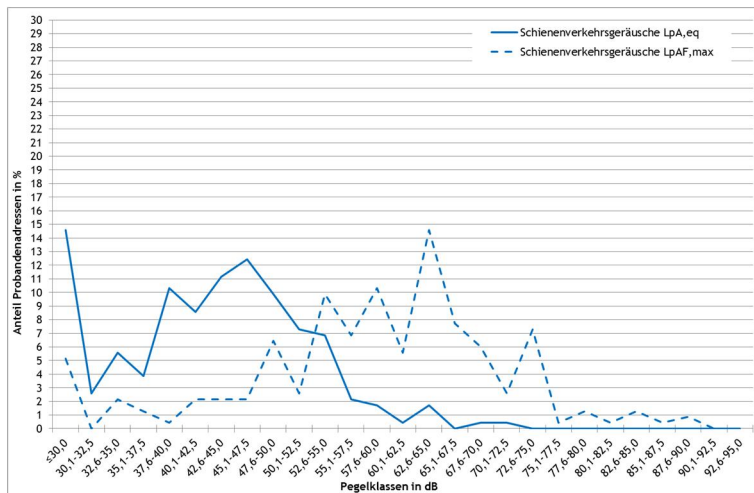


Abbildung A-54: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr im Blutdruckmonitoring BP1 über das individuelle Jahr 10.11 - 09.12 bezogen auf N = 233 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22 - 06 Uhr)

Anhang 14: Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 2 Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie

Mittelungs- und Maximalpegel für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche in der Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

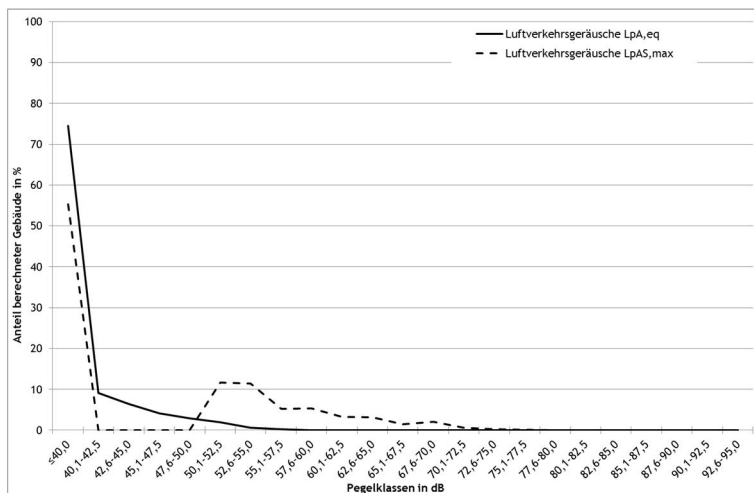


Abbildung A-55: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr 2005 an ca. 863.200 Gebäuden für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

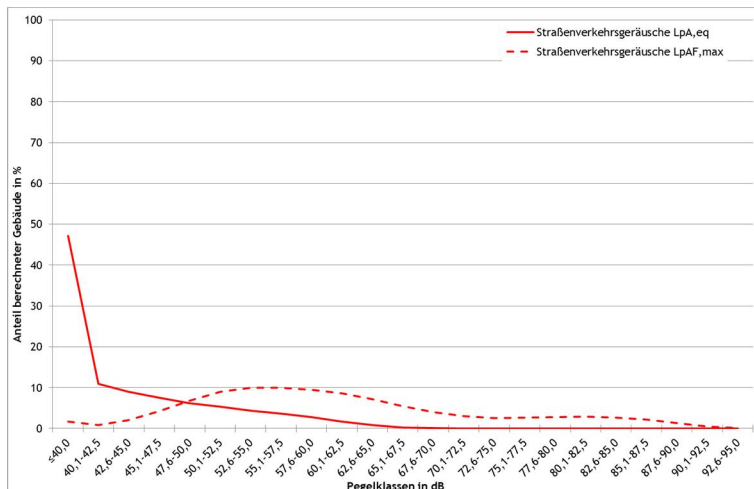


Abbildung A-56: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr 2005 an ca. 863.200 Gebäuden für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

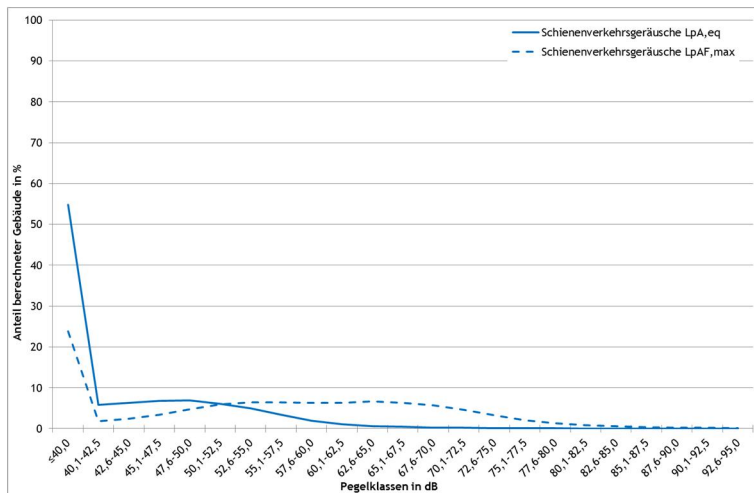


Abbildung A-57: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr 2010 an ca. 863.200 Gebäuden für die Teilzeit Nacht (22:00 – 06:00 Uhr)

Anhang 15: Ergebnisse der Pegelberechnungen aus Luft-, Straßen- und Schienenverkehr in Studienmodul 3

Mittelungs- und Maximalpegel außen an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

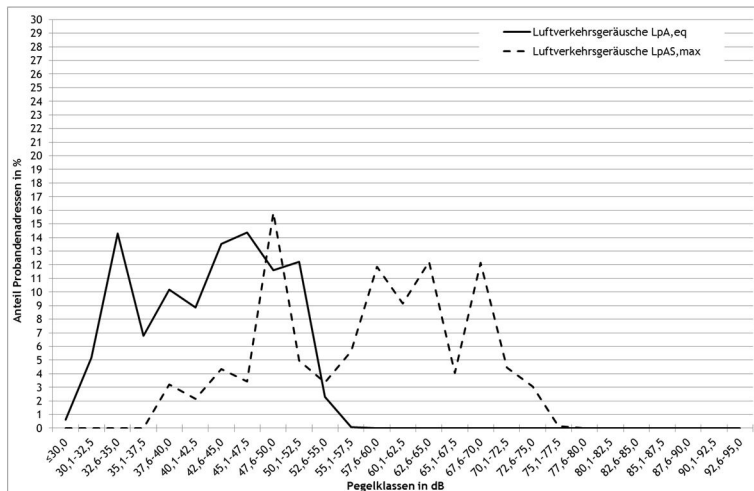


Abbildung A-58: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

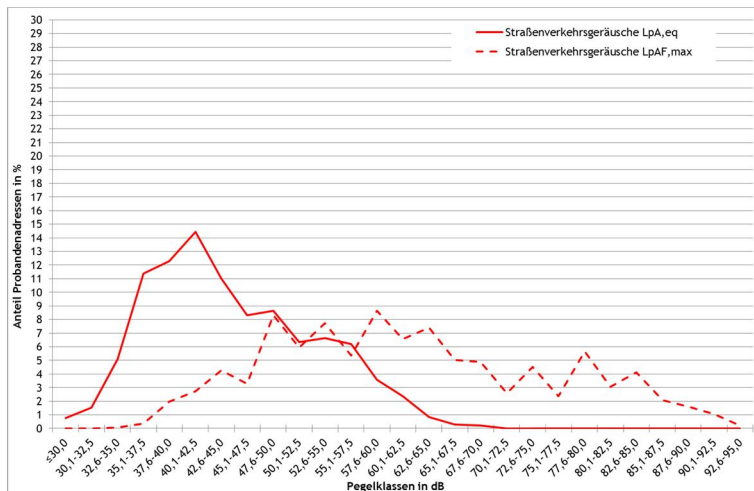


Abbildung A-59: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr an N = 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

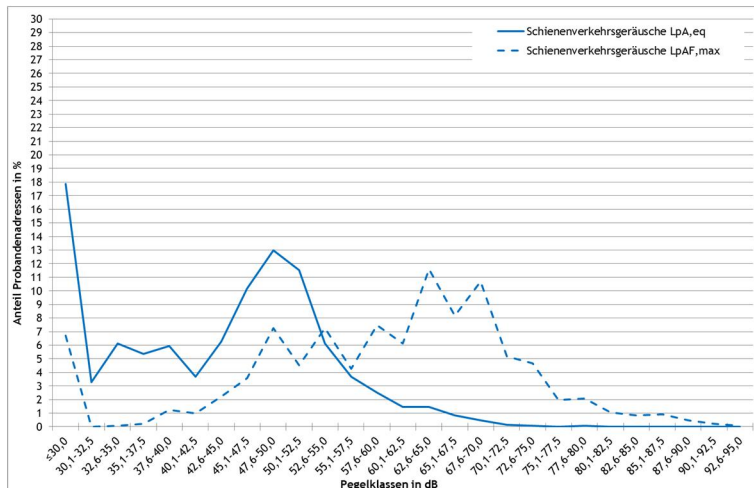


Abbildung A-60: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr an 1.309 Probandenadressen für die Teilzeit Nacht (22:00 - 06:00 Uhr)

Mittelungs- und Maximalpegel außen an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 - 14:00 Uhr) bzw. (06:00 - 18:00 Uhr). Grundschulen 1. Welle

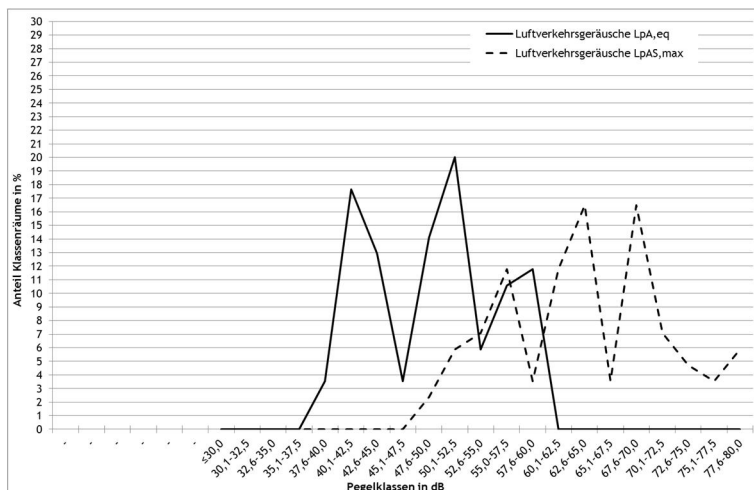


Abbildung A-61: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr (außen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (08:00 - 14:00 Uhr)

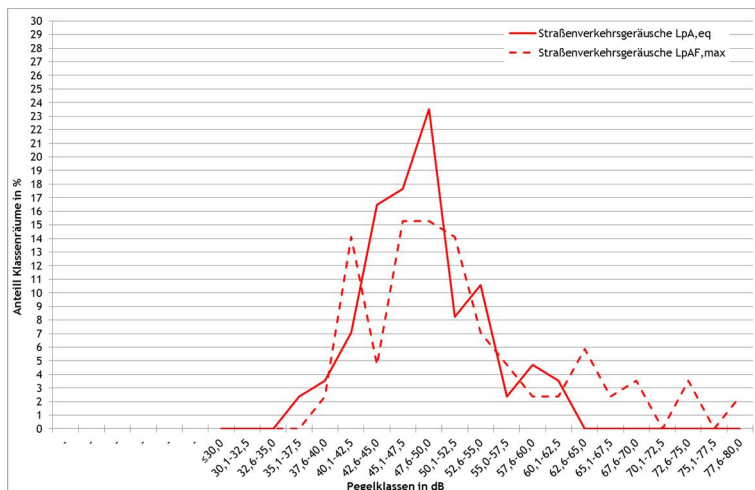


Abbildung A-62: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr (außen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr)

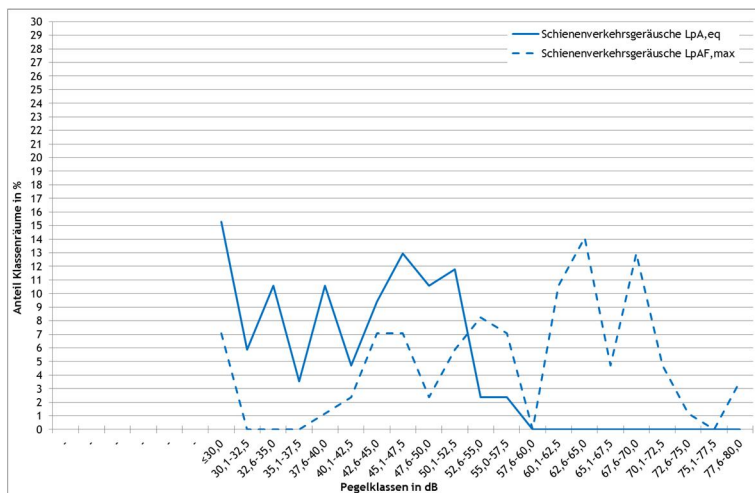


Abbildung A-63: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr (außen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr)

Mittelungs- und Maximalpegel innen an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 - 14:00 Uhr) bzw. (06:00 - 18:00 Uhr). Grundschulen 1. Welle

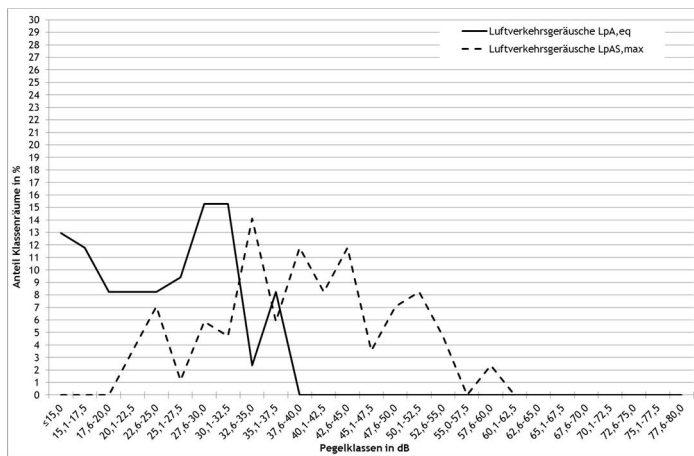


Abbildung A-64: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr (innen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (08:00 - 14:00 Uhr)

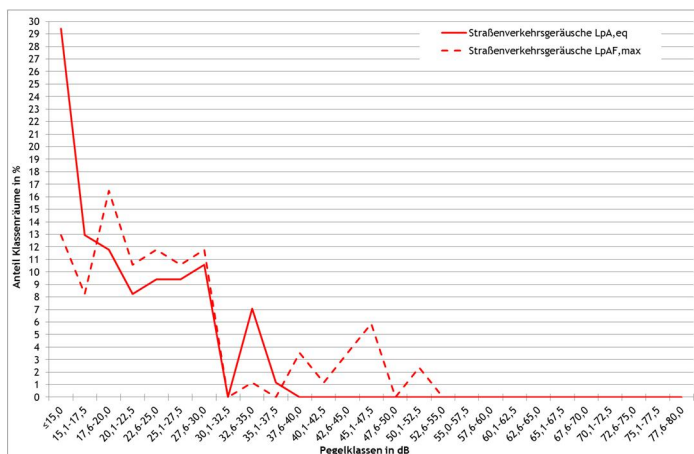


Abbildung A-65: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Straßenverkehr (innen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr)

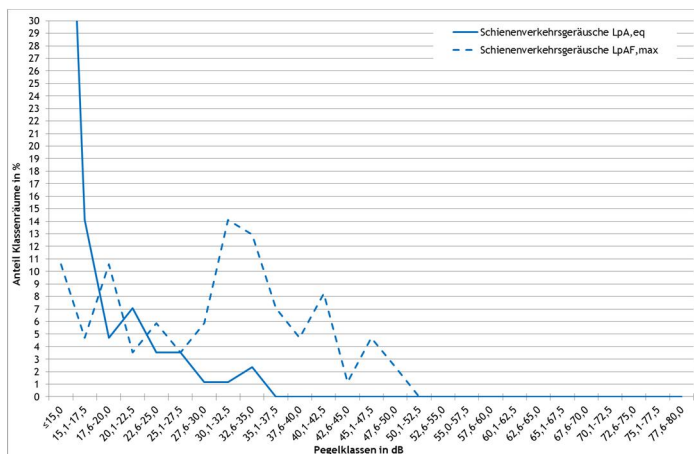


Abbildung A-66: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Schienenverkehr (innen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (06:00 - 18:00 Uhr)

Mittelungs- und Maximalpegel außen an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 - 14:00 Uhr). Grundschulen 2. Welle

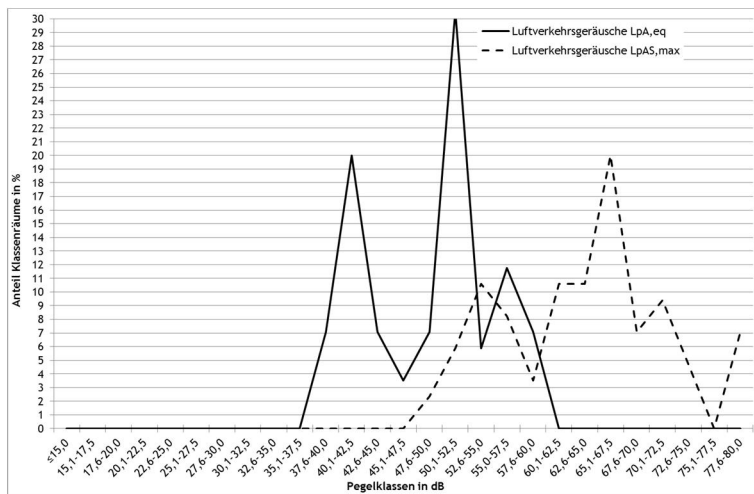


Abbildung A-67: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr (außen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (08:00 - 14:00 Uhr)

Mittelungs- und Maximalpegel innen an N = 85 Klassenräumen für die Teilzeiten Tag (08:00 - 14:00 Uhr). Grundschulen 2. Welle

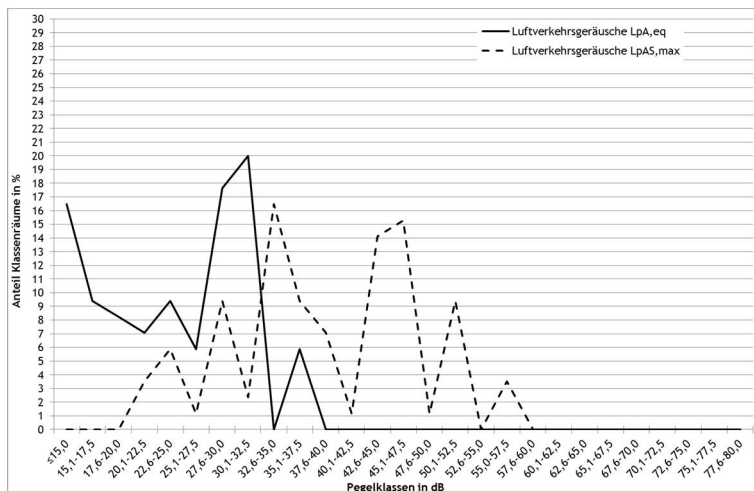


Abbildung A-68: Relative Pegel - Häufigkeitsverteilung der Mittelungspegel und Maximalpegel aus Luftverkehr (innen) an 85 Klassenräumen für die Teilzeit Tag (08:00 - 14:00 Uhr)

Anhang 16: Zusammenstellung der akustischen Kenngrößen aus den Studienmodulen 1, 2 und 3

Verzeichnisse der akustischen Kenngrößen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche aus Studienmodul 1 bzw. Studienmodul 2 Teilstudie „Blutdruckmonitoring“

Luftverkehrsgeräusche monatsweise getrennt für Werktage und Feiertage, Samstage und Sonntage

ID	Identifikationsnummer
BLDG_GEOID	Georeferenzierte Gebäude Identifikationsnummer
LpASeq_05_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 05-06 Uhr
LpASeq_06_07	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-07 Uhr
LpASeq_07_08	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 07-08 Uhr
LpASeq_08_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-18 Uhr
LpASeq_18_19	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-19 Uhr
LpASeq_19_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 19-22 Uhr
LpASeq_22_23	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-23 Uhr
LpASeq_23_05	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 23-05 Uhr

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

ID	Identifikationsnummer
BLDG_GEOID	Georeferenzierte Gebäude Identifikationsnummer
LpASeq_05_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 05-06 Uhr
LpASeq_06_07	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-07 Uhr
LpASeq_07_08	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 07-08 Uhr
LpASeq_08_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-18 Uhr
LpASeq_18_19	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-19 Uhr
LpASeq_19_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 19-22 Uhr
LpASeq_22_23	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-23 Uhr
LpASeq_23_05	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 23-05 Uhr
LpASeq_06_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

LpASeq_18_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
LpASeq_06_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpASeq_22_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
LpASeq_00_24	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 00-24 Uhr
LDEN	Tag-Abend-Nacht Index vor der Außenfassade
LpASmax_06_22	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpASmax_22_06	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
Maximalpegelstatistik	
N020_050_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 20-50dB(A), tags (06-22 Uhr)
N050_051_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 50-51dB(A), tags (06-22 Uhr)
N051_052_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 51-52dB(A), tags (06-22 Uhr)
N052_053_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 52-53dB(A), tags (06-22 Uhr)
N053_054_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 53-54dB(A), tags (06-22 Uhr)
N054_055_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 54-55dB(A), tags (06-22 Uhr)
N055_056_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 55-56dB(A), tags (06-22 Uhr)
N056_057_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 56-57dB(A), tags (06-22 Uhr)
N057_058_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 57-58dB(A), tags (06-22 Uhr)
N058_059_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 58-59dB(A), tags (06-22 Uhr)
N059_060_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 59-60dB(A), tags (06-22 Uhr)
N060_061_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 60-61dB(A), tags (06-22 Uhr)
N061_062_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 61-62dB(A), tags (06-22 Uhr)
N062_063_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 62-63dB(A), tags (06-22 Uhr)
N063_064_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 63-64dB(A), tags (06-22 Uhr)
N064_065_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 64-65dB(A), tags (06-22 Uhr)
N065_066_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 65-66dB(A), tags (06-22 Uhr)
N066_067_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 66-67dB(A), tags (06-22 Uhr)
N067_068_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 67-68dB(A), tags (06-22 Uhr)
N068_069_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 68-69dB(A), tags (06-22 Uhr)
N069_070_06_22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 69-70dB(A), tags (06-22 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

N070_071_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 70-71dB(A), tags (06-22 Uhr)
N071_072_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 71-72dB(A), tags (06-22 Uhr)
N072_073_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 72-73dB(A), tags (06-22 Uhr)
N073_074_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 73-74dB(A), tags (06-22 Uhr)
N074_075_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 74-75dB(A), tags (06-22 Uhr)
N075_076_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 75-76dB(A), tags (06-22 Uhr)
N076_077_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 76-77dB(A), tags (06-22 Uhr)
N077_078_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 77-78dB(A), tags (06-22 Uhr)
N078_079_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 78-79dB(A), tags (06-22 Uhr)
N079_080_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 79-80dB(A), tags (06-22 Uhr)
N080_081_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 80-81dB(A), tags (06-22 Uhr)
N081_082_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 81-82dB(A), tags (06-22 Uhr)
N082_083_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 82-83dB(A), tags (06-22 Uhr)
N083_084_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 83-84dB(A), tags (06-22 Uhr)
N084_085_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 84-85dB(A), tags (06-22 Uhr)
N085_086_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 85-86dB(A), tags (06-22 Uhr)
N086_087_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 86-87dB(A), tags (06-22 Uhr)
N087_088_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 87-88dB(A), tags (06-22 Uhr)
N088_089_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 88-89dB(A), tags (06-22 Uhr)
N089_090_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 89-90dB(A), tags (06-22 Uhr)
N090_091_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 90-91dB(A), tags (06-22 Uhr)
N091_092_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 91-92dB(A), tags (06-22 Uhr)
N092_093_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 92-93dB(A), tags (06-22 Uhr)
N093_094_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 93-94dB(A), tags (06-22 Uhr)
N094_095_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 94-95dB(A), tags (06-22 Uhr)
N095_096_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 95-96dB(A), tags (06-22 Uhr)
N096_097_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 96-97dB(A), tags (06-22 Uhr)
N097_098_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 97-98dB(A), tags (06-22 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

N098_099_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 98-99dB(A), tags (06-22 Uhr)
N099_100_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 99-100dB(A), tags (06-22 Uhr)
N100_101_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 100-101dB(A), tags (06-22 Uhr)
N101_102_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 101-102dB(A), tags (06-22 Uhr)
N102_103_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 102-103dB(A), tags (06-22 Uhr)
N103_104_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 103-104dB(A), tags (06-22 Uhr)
N104_105_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 104-105dB(A), tags (06-22 Uhr)
N105_106_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 105-106dB(A), tags (06-22 Uhr)
N106_107_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 106-107dB(A), tags (06-22 Uhr)
N107_108_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 107-108dB(A), tags (06-22 Uhr)
N108_109_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 108-109dB(A), tags (06-22 Uhr)
N109_110_06_22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 109-110dB(A), tags (06-22 Uhr)
N020_050_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 20-50dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N050_051_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 50-51dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N051_052_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 51-52dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N052_053_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 52-53dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N053_054_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 53-54dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N054_055_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 54-55dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N055_056_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 55-56dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N056_057_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 56-57dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N057_058_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 57-58dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N058_059_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 58-59dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N059_060_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 59-60dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N060_061_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 60-61dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N061_062_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 61-62dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N062_063_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 62-63dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N063_064_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 63-64dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N064_065_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 64-65dB(A), nachts (22-06 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

N065_066_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 65-66dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N066_067_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 66-67dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N067_068_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 67-68dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N068_069_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 68-69dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N069_070_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 69-70dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N070_071_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 70-71dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N071_072_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 71-72dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N072_073_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 72-73dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N073_074_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 73-74dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N074_075_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 74-75dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N075_076_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 75-76dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N076_077_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 76-77dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N077_078_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 77-78dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N078_079_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 78-79dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N079_080_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 79-80dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N080_081_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 80-81dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N081_082_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 81-82dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N082_083_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 82-83dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N083_084_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 83-84dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N084_085_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 84-85dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N085_086_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 85-86dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N086_087_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 86-87dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N087_088_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 87-88dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N088_089_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 88-89dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N089_090_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 89-90dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N090_091_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 90-91dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N091_092_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 91-92dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N092_093_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 92-93dB(A), nachts (22-06 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche monatsweise

N093_094_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 93-94dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N094_095_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 94-95dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N095_096_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 95-96dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N096_097_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 96-97dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N097_098_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 97-98dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N098_099_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 98-99dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N099_100_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 99-100dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N100_101_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 100-101dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N101_102_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 101-102dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N102_103_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 102-103dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N103_104_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 103-104dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N104_105_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 104-105dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N105_106_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 105-106dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N106_107_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 106-107dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N107_108_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 107-108dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N108_109_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 108-109dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N109_110_22_06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 109-110dB(A), nachts (22-06 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche halbjährlich und jährlich

ID	Identifikationsnummer
BLDG_GEOID	Georeferenzierte Gebäude Identifikationsnummer
LpASeq_05_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 05-06 Uhr
LpASeq_06_07	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-07 Uhr
LpASeq_07_08	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 07-08 Uhr
LpASeq_08_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-18 Uhr
LpASeq_18_19	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-19 Uhr
LpASeq_19_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 19-22 Uhr
LpASeq_22_23	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-23 Uhr
LpASeq_23_05	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 23-05 Uhr
LpASeq_06_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr
LpASeq_18_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
LpASeq_06_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpASeq_22_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
LpASeq_00_24	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 00-24 Uhr
LDEN	Tag-Abend-Nacht Index vor der Außenfassade

Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche jährlich

ID	Identifikationsnummer
BLDG_GEOID	Georeferenzierte Gebäude Identifikationsnummer
Fassadenausrichtung	Angabe der „lautesten“ Fassadenseite
LpAFeq_06_18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr
LpAFeq_18_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
LpAFeq_06_22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpAFeq_22_06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
LpAFeq_00_24	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 00-24 Uhr
LDEN	Tag-Abend-Nacht Index vor der Außenfassade
LpAFmax	Maximalpegel $L_{pAF,max}$ vor der Außenfassade

Verzeichnisse der akustischen Kenngrößen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche aus Studienmodul 2

Luftverkehrsgeräusche in der akustischen Krankenkassendatenbank

Lärmhistorie 1997 - 2010

geobid	Georeferenzierte Gebäude (Building) Identifikationsnummer
ep_rast	Einzelpunktberechnung = 1 Rasterberechnung = 2
-	Abschneidekriterium $l_{mftf}/l_{mfnf} < 40\text{dB(A)}$, Gilt für tags (06-22Uhr) und nachts (22-06Uhr)
-	Abschneidekriterium $l_{maxftf}/l_{maxfnf} < 50\text{dB(A)}$, Gilt für tags (06-22Uhr) und nachts (22-06Uhr)
l_{mftfjj}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
l_{mfnfjj}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
$l_{maxftfjj}$	Maximalpegel $L_{pAS,max}$, gebildet aus 6 Überschreitungshäufigkeiten, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
$l_{maxfnfjj}$	Maximalpegel $L_{pAS,max}$, gebildet aus 6 Überschreitungshäufigkeiten, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n020_050ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklassen 20-50dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n050_055ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 50-55dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n055_060ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 55-60dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n060_065ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 60-65dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n065_070ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 65-70dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n070_075ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 70-75dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n075_080ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 75-80dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n080_085ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 80-85dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n085_090ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 85-90dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl

Luftverkehrsgeräusche in der akustischen Krankenkassendatenbank

Lärmhistorie 1997 - 2010

	(06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n090_095ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 90-95dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n095_100ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 95-100dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n100_105ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 100-105dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n105_110ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 105-110dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n020_050fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklassen kleiner 50dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n050_055fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 50-55dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n055_060fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 55-60dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n060_065fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 60-65dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n065_070fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 65-70dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n070_075fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 70-75dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n075_080fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 75-80dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n080_085fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 80-85dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n085_090fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 85-90dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n090_095fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 90-95dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n095_100fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 95-100dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n100_105fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 100-105dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n105_110fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 105-110dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl

Straßen- und Schienenverkehrslärm in der akustischen Krankenkassendatenbank Lärmhistorie 1997 – 2010 sowie Referenzjahr 2005

geobid	Georeferenzierte Gebäude (Building) Identifikationsnummer
rchtg_a	Ausrichtung der „lautesten“ Fassadenseite Straßenverkehrslärm (Auto)
rchtg_z	Ausrichtung der „lautesten“ Fassadenseite Schienenverkehrslärm (Zug)
lmftajj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Straßenverkehrslärm (Auto) ; jj: Jahreszahl
lmfnajj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Straßenverkehrslärm (Auto) ; jj: Jahreszahl
lmaxftajj	Maximalpegel $L_{pAF,max}$, lauteste Fassade, t dient als Platzhalter für einheitliche Zeichenzahl, Straßenverkehrslärm (Auto) ; jj: Jahreszahl
lmftzjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Schienenverkehrslärm (Güterzug) ; jj: Jahreszahl
lmfnzjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Schienenverkehrslärm (Güterzug) ; jj: Jahreszahl
lmaxftzjj	Maximalpegel $L_{pAF,max}$, lauteste Fassade, t dient als Platzhalter für einheitliche Zeichenzahl, Schienenverkehrslärm (Güterzug) ; jj: Jahreszahl

Luftverkehrsgeräusche in der akustischen Krankenkassendatenbank Referenzjahr 2005

geobid	Georeferenzierte Gebäude (Building) Identifikationsnummer
ep_rast	Einzelpunktberechnung = 1 Rasterberechnung = 2
guete20	Immissionsort innerhalb 20km Radius um AIP = 3 Immissionsort außerhalb 20km Radius um AIP = 4
x	Keine Angaben zur Maximalpegelstatistik vorhanden
lmf01fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 01 (08-19Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf02fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 02 (19-20Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf03fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 03 (20-21Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf04fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 04 (21-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf05fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 05 (22-23Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf06fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 06 (23-24Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf07fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 07 (24-01Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf08fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 08 (01-02Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf09fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 09 (02-03Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf10fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 10 (03-04Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf11fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 11 (04-05Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf12fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 12 (05-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf13fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 13 (06-07Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
lmf14fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich 14 (07-08Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl

Luftverkehrsgeräusche in der akustischen Krankenkassendatenbank Referenzjahr 2005

Imf723fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich (07-23Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imf237fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich (23-07Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imf523fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich (05-23Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imf235fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich (23-05Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imf024fjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, Zeitbereich (00-24Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imfdnfjj	Mittelungspegel L_{dn} , lauteste Fassade, mit 10 dB Zuschlag für die Nacht, Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imftfjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imfnfjj	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imaxftfjj	Maximalpegel $L_{pAS,max}$, lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
Imaxfnfjj	Maximalpegel $L_{pAS,max}$, lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n020_050ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklassen kleiner 50dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n050_055ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 50-55dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n055_060ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 55-60dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n060_065ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 60-65dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n065_070ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 65-70dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n070_075ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 70-75dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n075_080ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 75-80dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n080_085ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 80-85dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl

Luftverkehrsgeräusche in der akustischen Krankenkassendatenbank Referenzjahr 2005

n085_090ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 85-90dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n090_095ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 90-95dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n095_100ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 95-100dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n100_105ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 100-105dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n105_110ftfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 105-110dB(A), lauteste Fassade, tags (06-22Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n020_050fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklassen kleiner 50dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n050_055fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 50-55dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n055_060fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 55-60dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n060_065fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 60-65dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n065_070fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 65-70dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n070_075fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 70-75dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n075_080fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 75-80dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n080_085fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 80-85dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n085_-090fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 85-90dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n090_095fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 90-95dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n095_100fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 95-100dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n100_105fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 100-105dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl
n105_110fnfjj	Maximalpegelhäufigkeit n der Pegelklasse 105-110dB(A), lauteste Fassade, nachts (22-06Uhr), Fluglärm; jj: Jahreszahl

Verzeichnisse der akustischen Kenngrößen für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsräusche aus Studienmodul 3

Luftverkehrsgeräusche an den Wohnorten der 1309 Probanden

Experimentalgruppe	Codierung
LpAS,eq,A,05-06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 05-06 Uhr
LpAS,eq,A,06-08	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-08 Uhr
LpAS,eq,A,08-14	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-14 Uhr
LpAS,eq,A,14-18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 14-18 Uhr
LpAS,eq,A,18-20	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-20 Uhr
LpAS,eq,A,20-22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 20-22 Uhr
LpAS,eq,A,22-23	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-23 Uhr
LpAS,eq,A,23-05	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 23-05 Uhr
LpAS,eq,A,06-18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr
LpAS,eq,A,18-22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
LDEN	Tag-Abend-Nacht Index vor der Außenfassade
LpAS,eq,A,06-22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpAS,eq,A,22-06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
LpASmax,A,06-22	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LpASmax,A,22-06	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
Maximalpegelstatistik	
N20-50,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 20-50dB(A), tags (06-22 Uhr)
N50-55,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 50-55dB(A), tags (06-22 Uhr)
N55-60,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 55-60dB(A), tags (06-22 Uhr)
N60-65,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 60-65dB(A), tags (06-22 Uhr)
N65-70,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 65-70dB(A), tags (06-22 Uhr)
N70-75,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 70-75dB(A), tags (06-22 Uhr)
N75-80,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 75-80dB(A), tags (06-22 Uhr)
N80-85,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 80-85dB(A), tags (06-22 Uhr)
N85-90,06-22	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 85-90dB(A), tags (06-22 Uhr)

Luftverkehrsgeräusche an den Wohnorten der 1309 Probanden

N90-95,06-22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 90-95dB(A), tags (06-22 Uhr)
N95-100,06-22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 95-100dB(A), tags (06-22 Uhr)
N100-105,06-22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 100-105dB(A), tags (06-22 Uhr)
N105-110,06-22	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 105-110dB(A), tags (06-22 Uhr)
N20-50,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklassen 20-50dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N50-55,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 50-55dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N55-60,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 55-60dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N60-65,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 60-65dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N65-70,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 65-70dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N70-75,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 70-75dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N75-80,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 75-80dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N80-85,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 80-85dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N85-90,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 85-90dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N90-95,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 90-95dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N95-100,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 95-100dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N100-105,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 100-105dB(A), nachts (22-06 Uhr)
N105-110,22-06	Maximalpegelhäufigkeit <i>N</i> der Pegelklasse 105-110dB(A), nachts (22-06 Uhr)

Straßen- und Schienenverkehrsgeschäus an den Wohnorte der 1309 Probanden

Fassadenausrichtung	Angabe der „lautesten“ Fassadenseite
LpAF,eq,A,06-18	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr
LpAF,eq,A,18-22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
LpAF,eq,A,22-06	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
LpAF,eq,A,06-22	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
LDEN	Tag-Abend-Nacht Index vor der Außenfassade
LpAFmax,A	Maximalpegel $L_{pAF,max}$ vor der Außenfassade

Luftverkehrsgeschäus für 85 Klassenräume

Experimentalgruppe	Codierung
LpAS,eq,A,08-14	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-14 Uhr
LpASmax,A,08-14	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 08-14 Uhr
LpAS,eq,I,08-14	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ im Innenraum im Zeitbereich 08-14 Uhr
LpASmax,I,08-14	Maximalpegel $L_{pAS,max}$ im Innenraum im Zeitbereich 08-14 Uhr

Maximalpegelstatistik,A

N20-50,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 20-50dB(A), tags (08-14 Uhr)
N50-55,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 50-55dB(A), tags (08-14 Uhr)
N55-60,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 55-60dB(A), tags (08-14 Uhr)
N60-65,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 60-65dB(A), tags (08-14 Uhr)
N65-70,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 65-70dB(A), tags (08-14 Uhr)
N70-75,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 70-75dB(A), tags (08-14 Uhr)
N75-80,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 75-80dB(A), tags (08-14 Uhr)
N80-85,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 80-85dB(A), tags (08-14 Uhr)
N85-90,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 85-90dB(A), tags (08-14 Uhr)
N90-95,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 90-95dB(A), tags (08-14 Uhr)
N95-100,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 95-100dB(A), tags (08-14 Uhr)
N100-105,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 100-105dB(A), tags (08-14 Uhr)
N105-110,08-14	Maximalpegelhäufigkeit N der Pegelklasse 105-110dB(A), tags (08-14 Uhr)

Innenpegelkorrektur für 85 Klassenräume

R' _{w,res}	Resultierendes bewertetes Bau-Schalldämm-Maß
T ₃₀	Nachhallzeit
La-Li	Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel

Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche für 85 Klassenräume

Fassadenausrichtung	Angabe der „lautesten“ Fassadenseite
L _{pAF,eq,A,06-18}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-18 Uhr
L _{pAF,eq,A,18-22}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 18-22 Uhr
L _{pAF,eq,A,22-06}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 22-06 Uhr
L _{pAF,eq,A,06-22}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ vor der Außenfassade im Zeitbereich 06-22 Uhr
L _{pAF,eq,I,06-18}	Mittelungspegel $L_{pA,eq}$ im Innenraum im Zeitbereich 06-18 Uhr
L _{pAFmax,A}	Maximalpegel $L_{pAF,max}$ vor der Außenfassade
L _{pAFmax,I}	Maximalpegel $L_{pAF,max}$ im Innenraum

Anhang 17: Messung und Berechnung frequenzabhängiger Nachhallzeiten in den Klassenräumen durch das Hörzentrum Oldenburg

Die frequenzabhängige Nachhallzeit wurde erfasst, um eine weitere Wirkvariable hinsichtlich auditiver Funktionen quantifizieren zu können und somit konfundierende Effekte durch die Klassenraumakustik ausschließen zu können. Die frequenzabhängigen Nachhallzeiten wurden im unbesetzten Klassenraum mittels eines einfachen Screening-Verfahrens erfasst. Dies geschah durch Impulsschallanregung mit Hilfe einer akustischen Starterklappe an vier Positionen im Raum (Senderpositionen: 4, Empfängerpositionen: 2). Für jeden Klassenraum wird über die acht Messungen gemittelt.

Die Einordnung der Nachhallzeiten erfolgt nach der DIN 18041:2004 als Richtlinie zur Anforderung an die raumakustische Gestaltung von Klassenräumen. Die Nachhallzeit T ist die Dauer zwischen dem Abschalten der Schallquelle und dem Zeitpunkt, an dem die räumlich gemittelte Schallenergiedichte um 60 dB abgenommen hat (DIN EN ISO 3382-2:2008; die DIN 18041:2004 verweist aber auf die in diesem Punkt übereinstimmende Vorgängerversion DIN EN ISO 3382:2000). Die Nachhallzeit T kann aus einem kleineren Dynamik-Bereich als 60 dB ermittelt und auf eine Abklingzeit bei 60 dB extrapoliert werden. Sie wird dann entsprechend gekennzeichnet. Wird T aus der Zeit genommen, in der die Abklingkurve erstmalig die Werte 5 dB und 35 dB unter dem Anfangspegel erreicht, wird sie als T_{30} bezeichnet (Ziffer 3.5, Anmerkung 2 der DIN EN ISO 3382-2:2008). In der vorliegenden Studie wurde generell die Messgröße T_{30} verwendet.

Im Rahmen vor der Feldphase durchgeführter Messungen wurde überprüft, inwieweit sich die Starterklappe zur Impulsschallanregung eignet. Dazu wurde eine Vergleichsmessung mit einem omnidirektionalen Lautsprecher 4295 der Firma B&K mit Rauschanregung (verwendeter Verstärker: Audio Power Amplifier Type 2716, Hersteller B&K) durchgeführt. Die Vergleichsmessungen zeigten, dass die Nachhallzeiten (T_{30}) nur gering voneinander abweichen (Akustische Klappe: $T_{30\ 250\text{ Hz}-2\text{ kHz}} = 0,57\text{ sec.}$, Lautsprecher: $T_{30\ 250\text{ Hz}-2\text{ kHz}} = 0,60\text{ s}$).

Es wurde ein Matlab basiertes GUI (Graphical User Interface)-Tool zur einfachen Aufnahme von Nachhallzeiten entwickelt. Eine rote bzw. grüne Anzeige (GUI) zeigt dem Versuchsleiter an, ob ggf. eine Unter- oder Übersteuerung des Signals (rotes Feld) oder eine korrekte Aussteuerung des Impulssignals (grünes Feld) stattgefunden hat. Die sechs Signale werden als Mono-Wave-File abgespeichert. Die Auswertungen erfolgen instantan mittels DIRAC Room Acoustics Software Type 7841.

Die gemittelten Werte (T_{30} : 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2kHz) wurden gemäß der DIN 18041 in Abhängigkeit des Raumvolumens ($\pm 20\%$) ausgewertet. Die Sollnachhallzeit T_{soll} berechnet sich nach der in der DIN 18041 genannten Formel für die Situation „Unterricht“:

$$T_{\text{soll}} = \left(0,32 \lg \frac{V}{\text{m}^3} - 0,17 \right) \text{s}$$

Dabei ist

- V das effektive Raumvolumen angegeben in m^3
 s Einheit der Sollnachhallzeit: Sekunden

Die Sollnachhallzeit sollte mit einer Genauigkeit von $\pm 20\%$ eingehalten werden (entspricht der maximalen Sollnachhallzeit $T_{\text{soll,max}}$). Bei einer gemessenen Nachhallzeit unterhalb der maximalen Sollnachhallzeit $T_{\text{soll,max}}$ wird der Raum für gut befunden (grün). Die Werte der gemessenen Klassenräume rangierten von $T_{30_{250\text{Hz}-2\text{kHz}}} = 0,39$ bis $0,67$ s. Ein Klassenraum mit einer Nachhallzeit im Bereich $T_{\text{soll,max}} < T_{\text{gemessen}} < 1$ s weist geringe bis mittlere Abweichungen von der DIN 18041 auf (gelb). Die berechnete Sollmaximalzeitspanne rangierte von $T_{30_{250\text{Hz}-2\text{kHz}}} 0,64$ - $0,77$ s. Nachhallzeiten, welche gleich oder oberhalb von 1 s liegen, werden als stark auffällig eingestuft (rot). Für die Differenzierung des gelben und roten Bereiches liegen keine verbindlichen Richtlinien vor, jedoch ist aus empirischen Untersuchungen bekannt, dass ab 1 s Nachhallzeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen von einer deutlich subjektiv empfundenen akustischen Unbehaglichkeit mit einhergehenden Leistungsbeeinträchtigungen auszugehen ist (Klatte et al., 2010a,b).

Ergebnisse der Nachhallzeitmessungen

Es wurden insgesamt 81 Klassenräume von 84 Klassenräumen vermessen. Drei Klassenräume wurden nicht vermessen, da diese Räume erst wenige Wochen von den Schülerinnen und Schülern genutzt wurden und es daher nicht plausibel ist, dass raumakustisch bedingte Wirkungen auf das Verhalten von Kindern und Lehrkräften aufgetreten sein können.

Nachfolgende Abbildung zeigt das Histogramm der 81 Klassenräume. Die Nachhallzeit $T_{30_{250\text{Hz}-2\text{kHz}}}$ betrug gemittelt über alle Klassenräume $T_M = 0,65$ s ($T_{SD} = 0,23$ s), bei einem Medianwert von $T_{Md} = 0,56$ s.

Histogramm und Summenhäufigkeit der IST-Nachhallzeit

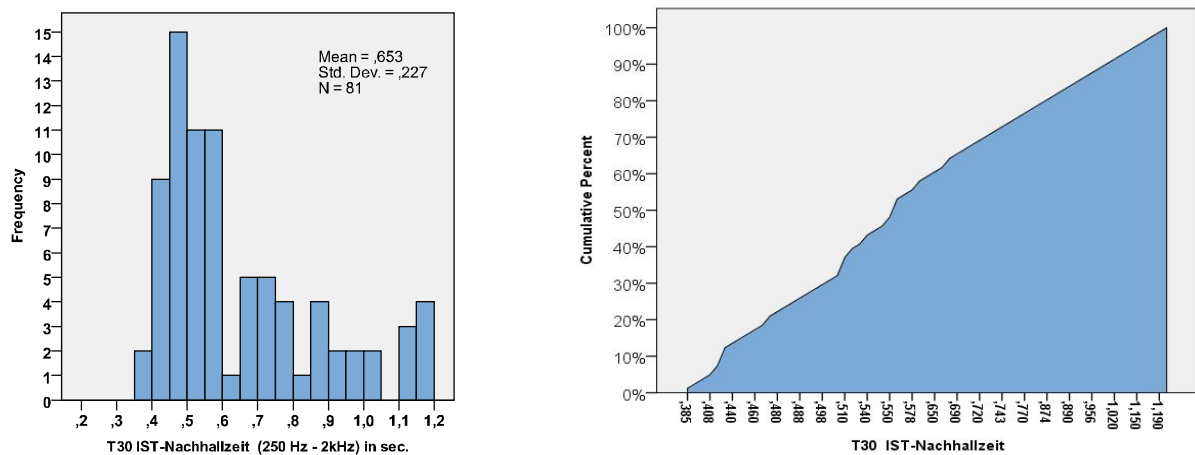


Abbildung A-69: Histogramm und Summenhäufigkeit der $T30_{250\text{Hz}-2\text{kHz}}$ IST Nachhallzeiten der 81 Klassenräume (der Mittelwert bezieht sich auf die arithmetische Mittelung der $T30_{250\text{Hz}-2\text{kHz}}$ IST Nachhallzeiten).

Entscheidend ist aber nicht nur die gemessene IST-Nachhallzeit, sondern auch die Qualifizierung nach DIN 18041. Dies betrifft insbesondere die Volumenabhängigkeit der Nachhallzeit. Die Räume wurden eingeteilt nach „DIN 18041 normkonform“ (grün), eine „geringe bis mittlere Abweichung“ (gelb) und „stark auffällige Abweichung“ (rot). Nachfolgend sind die Prozentwerte der drei Kategorien zu entnehmen.

Bewertungskategorien der Nachhallzeit der 81 Klassenräume

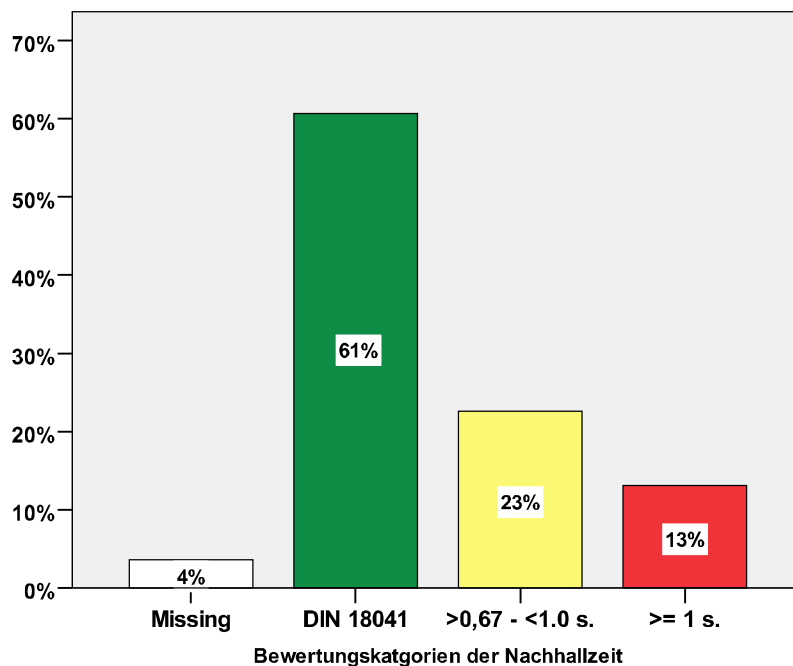


Abbildung A-70: Prozentwerte der raumakustischen Bewertung nach DIN 18041

Bezogen auf die 81 Klassenräume sind 51 (63 %) der Klassenräume als DIN-18041 konform anzusehen. 19 (23,5 %) weisen eine „geringe bis mittlere“ Abweichung und 11 (13,5 %) eine „stark auffällige“ Abweichung auf.

Die Nachhallzeiten in den Klassenräumen korrelierten nicht mit den Fluglärmpegeln am Schulstandort ($L_{pAS,eq,08-14}$) ($r = -0,15$, $p < 0,19$) und nicht mit den Leseleistungen der Kinder auf Wort-, Satz- und Textebene sowie im Gesamttest (aggregiert auf Klassenebene, $N = 85$, sowie nicht-aggregierte Daten, $N = 1.170$; vgl. nachfolgende Tabelle). Da somit ein konfundierender Einfluss ausgeschlossen werden kann, wurden die Klassenraum-Nachhallzeiten nicht in die Analysen der Fluglärmwirkungen aufgenommen. Die Berücksichtigung der Nachhallzeiten hätte wegen fehlender Werte den Ausschluss von drei Schulklassen (eine Schule) aus den Analysen zur Folge gehabt.

Tabelle A-24: Korrelationen zwischen den Nachhallzeiten im Klassenraum und den Leseleistungen der Kinder (aggregiert: Klassenebene; nicht aggregiert: Individualebene)

	Wortlesen		Satzlesen		Textlesen		Gesamttest	
	aggregiert	nicht aggregiert	aggregiert	nicht aggregiert	aggregiert	nicht aggregiert	aggregiert	nicht aggregiert
Korrelation $\textcircled{R}$	-0,12	-0,009	-0,05	-0,007	-0,11	0,02	-0,10	0,001
Signifikanz (p)	0,29	0,77	0,67	0,81	0,30	0,45	0,37	0,99

Anhang 18: Berichte der AVIA-Consult zu den Flug- lärmberechnungen am Flughafen Köln/Bonn, Flugha- fen Stuttgart und Flughafen Berlin/Schönefeld



NORAH

Bericht über die Durchführung der Fluglärmrechnungen am Flughafen Köln/Bonn

Auftraggeber: **Ruhr-Universität Bochum**
 Fakultät für Psychologie
 Universitätsstraße 150
 D-44801 Bochum

Auftragnehmer: **AVIA Consult GmbH**
 Ingenieurbüro für Flugplatzplanung
 und Fluglärmberatung
 Bahnhofstraße 15
 15344 Strausberg

Erarbeiter:	Dipl.-Ing. Rüdiger Bartel	Projektleiter
	Dipl.-Ing. Bernd Scheiber	

Inhalt

	Seite
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung	5
2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes	5
2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen	6
3. Ausgangsangaben für die Berechnungen	14
4. Ergebnisse der Berechnungen	16
4.1 Bewertung der Ergebnisunsicherheiten der Berechnungsergebnisse	16
4.2 Auswirkung auf die Fluglärmkonturen	17
5. Glossar	20
6. Quellenverzeichnis	21

Anlage 1 Kartografische Darstellung der Flugverfahren Fluglärmkonturen

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Durch das Land Hessen wurde eine Studie mit dem Ziel in Auftrag gegeben, eine möglichst repräsentative und wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Auswirkungen des Lärms von Flug-, Schienen- und Straßenverkehr im Rhein-Main-Gebiet auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung zu erhalten.

Im Rahmen der dazu erforderlichen Arbeiten sollen auch Vergleichsuntersuchungen im Umfeld der Flughäfen Berlin Schönefeld bzw. Berlin International (BER), Köln/Bonn und Stuttgart erfolgen.

AVIA Consult wurde von der mit der fachlichen Projektleitung des Vorhabens beauftragten Ruhruniversität Bochum beauftragt, die Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Fluglärmkonturen zur Auswahl von Probanden auf der Grundlage von vorhandenen Datenerfassungssystemen zur Bestimmung von Lärmschutzbereichen sowie die Erstellung der Datenerfassungssysteme und Durchführung der Fluglärmrechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung an vorgegebenen Probandenadressen für die Flughäfen Berlin, Köln/Bonn und Stuttgart durchzuführen.

Über die Durchführung der Berechnungen ist für jeden Flughafen ein Bericht anzufertigen, der hiermit für den Flughafen Köln/Bonn vorgelegt wird.

Dabei waren folgende Leistungen zu erbringen:

- 1) Ermittlung von Fluglärmkonturen des äquivalenten Dauerschallpegels ab 40 dB(A) in Schritten von 5 dB(A) aufwärts auf der Grundlage des Datenerfassungssystems zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Köln/Bonn für den Tag und die Nacht;
- 2) Ermittlung von Adressen potentieller Probanden durch Verschneidung von übergebenen Hauskoordinaten mit den ermittelten Fluglärmkonturen getrennt für die Pegelbereiche 40 bis 45 dB(A), 45 bis 50 dB(A), 50 bis 55 dB(A) und 55 bis 60 dB(A) jeweils getrennt für Tag und Nacht
- 3) Analyse und Aufbereitung der Angaben zu den Flugbewegungen und Erarbeitung von Datenerfassungssystemen (DES) für den Flughafen Köln/Bonn für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 für die Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Wochenenden und Feiertage“ unterteilt für die Zeitscheiben
05.00 – 06.00 Uhr,
..06.00 – 07.00 Uhr
07.00 – 08.00 Uhr
08.00 – 18.00 Uhr
18.00 – 19.00 Uhr
19.00 – 22.00 Uhr
22.00 – 23.00 Uhr und
23.00 – 05.00 Uhr;
- 4) Durchführung der Fluglärmrechnungen
 - Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} gemäß der AzB und Maximalpegelverteilung an den Probandenadressen auf der Grundlage der unter 3) genannten

- DES,
- Prüfung, Aufbereitung der Ergebnisse und Ablage auf dem Server;
- 5) Zusätzliche Ermittlung der Belastung für den zusammengefassten Zeitraum aller Tage für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 für die o. g. Zeitscheiben;
 - 6) Zusätzliche Ermittlung für zusammengefasste Zeitscheiben gemäß Anforderung vom
 - 06.00 – 22.00 Uhr,
 - ..22.00 – 06.00 Uhr
 - 00.00 – 24.00 Uhr
 - 06.00 – 18.00 Uhr (L_{day})
 - 18.00 – 22.00 Uhr (L_{evening})
 - 00.00 – 24.00 Uhr (L_{den});
 - 7) Erarbeitung des vorliegenden Berichtes über die Durchführung der Fluglärmrechnungen.

Bei der Erarbeitung der DES wurden Rollverkehr, APU-Betrieb und der VFR-Flugbetrieb mit Flugzeugen unter 2 t MTOM nicht berücksichtigt, da diese Quellen keinen relevanten Einfluss auf die Lärmbelastung im Bereich der Probandenadressen haben.

Die Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung erfolgen auf der Grundlage der Bestimmungen des novellierten Fluglärmgesetzes (FluglärmG) in der Fassung vom 31.10.2007 [2] sowie der dazu erlassenen 1. Fluglärmschutzverordnung (1. FlugLSV) vom 27.12.2008 [3].

Das für die Durchführung der Fluglärmrechnungen verwendete Programmpaket ANCAR3 ist eine Eigenentwicklung von AVIA Consult, die vom Umweltbundesamt umfassend geprüft und mit Schreiben vom 11.06.2009 für die Durchführung von Fluglärmrechnungen an zivilen und militärischen Flugplätzen offiziell zugelassen wurde.

2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung

Die Methodik der Berechnung von Schallimmissionen durch Flugverkehr ist in der Anlage zu § 3 des FluglärmG dargestellt. Die grundsätzlichen Bestimmungen zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches sind in der 1. FlugLSV geregelt. Die Einzelheiten der Erfassung der Ausgangsangaben für die Berechnungen und des Berechnungsverfahrens sind in der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) [4] und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) [5] festgelegt, auf welche in der 1. FlugLSV verwiesen wird.

Aus methodischen Gründen erachtet es der Verfasser für sinnvoll, in kurzer Form auf die für die Berechnung des Lärmschutzbereiches geltenden Bestimmungen des FluglärmG und der 1. FlugLSV einzugehen.

2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes

Der im novellierten FluglärmG definierte Lärmschutzbereich wird in zwei Schutzzonen für den Tag und eine Schutzzone für die Nacht gegliedert. Die Werte für diese Schutzzonen liegen deutlich unter den Werten des bisherigen FluglärmG und werden zudem noch nach bestehenden Flugplätzen, neu errichteten bzw. wesentlich baulich erweiterten und nach Militärflugplätzen unterschieden.

Im § 2 des Fluglärmgesetzes werden nachfolgend genannte Schutzzonen definiert:

1. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze:

- | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 55\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | | |
| a) bis zum 31.12.2010: | $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |
| b) ab dem 01.01.2011: | $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A),$ |

2. Werte für bestehende zivile Flugplätze:

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 65\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |

3. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte militärische Flugplätze:

- | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 58\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | | |
| a) bis zum 31.12.2010: | $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |
| b) ab dem 01.01.2011: | $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A),$ |

4. Werte für bestehende militärische Flugplätze:

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 68\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A).$ |

Die Nachtschutzzone bestimmt sich als Umhüllende der Kontur gleicher Pegelhäufigkeit und der Kontur gleichen äquivalenten Dauerschallpegels.

Die angegebenen Pegelwerte für den maximalen A-Schallpegel sind Innenraumwerte, mit einem angenommenen Pegelunterschied von 15 dB(A) gegenüber dem Außenpegel.

Berechnungsmethode des äquivalenten Dauerschallpegels

Gemäß der Anlage zum § 3 des novellierten FluglärmG ist der äquivalente Dauerschallpegel nach folgenden Formeln zu berechnen:

$$L_{Aeq\ Tag} = 10 \lg \left[\frac{0,75}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

und

$$L_{Aeq\ Nacht} = 10 \lg \left[\frac{1,5}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

Hierin bedeuten

- | | |
|------------------|---|
| $L_{Aeq\ Tag}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T tags (06 bis 22 Uhr) in dB(A) |
| $L_{Aeq\ Nacht}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T nachts (22 bis 6 Uhr) in dB(A) |
| $\lg$ | - Logarithmus zur Basis 10 |
| T | - Beurteilungszeit T in s; die Beurteilungszeit umfasst die sechs verkehrsreichsten Monate (180 Tage) des Prognosejahres |
| $\sum_{i=1}^n$ | - Summe über alle Flugbewegungen tags (6 bis 22 Uhr) bzw. nachts (22 bis 6 Uhr) während der Beurteilungszeit T, wobei die prognostizierten Flugbewegungszahlen für die einzelnen Betriebsrichtungen jeweils um einen Zuschlag zur Berücksichtigung der zeitlich variierenden Nutzung der einzelnen Betriebsrichtungen erhöht werden. Für die Tag-Schutzzonen 1 und 2 sowie für die Nacht-Schutzzone beträgt der Zuschlag dreimal die Streuung der Nutzungsanteile der jeweiligen Betriebsrichtung in den zurückliegenden 10 Jahren (3 Sigma). |
| i | - laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses |
| $t_{10,i}$ | - Dauer des Geräusches des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in s (Zeitdauer des Fluglärmereignisses, während der der Schallpegel höchstens 10 dB(A) unter dem höchsten Schallpegel liegt (10 dB-down-time)) |
| $L_{Amax,i}$ | - Maximalwert des Schalldruckpegels des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in dB(A), ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse. |

2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen

Die AzB, auf die in der 1. FlugLSV verwiesen wird, ist die verbindliche Berechnungsvorschrift zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen. Sie enthält die methodischen Vorschriften des Berechnungsalgorithmus, die Definition der in den Berechnungen zu verwendenden Luftfahrzeugklassen und die Datenblätter der Luftfahrzeugklassen jeder Luftfahrzeuggruppe sowie die Vorgaben zur Darstellung der Schutzzonen.

Physikalisch-technische Angaben zu den Luftfahrzeugklassen

Da es praktisch nicht möglich ist, alle auf einem Flugplatz verkehrenden Flugzeuge mit ihren genauen technischen Charakteristika zu erfassen bzw. den Anteil jedes einzelnen Flugzeugtyps an den Flugbewegungen zu prognostizieren, wurden in der AzB bestimmte Luftfahrzeugtypen mit ähnlichen technischen Parametern zu Luftfahrzeuggruppen zusammengefasst, die jeweils in Startklassen (meistens eine, für ausgewählte Gruppen zwei) und eine Landeklasse unterteilt werden. Dabei bilden die für die Schallemission besonders wichtigen Daten, wie Antriebsart, Triebwerksleistung, Startgewicht und Festlegungen der ICAO zu üblichen Flugverfahren, die Grundlage dieser Klassifizierung.

Die in der AzB veröffentlichten physikalisch-technischen Daten der Luftfahrzeugklassen bilden eine der wesentlichen Grundlagen für die Durchführung verschiedener Berechnungen zur Beurteilung der Fluglärmbelastung.

Ausgehend von den von Berlin Brandenburg GmbH zur Verfügung gestellten Ausgangsangaben und den in der Aufgabenstellung angeführten Beschränkungen werden in den Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung im Umfeld von SXF die in der Tabelle 2.2.1 definierten Flugzeuggruppen berücksichtigt.

Tabelle 2.2.1 Am Flughafen SXF operierende Luftfahrzeuggruppen gemäß AzB

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
1	P 1.4	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 2 bis 5,7 t	Piper PA-42, Cessna 421
2	P 2.1	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3, Kapitel 4 oder Kapitel 10 entsprechen	ATR-42, Dash-8, DO-328
3	P 2.2	Propeller Flugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die nicht der Luftfahrzeuggruppe P 2.1 zugeordnet werden können	An-24
4	S 1.0	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 34 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 entsprechen.	Falcon, Gulfstream 2
5	S 1.2	Luftfahrzeuge des Luftfahrzeugmusters Boeing 737, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 entsprechen.	B-737-200
6	S 5.1	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 50 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen	BAe-146, LJ 60, Citation
7	S 5.2	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis größer als 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 319, A 320, B-737, B-757

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
8	S 5.3	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis bis 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	B-737-200, MD-81
9	S 6.1	Strahlflugzeuge mit zwei Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 310, A 330, B-767
10	S 6.2	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t bis 300 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden. Das Luftfahrzeugmuster Airbus A340 ist von dieser Gruppe ausgenommen, da es in der Gruppe S 6.3 gesondert erfasst wird. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2	C-17, DC-10, KC-10, MD-11
11	S 6.3	Luftfahrzeuge des Luftfahrzeugmusters Airbus A340	A 340
12	S 7.0	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 300 t bis 500 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7	B 747, AN-124
13	P-MIL 2	militärische Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t	C-160

Kurzdarstellung des neuen Berechnungsmodells

Zur Berechnung der Kenngrößen der Lärmbelastung wird ein Segmentierungsverfahren angewendet, das auf einer geeigneten Zerlegung der dreidimensionalen Flugbahn des Luftfahrzeugs in lineare Segmente basiert. Von jedem dieser Segmente trägt das Luftfahrzeug mit einem Beitrag E_i zur Schallexposition E an einem Immissionsort P bei. Das Segmentierungsverfahren ist in der nachfolgenden Abbildung 2.2.1 schematisch für den zweidimensionalen Fall dargestellt.

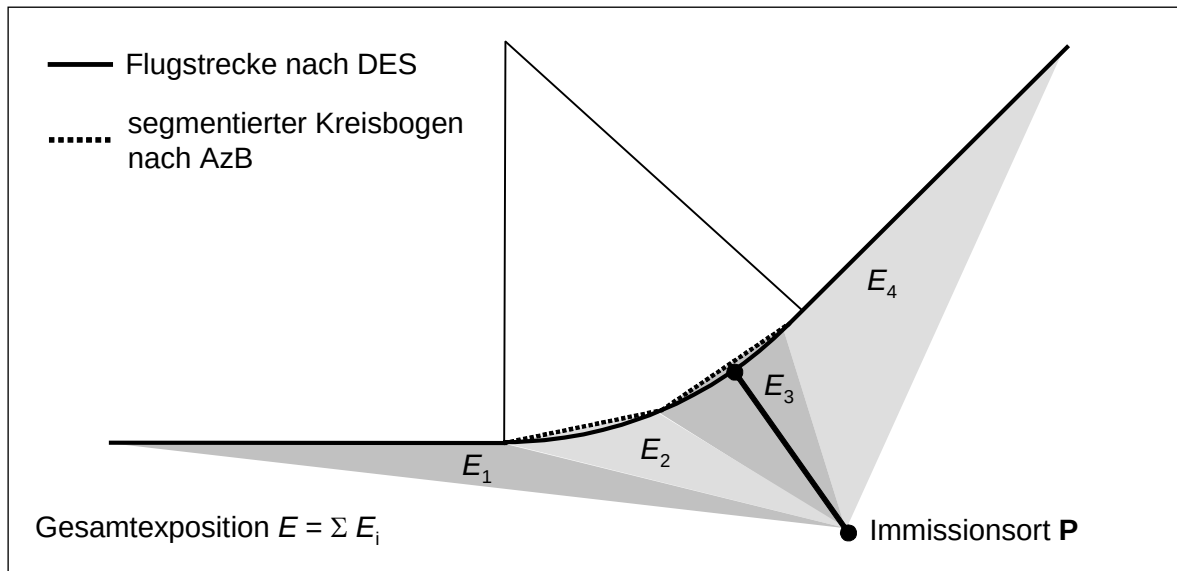


Abbildung 2.2.1 Prinzip der Segmentierung am Beispiel der Zerlegung eines kreisbogenförmigen Flugstreckensegments in zwei lineare Teilsegmente

Die äquivalenten Dauerschallpegel für die Tages- und Nachtzeit ergeben sich aus

$$L_{pASeq,Tag} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1,5 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Tag}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \text{ dB} \quad (1)$$

$$L_{pASeq,Nacht} = 10 \cdot \lg \left[\frac{3 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Nacht}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

für die sechs verkehrsreichsten Monate des Prognosejahres.

mit:

$L_{pASeq,Tag}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)
$L_{pASeq,Nacht}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)
T_E	Erhebungszeit in s ($T_E = 1,5552 \cdot 10^7$ s, d. h. 180 Tage)
T_0	Bezugszeit ($T_0 = 1$ s)

Σ	Summe über alle Flugbewegungen während der Erhebungszeit T_E
N_{Tag}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 6.00 und 22.00 Uhr
N_{Nacht}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 22.00 und 6.00 Uhr
i	hier: laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses
$L_{pAE,i}$	A-bewerteter Schallexpositionspegel, ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse

Das der neuen AzB zu Grunde liegende Modell geht von der Annahme einer bewegten Punktschallquelle aus, für die an jedem Punkt der Bahn die Schallleistung, die Geschwindigkeit sowie die Abstrahlcharakteristik bekannt sind. Die bewegte Punktschallquelle wird hier durch eine Linienschallquelle nachgebildet, die für die Berechnung der benötigten Immissionskenngrößen verwendet wird. Die einzelnen sich bewegenden Schallquellen repräsentieren die Luftfahrzeugklassen der AzB.

Zur Ermittlung der äquivalenten Dauerschallpegel sowie des Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums an einem Immissionsort müssen die Beiträge aller im DES angegebenen Luftfahrzeugklassen in Form des Schallleistungsexpositionspegels L_{pAE} und des Maximalschalldruckpegels $L_{pAS,max}$ bestimmt werden.

Segmentierung der Flugbahn

Um das Modell der Linienschallquelle anwenden zu können, ist es zunächst notwendig, die dreidimensionale Flugbahn des betrachteten Luftfahrzeugs in geeigneter Form in eine Reihe von geradlinigen Segmenten zu zerlegen. Wie dies zu geschehen hat, ist in Abbildung 2.2.2 schematisch dargestellt.

Die dreidimensionale Flugbahn wird durch ihren Verlauf in der Bezugsebene sowie durch ein vertikales Flughöhenprofil (repräsentiert durch den Datensatz $H(\sigma')$ - siehe auch Abb. 2.2.2 unterer Teil) beschrieben. Diese Flugbahn wird in drei Schritten zerlegt:

1. Der erste Schritt der Segmentierung ist die Zerlegung der Flugstrecke bzw. des Flugweges. Bei der Berechnung werden alle im DES beschriebenen Flugstrecken berücksichtigt. Jede dieser Flugstrecken ist durch eine Folge von Abschnitten (Geraden, Kreisbögen) dargestellt. Kreisbögen werden in Sehnenstücke mit Bogenwinkeln von maximal 15° unterteilt. Dabei muss die Sehnenlänge ≤ 100 m sein. Dadurch ergibt sich eine Folge von geradlinigen Streckenteilabschnitten.
2. Die den jeweiligen Luftfahrzeugklassen zugeordneten Vertikalprofile stellen ebenfalls eine Folge von linearen Teilstücken dar, die als Profilsegmente bezeichnet werden. Art und Länge der Profilsegmente ergeben sich aus den Datenblättern der Luftfahrzeugklassen. Im zweiten Schritt wird nun die segmentierte Flugstrecke mit dem Flugprofil verschnitten. Daraus resultiert eine Folge von Flugbahnsegmenten, die als Grundlage der Berechnung dienen.
3. Im dritten Schritt werden aus den Bahnsegmenten durch Belegung mit luftfahrzeugklassenspezifischen Emissionen Bahnsegmente generiert. Es muss in so viele gleich lange Teilsegmente unterteilt werden, bis die Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposi-

tion L_{WAE}' aufeinander folgender Bahnteilsegmente sich in keinem Fall um mehr als 1 dB unterscheiden. Die Bahnteilsegmente gehen dann als Schallquellen in die Berechnung ein.

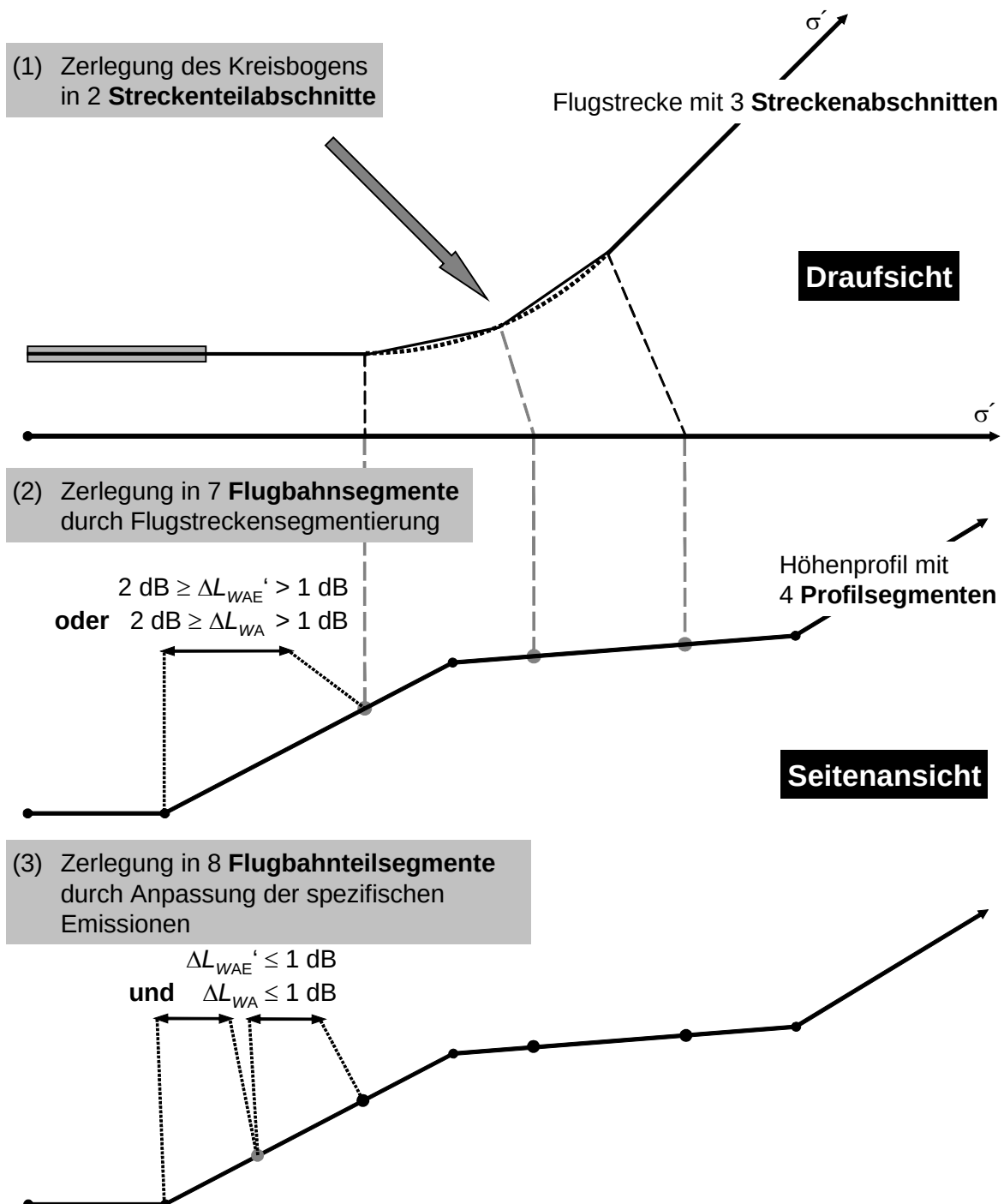


Abbildung 2.2.2 Prinzip des Segmentierungsverfahrens: σ' ist die Bogenlänge der Flugstrecke, $\Delta L_{WAE}'$ ist die Differenz des längenbezogenen Schallleistungsexpositionspegels zwischen zwei Bahnteilsegmenten

Bei Vorhandensein eines Flugkorridors werden der segmentierten Flugstrecke in Abhängigkeit von der Korridorbreite äquidistant verlaufende Flugwege zugeordnet. Bei Berechnungen gemäß AzB ist der Korridor in 15 gleichbreite Teilkorridore zu unterteilen, deren Mittellinie als Flugweg bezeichnet wird.

Die Flugwege liegen damit ebenfalls in segmentierter Form vor (Schritt 1). Die Werte der Kenngrößen $Z(\sigma')$, $V(\sigma')$ und $H(\sigma')$ an den Segmentenden der Flugwege werden von den zugehörigen Segmentenden der Flugstrecke (Flugweg 1) übernommen. Die weitere Segmentierung erfolgt wie in den Schritten 2 und 3 beschrieben (siehe dazu auch Abb. 2.2.2).

Generierung von Teilstücken

Beträgt die Länge eines Flugbahnteilsegmentes mehr als $1/10$ des kürzesten Abstandes r_0 eines Immissionsortes **P** zum Flugbahnteilsegment, so muss dieses Segment in Teilstücke unterteilt werden (Abbildung 2.2.3). Für den Fall $r_0 < 10$ m wird $r_0 = 10$ m gesetzt.

Die Teilung erfolgt ausgehend vom Punkt **Q**₀ auf der Basis des kürzesten Abstandes r_0 zum Flugbahnteilsegment durch sukzessive Bildung von Teilstücken, die der Bedingung

$$\frac{l_i}{r_i} = 0,1$$

genügen müssen. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene und es kann ein Lot mit dem Fußpunkt **Q**₀ von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ symmetrisch in Richtung auf die Segmentenden (symmetrische Teilstückbildung). Der Punkt **Q**₀ liegt in der Regel in der Mitte des Teilstückes mit der Länge l_0 .
- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene, aber es kann kein Lot von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ in Richtung auf das Segmentende. Das erste Teilstück erhält die Länge $l_0/2$.
- Es kann keine Ebene zwischen Immissionsort und Flugbahnteilsegment aufgespannt werden (dieser Fall kann nur auftreten, wenn der Immissionsort direkt hinter der Landebahn in Höhe der Schallquelle liegt). In diesem Fall erfolgt die Teilung nach Teilbild c) von Abbildung 2.2.3. Auch hier erhält das erste Teilstück nur die Länge $l_0/2$.

Bei der Bildung von Teilstücken ergeben sich in der Regel an den Segmentenden Teilstücke, die kürzer sind als gefordert.

Bei der Immissionsberechnung wird jedes Teilstück durch eine Punktschallquelle **Q**_i in ihrem Mittelpunkt ersetzt. In den Fällen, in denen kein Lot auf das Flugbahnteilsegment gefällt werden kann (Fälle b) und c) nach Abbildung 2.2.3), wird die Punktschallquelle im ersten Teilstück auf den Punkt **Q**₀ gelegt. Dadurch werden Fehler bei der Bestimmung des Maximalpegels minimiert (es ist immer $r_0 = s_0$). In die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels geht in diesen Fällen nur die Hälfte eines fiktiven Teilstücks der Länge l_0 mit der Ersatzschallquelle in der Teilstückmitte ein.

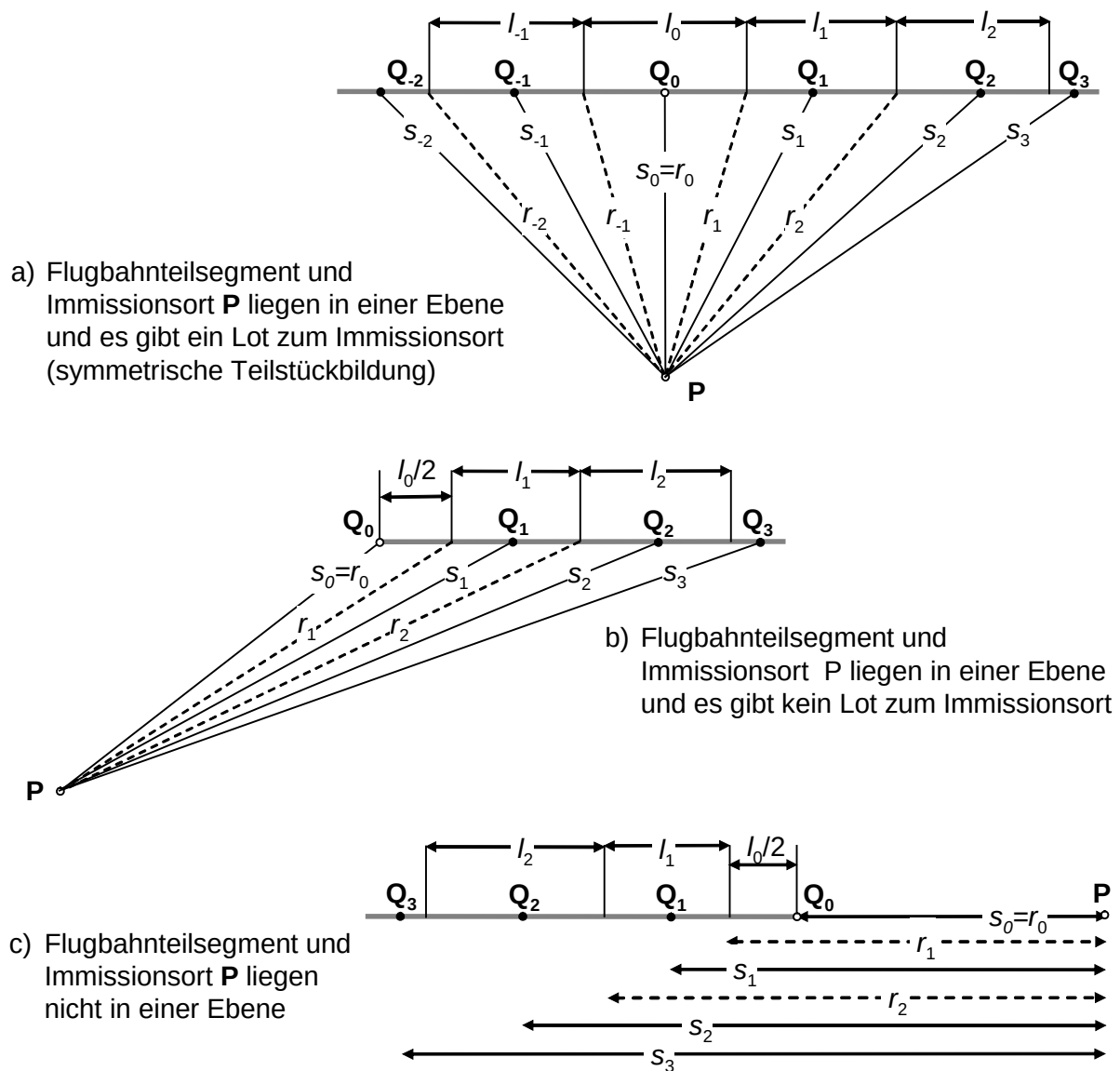


Abbildung 2.2.3 Unterteilung eines Flugbahnteilsegments in Teilstücke der Länge l_i ; r_i ist der kleinste Abstand zwischen Teilstück und Immissionsort **P**, s_i ist der Abstand der das Flugbahnteilsegment repräsentierenden Schallquelle (Darstellung nicht maßstabsgerecht)

3. Ausgangsangaben für die Berechnungen

Alle seit dem Jahr 2009 durchgeführten Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen an Flughäfen haben ergeben, dass der Bodenlärm (Rollverkehr und APU-Betrieb) nur einen äußerst geringfügigen und nur im Nahbereich um den Flughafen vorhandenen Einfluss auf die Größe der Fluglärmbelastung hat. Deshalb wurde vom Auftraggeber vorgegeben, wegen der relativ großen Entfernungen der Probandenadressen vom Flughafen die Bodenlärmquellen nicht zu berücksichtigen.

Entsprechend der Aufgabenstellung erfolgten die Fluglärmrechnungen auf der Grundlage der Flugbetriebsangaben der Flughafen Köln/Bonn GmbH für die Monate Oktober 2012 bis September 2013 [6] und der aktuellen Flugverfahren aus dem DES zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Köln/Bonn [7].

Aus den übergebenen 125.849 Datensätzen wurden die in der nachfolgenden Tabelle 3.1 dargestellten Flugbewegungszahlen ermittelt.

Tabelle 3.1 Flugbewegungszahlen der Monate Oktober 2012 bis September 2013

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.0	6
H 1.1	3.166
H 1.2	2.007
H 2.1	46
H 2.2	19
P 1.0	2
P 1.1	4
P 1.3	1.542
P 1.4	1.463
P 2.1	10.573
P 2.2	37
P MIL-2	896
S 1.1	2
S 3.1	2
S 3.2	257
S 5.1	9.953
S 5.2	75.849
S 5.3	45
S 6.1	15.348
S 6.2	3.067
S 6.3	181
S 7	1.291
S 8	4
S-MIL 1	12
S-MIL 2	2
S-MIL 3	26
S-MIL 4	6
S-MIL 6	43
Summe	125.849

Für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 wurden 125.849 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben, in denen 1.543 Flugbewegungen von Flugzeugen mit einer MTOM unter 2000 kg und Flugbewegungen von 5.244 Hubschraubern (60,3 % H 1.1 und 38,3 % H 1,2) enthalten waren, die entsprechend der Aufgabenstellung im Weiteren nicht mehr berücksichtigt wurden.

Von den verbleibenden 119.057 Flugbewegungen fehlten bei 20.723 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 20.723 Flugbewegungen wurden auf der Grundlage von in den Datensätzen enthaltenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 17.487 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort oder von einem Abflugort zugeordnet.

3.252 Flugbewegungen konnten wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für den Auswertungszeitraum insgesamt 115.805 Flugbewegungen (97,3 %) in den Fluglärmrechnungen verwendet werden konnten. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Zeitscheiben ist in der nachfolgenden Tabelle 3.2 dargestellt.

Tabelle 3.2 Verteilung der Flugbewegungszahlen der Monate Oktober 2012 bis September 2013 auf die Kennzeichnungszeiten und Zeitscheiben

Zeitscheibe	Kennzeichnungszeit	
	alle Werktage	Samstage, Sonntage und Feiertage
05.00 - 06.00 Uhr	2.292	866
06.00 – 07.00 Uhr	2.741	737
07.00 - 08.00 Uhr	3.634	817
08.00 – 18.00 Uhr	37.597	12.423
18.00 - 19.00 Uhr	6.002	1.775
19.00 – 22.00 Uhr	12.059	3.744
22.00 - 23.00 Uhr	3.911	977
23.00 – 05.00 Uhr	21.158	5.072
Summe	89.394	26.411
Gesamtsumme	115.805	

Die Zuordnung der Flugbewegungen zu den Flugstrecken für den Gesamtzeitraum ist in den für jede Berechnungsvariante erstellten QSI-Datensatz enthalten und wurde mit den Berechnungsergebnissen übergeben und auf dem Server von MOPA abgelegt..

4. Durchführung der Berechnungen

Die Durchführung der Berechnungen erfolgte in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wurden auf der Grundlage der oben dargestellten Ausgangsangaben für die getrennt für den Tag und die Nacht die Isophonen für die Pegelwerte von 40 dB(A) bis 65 dB(A) in Schritten von 5 dB ohne Beachtung der Zeitscheiben bestimmt.

Die Ergebnisse wurden auf topographischen Karten dargestellt und im weiteren für die Definition des Untersuchungsraumes genutzt.

Nach der Ermittlung der vorgenannten Isophonen erfolgte mit dem Programm AutoCAD Map eine Verschneidung der für den Untersuchungsraum übergebenen Hauskoordinaten zur Ermittlung von potentiellen Probandenadressen.

Im Ergebnis der Probandensuche und Auswahl wurden vom Auftraggeber 2.955 Datensätze mit Probandenadressen und den zugehörigen UTM-Koordinaten übergeben.

Für diese Adressen wurden dann entsprechend der Aufgabenstellung für die vorgegebenen Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Samstage, Sonntage und Feiertage“ und die o.g. Zeitscheiben der äquivalenten Dauerschallpegel und die statistische Verteilung der Abwerteten maximalen Schallpegel von Fluglärmereignissen ab einem Pegel von 50 dB(A) in Schritten von 1 dB aufwärts ermittelt.

Entsprechende einer zusätzlichen Anforderung des Auftraggebers von Juli 2014 wurden auf der Grundlage der ermittelten Fluglärmdata für jede Probandenadresse durch Zusammenfassung von Zeitscheiben für die Kennzeichnungszeiten noch folgende Größen ermittelt .

- Fluglärmbelastung für den Gesamtzeitraum ohne Unterscheidung von Wochentagen für die vorgegebenen Zeitscheiben;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 06 bis 22 Uhr (Tag);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 22 bis 06Uhr (Nacht);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 00 bis 24 Uhr (Gesamttag 24 Std.);
- L_{den} (D = 6 bis 18 Uhr, E = 18 – 22 Uhr, N = 22 bis 06 Uhr);
- L_{day} 06 bis 18 Uhr;
- $L_{evening}$ 18 bis 22 Uhr;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 18 bis 23 Uhr.

Die Ergebnisse für jede Probandenadresse wurden in Form von Excel-Dateien ebenfalls auf dem Server von MOPA bereitgestellt.

Strausberg, 25.08.2014



Rüdiger Bartel
Beratender Ingenieur



6. Glossar

AzB	-	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	-	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
ARP	-	Aerodrome Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
BAF	-	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BER	-	Flughafen Berlin Brandenburg
DES	-	Datenerfassungssystem für Fluglärmrechnungen
DFS	-	Deutsche Flugsicherung
FlugLSV	-	Fluglärmenschutzverordnung
ICAO	-	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
IO	-	Immissionsort (Nachweisort)
L_{pAeq}	-	äquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel über alle Lärmereignisse innerhalb eines vorgegebenen Bezugszeitraumes)
L_{pAmax}	-	Maximaler A-Schallpegel
LuftVG	-	Luftverkehrsgesetz
LuftVODV	-	Durchführungsverordnung zur Luftverkehrs-Ordnung
MTOM	-	Maximum Take-Off Mass (Maximale Startmasse)
P_B	-	Bahnbezugspunkt
PFB	-	Planfeststellungsbeschluss
UBA	-	Umweltbundesamt

7. Quellenverzeichnis

- 1 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) in der Neufassung vom 10. Mai 2007, (BGBl. I S.698), geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 1. Juni 2007 (BGBl. I S 986)
- 2 Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)
- 3 Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen – 1. FlugLSV) vom 27. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2980)
- 4 Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 5 Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 6 Flugbetriebsdaten für den Flughafen Köln/Bonn Oktober 2012 bis September 2013, Flughafen Köln/Bonn GmbH, Dezember 2013
- 7 Datenerfassungssystem Flughafen Köln/Bonn , AVIA Consult, August 2010



Legende:

- Fluglärmkontur $L_{Aeq, Tag} = 40 \text{ dB(A)}$
- Fluglärmkontur $L_{Aeq, Tag} = 45 \text{ dB(A)}$
- Fluglärmkontur $L_{Aeq, Tag} = 50 \text{ dB(A)}$
- Fluglärmkontur $L_{Aeq, Tag} = 55 \text{ dB(A)}$
- Fluglärmkontur $L_{Aeq, Tag} = 60 \text{ dB(A)}$
- Flughafenbezugspunkt



Vorhaben **NORAH**
Noise Related Annoyance, Cognition and Health

Planer/autor: AVIA Consult Ingenieurbüro für Flugplatzplanung und Fluglärmberatung Bahnhofstraße 15 Tel: +49 3541 422211 info@avia-consult.de		Datum:	12.12.2012	Name/Zeichen:
		gezeichnet:	12.12.2012	Schäfer
		geprüft:	12.12.2012	Bartel
		Projektphase:	Bestimmung der Fluglärmkonturen zur Ermittlung von Probandenadressen im Umfeld des des Flughafens Köln/Bonn	
Maßstab:	1 : 50 000	Inhalt/Zeichnungsgegenstand:	Fluglärmkonturen 40, 45, 50, 55 und 60 dB(A) Tag gemäß DES Lärmschutzbereich 2017	
		Zeichn.-/Plan-Nr.:	FL-02/2012	
		EDOK-FL02-p1		



NORAH

Bericht über die Durchführung der Fluglärmrechnungen am Flughafen Berlin-Schönefeld

Auftraggeber: **Ruhr-Universität Bochum**
 Fakultät für Psychologie
 Universitätsstraße 150
 D-44801 Bochum

Auftragnehmer: **AVIA Consult GmbH**
 Ingenieurbüro für Flugplatzplanung
 und Fluglärmberatung
 Bahnhofstraße 15
 15344 Strausberg

Erarbeiter:	Dipl.-Ing. Rüdiger Bartel	Projektleiter
	Dipl.-Ing. Bernd Scheiber	

Inhalt

	Seite
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung	5
2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes	5
2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen	6
3. Ausgangsangaben für die Berechnungen	14
4. Ergebnisse der Berechnungen	16
4.1 Bewertung der Ergebnisunsicherheiten der Berechnungsergebnisse	16
4.2 Auswirkung auf die Fluglärmkonturen	17
5. Glossar	20
6. Quellenverzeichnis	21

Anlage 1 Kartografische Darstellung der Flugverfahren Fluglärmkonturen

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Durch das Land Hessen wurde eine Studie mit dem Ziel in Auftrag gegeben, eine möglichst repräsentative und wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Auswirkungen des Lärms von Flug-, Schienen- und Straßenverkehr im Rhein-Main-Gebiet auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung zu erhalten.

Im Rahmen der dazu erforderlichen Arbeiten sollen auch Vergleichsuntersuchungen im Umfeld der Flughäfen Berlin Schönefeld bzw. Berlin International (BER), Köln/Bonn und Stuttgart erfolgen.

AVIA Consult wurde von der mit der fachlichen Projektleitung des Vorhabens beauftragten Ruhruniversität Bochum beauftragt, die Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Fluglärmkonturen zur Auswahl von Probanden auf der Grundlage von vorhandenen Datenerfassungssystemen zur Bestimmung von Lärmschutzbereichen sowie die Erstellung der Datenerfassungssysteme und Durchführung der Fluglärmrechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung an vorgegebenen Probandenadressen für die Flughäfen Berlin-Schönefeld, Köln/Bonn und Berlin-Schönefeld durchzuführen.

Über die Durchführung der Berechnungen ist für jeden Flughafen ein Bericht anzufertigen, der hiermit für den Flughafen Berlin-Schönefeld vorgelegt wird.

Dabei waren folgende Leistungen zu erbringen:

- 1) Ermittlung von Fluglärmkonturen des äquivalenten Dauerschallpegels ab 40 dB(A) in Schritten von 5 dB(A) aufwärts auf der Grundlage des Datenerfassungssystems zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Berlin-Schönefeld für den Tag und die Nacht;
- 2) Ermittlung von Adressen potentieller Probanden durch Verschneidung von übergebenen Hauskoordinaten mit den ermittelten Fluglärmkonturen getrennt für die Pegelbereiche 40 bis 45 dB(A), 45 bis 50 dB(A), 50 bis 55 dB(A) und 55 bis 60 dB(A) jeweils getrennt für Tag und Nacht
- 3) Analyse und Aufbereitung der Angaben zu den Flugbewegungen und Erarbeitung von Datenerfassungssystemen (DES) für den Flughafen Berlin-Schönefeld für den Zeitraum Mai 2011 bis April 2013 für die Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Wochenenden und Feiertage“ unterteilt für die Zeitscheiben
05.00 – 06.00 Uhr,
..06.00 – 08.00 Uhr
08.00 – 14.00 Uhr
14.00 – 18.00 Uhr
18.00 – 20.00 Uhr
20.00 – 22.00 Uhr
22.00 – 23.00 Uhr und
23.00 – 05.00 Uhr;
- 4) Durchführung der Fluglärmrechnungen
 - Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} gemäß der AzB und Maximalpegelverteilung an den Probandenadressen auf der Grundlage der unter 3) genannten

- DES,
- Prüfung, Aufbereitung der Ergebnisse und Ablage auf dem Server;
- 5) Zusätzliche Ermittlung der Belastung für den zusammengefassten Zeitraum aller Tage für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 für die o. g. Zeitscheiben;
 - 6) Zusätzliche Ermittlung für zusammengefasste Zeitscheiben gemäß Anforderung vom
 - 06.00 – 22.00 Uhr,
 - ..22.00 – 06.00 Uhr
 - 00.00 – 24.00 Uhr
 - 06.00 – 18.00 Uhr (L_{day})
 - 18.00 – 22.00 Uhr (L_{evening})
 - 00.00 – 24.00 Uhr (L_{den});
 - 7) Erarbeitung des vorliegenden Berichtes über die Durchführung der Fluglärmrechnungen.

Bei der Erarbeitung der DES wurden Rollverkehr, APU-Betrieb und der VFR-Flugbetrieb mit Flugzeugen unter 2 t MTOM nicht berücksichtigt, da diese Quellen keinen relevanten Einfluss auf die Lärmbelastung im Bereich der Probandenadressen haben.

Die Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung erfolgen auf der Grundlage der Bestimmungen des novellierten Fluglärmgesetzes (FluglärmG) in der Fassung vom 31.10.2007 [2] sowie der dazu erlassenen 1. Fluglärmschutzverordnung (1. FlugLSV) vom 27.12.2008 [3].

Das für die Durchführung der Fluglärmrechnungen verwendete Programmpaket ANCAR3 ist eine Eigenentwicklung von AVIA Consult, die vom Umweltbundesamt umfassend geprüft und mit Schreiben vom 11.06.2009 für die Durchführung von Fluglärmrechnungen an zivilen und militärischen Flugplätzen offiziell zugelassen wurde.

2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung

Die Methodik der Berechnung von Schallimmissionen durch Flugverkehr ist in der Anlage zu § 3 des FluglärmG dargestellt. Die grundsätzlichen Bestimmungen zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches sind in der 1. FlugLSV geregelt. Die Einzelheiten der Erfassung der Ausgangsangaben für die Berechnungen und des Berechnungsverfahrens sind in der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) [4] und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) [5] festgelegt, auf welche in der 1. FlugLSV verwiesen wird.

Aus methodischen Gründen erachtet es der Verfasser für sinnvoll, in kurzer Form auf die für die Berechnung des Lärmschutzbereiches geltenden Bestimmungen des FluglärmG und der 1. FlugLSV einzugehen.

2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes

Der im novellierten FluglärmG definierte Lärmschutzbereich wird in zwei Schutzzonen für den Tag und eine Schutzzone für die Nacht gegliedert. Die Werte für diese Schutzzonen liegen deutlich unter den Werten des bisherigen FluglärmG und werden zudem noch nach bestehenden Flugplätzen, neu errichteten bzw. wesentlich baulich erweiterten und nach Militärflugplätzen unterschieden.

Im § 2 des Fluglärmgesetzes werden nachfolgend genannte Schutzzonen definiert:

1. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze:

- Tag-Schutzzone 1: $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A)$,
Tag-Schutzzone 2: $L_{Aeq\ Tag} = 55\ dB(A)$,
Nacht-Schutzzone:
a) bis zum 31.12.2010: $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A)$,
b) ab dem 01.01.2011: $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A)$,

2. Werte für bestehende zivile Flugplätze:

- Tag-Schutzzone 1: $L_{Aeq\ Tag} = 65\ dB(A)$,
Tag-Schutzzone 2: $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A)$,
Nacht-Schutzzone: $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A)$,

3. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte militärische Flugplätze:

- Tag-Schutzzone 1: $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A)$,
Tag-Schutzzone 2: $L_{Aeq\ Tag} = 58\ dB(A)$,
Nacht-Schutzzone:
a) bis zum 31.12.2010: $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A)$,
b) ab dem 01.01.2011: $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A)$,

4. Werte für bestehende militärische Flugplätze:

- Tag-Schutzzone 1: $L_{Aeq\ Tag} = 68\ dB(A)$,
Tag-Schutzzone 2: $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A)$,
Nacht-Schutzzone: $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A)$, $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A)$.

Die Nachtschutzzone bestimmt sich als Umhüllende der Kontur gleicher Pegelhäufigkeit und der Kontur gleichen äquivalenten Dauerschallpegels.

Die angegebenen Pegelwerte für den maximalen A-Schallpegel sind Innenraumwerte, mit einem angenommenen Pegelunterschied von 15 dB(A) gegenüber dem Außenpegel.

Berechnungsmethode des äquivalenten Dauerschallpegels

Gemäß der Anlage zum § 3 des novellierten FluglärmG ist der äquivalente Dauerschallpegel nach folgenden Formeln zu berechnen:

$$L_{Aeq\ Tag} = 10 \lg \left[\frac{0,75}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

und

$$L_{Aeq\ Nacht} = 10 \lg \left[\frac{1,5}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

Hierin bedeuten

- | | |
|------------------|---|
| $L_{Aeq\ Tag}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T tags (06 bis 22 Uhr) in dB(A) |
| $L_{Aeq\ Nacht}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T nachts (22 bis 6 Uhr) in dB(A) |
| $\lg$ | - Logarithmus zur Basis 10 |
| T | - Beurteilungszeit T in s; die Beurteilungszeit umfasst die sechs verkehrsreichsten Monate (180 Tage) des Prognosejahres |
| $\sum_{i=1}^n$ | - Summe über alle Flugbewegungen tags (6 bis 22 Uhr) bzw. nachts (22 bis 6 Uhr) während der Beurteilungszeit T, wobei die prognostizierten Flugbewegungszahlen für die einzelnen Betriebsrichtungen jeweils um einen Zuschlag zur Berücksichtigung der zeitlich variierenden Nutzung der einzelnen Betriebsrichtungen erhöht werden. Für die Tag-Schutzzonen 1 und 2 sowie für die Nacht-Schutzzone beträgt der Zuschlag dreimal die Streuung der Nutzungsanteile der jeweiligen Betriebsrichtung in den zurückliegenden 10 Jahren (3 Sigma). |
| i | - laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses |
| $t_{10,i}$ | - Dauer des Geräusches des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in s (Zeitdauer des Fluglärmereignisses, während der der Schallpegel höchstens 10 dB(A) unter dem höchsten Schallpegel liegt (10 dB-down-time)) |
| $L_{Amax,i}$ | - Maximalwert des Schalldruckpegels des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in dB(A), ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse. |

2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen

Die AzB, auf die in der 1. FlugLSV verwiesen wird, ist die verbindliche Berechnungsvorschrift zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen. Sie enthält die methodischen Vorschriften des Berechnungsalgorithmus, die Definition der in den Berechnungen zu verwendenden Luftfahrzeugklassen und die Datenblätter der Luftfahrzeugklassen jeder Luftfahrzeuggruppe sowie die Vorgaben zur Darstellung der Schutzzonen.

Physikalisch-technische Angaben zu den Luftfahrzeugklassen

Da es praktisch nicht möglich ist, alle auf einem Flugplatz verkehrenden Flugzeuge mit ihren genauen technischen Charakteristika zu erfassen bzw. den Anteil jedes einzelnen Flugzeugtyps an den Flugbewegungen zu prognostizieren, wurden in der AzB bestimmte Luftfahrzeugtypen mit ähnlichen technischen Parametern zu Luftfahrzeuggruppen zusammengefasst, die jeweils in Startklassen (meistens eine, für ausgewählte Gruppen zwei) und eine Landeklasse unterteilt werden. Dabei bilden die für die Schallemission besonders wichtigen Daten, wie Antriebsart, Triebwerksleistung, Startgewicht und Festlegungen der ICAO zu üblichen Flugverfahren, die Grundlage dieser Klassifizierung.

Die in der AzB veröffentlichten physikalisch-technischen Daten der Luftfahrzeugklassen bilden eine der wesentlichen Grundlagen für die Durchführung verschiedener Berechnungen zur Beurteilung der Fluglärmbelastung.

Ausgehend von den von Berlin Brandenburg GmbH zur Verfügung gestellten Ausgangsangaben und den in der Aufgabenstellung angeführten Beschränkungen bezüglich der in den Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung im Umfeld des Flughafens Berlin-Schönefeld zu berücksichtigenden Luftfahrzeuggruppen werden die in der Tabelle 2.2.1 definierten Flugzeuggruppen berücksichtigt.

Tabelle 2.2.1 Am Flughafen Berlin-Schönefeld verkehrende Luftfahrzeuggruppen gemäß AzB

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
1	P 1.4	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 2 bis 5,7 t	Piper PA-42, Cessna 421
2	P 2.1	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3, Kapitel 4 oder Kapitel 10 entsprechen	ATR-42, Dash-8, DO-328
3	P 2.2	Propeller Flugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die nicht der Luftfahrzeuggruppe P 2.1 zugeordnet werden können	An-24
4	S 1.0	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 34 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 entsprechen.	Falcon, Gulfstream 2

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
5	S 3.2	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 100 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 oder Kapitel 3 entsprechen und vor 1982 gebaut wurden.	DC-8 IL-86
		a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 3.2, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt.	
		b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 3.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt	
		a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 3.2	
6	S 5.1	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 50 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen	BAe-146, LJ 60, Citation Jets
7	S 5.2	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis größer als 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 319, A 320, B-737, B-757
8	S 5.3	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis bis 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	B-737-200, MD-81
9	S 6.1	Strahlflugzeuge mit zwei Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 310, A 330, B-767
10	S 6.2	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t bis 300 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden. Das Luftfahrzeugmuster Airbus A340 ist von dieser Gruppe ausgenommen, da es in der Gruppe S 6.3 gesondert erfasst wird. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2	C-17, DC-10, KC-10, MD-11



Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
11	S 6.3	Luftfahrzeuge des Luftfahrzeugmusters Airbus A340	A 340
12	S 7.0	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 300 t bis 500 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7	B 747, AN-124
13	P-MIL 2	militärische Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t	C-160

Kurzdarstellung des neuen Berechnungsmodells

Zur Berechnung der Kenngrößen der Lärmbelastung wird ein Segmentierungsverfahren angewendet, das auf einer geeigneten Zerlegung der dreidimensionalen Flugbahn des Luftfahrzeugs in lineare Segmente basiert. Von jedem dieser Segmente trägt das Luftfahrzeug mit einem Beitrag E_i zur Schallexposition E an einem Immissionsort P bei. Das Segmentierungsverfahren ist in der nachfolgenden Abbildung 2.2.1 schematisch für den zweidimensionalen Fall dargestellt.

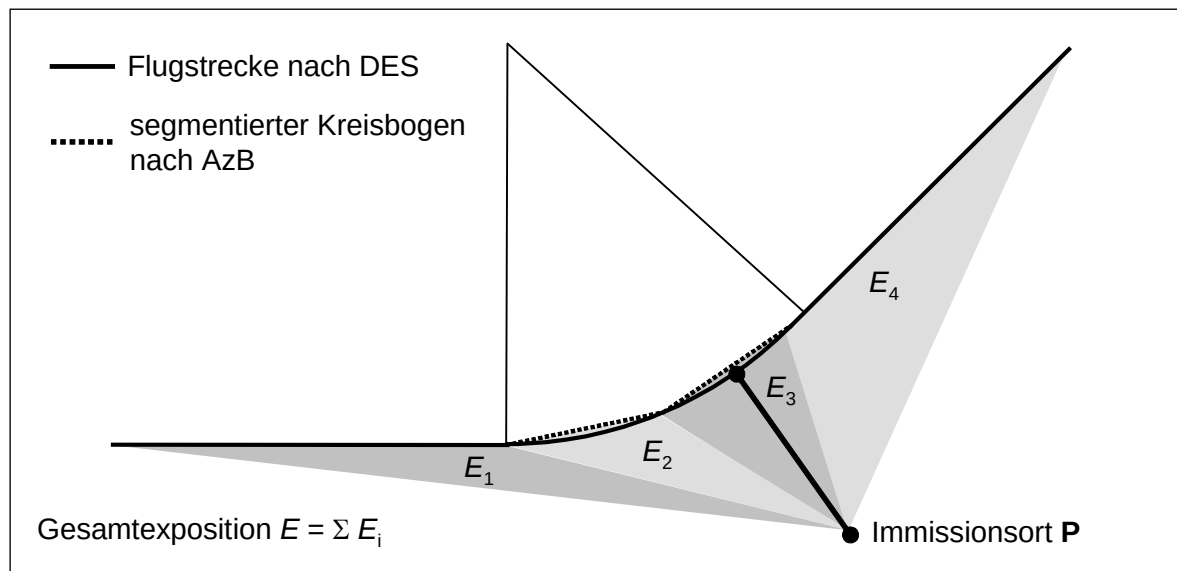


Abbildung 2.2.1 Prinzip der Segmentierung am Beispiel der Zerlegung eines kreisbogenförmigen Flugstreckensegments in zwei lineare Teilsegmente

Die äquivalenten Dauerschallpegel für die Tages- und Nachtzeit ergeben sich aus

$$L_{pASeq,Tag} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1,5 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Tag}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \text{ dB} \quad (1)$$

$$L_{pASeq,Nacht} = 10 \cdot \lg \left[\frac{3 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Nacht}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

für die sechs verkehrsreichsten Monate des Prognosejahres.

mit:

$L_{pASeq,Tag}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)
$L_{pASeq,Nacht}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)
T_E	Erhebungszeit in s ($T_E = 1,5552 \cdot 10^7$ s, d. h. 180 Tage)
T_0	Bezugszeit ($T_0 = 1$ s)

Σ	Summe über alle Flugbewegungen während der Erhebungszeit T_E
N_{Tag}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 6.00 und 22.00 Uhr
N_{Nacht}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 22.00 und 6.00 Uhr
i	hier: laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses
$L_{pAE,i}$	A-bewerteter Schallexpositionspegel, ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse

Das der neuen AzB zu Grunde liegende Modell geht von der Annahme einer bewegten Punktschallquelle aus, für die an jedem Punkt der Bahn die Schallleistung, die Geschwindigkeit sowie die Abstrahlcharakteristik bekannt sind. Die bewegte Punktschallquelle wird hier durch eine Linienschallquelle nachgebildet, die für die Berechnung der benötigten Immissionskenngrößen verwendet wird. Die einzelnen sich bewegenden Schallquellen repräsentieren die Luftfahrzeugklassen der AzB.

Zur Ermittlung der äquivalenten Dauerschallpegel sowie des Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums an einem Immissionsort müssen die Beiträge aller im DES angegebenen Luftfahrzeugklassen in Form des Schallleistungsexpositionspegels L_{pAE} und des Maximalschalldruckpegels $L_{pAS,max}$ bestimmt werden.

Segmentierung der Flugbahn

Um das Modell der Linienschallquelle anwenden zu können, ist es zunächst notwendig, die dreidimensionale Flugbahn des betrachteten Luftfahrzeugs in geeigneter Form in eine Reihe von geradlinigen Segmenten zu zerlegen. Wie dies zu geschehen hat, ist in Abbildung 2.2.2 schematisch dargestellt.

Die dreidimensionale Flugbahn wird durch ihren Verlauf in der Bezugsebene sowie durch ein vertikales Flughöhenprofil (repräsentiert durch den Datensatz $H(\sigma')$ - siehe auch Abb. 2.2.2 unterer Teil) beschrieben. Diese Flugbahn wird in drei Schritten zerlegt:

1. Der erste Schritt der Segmentierung ist die Zerlegung der Flugstrecke bzw. des Flugweges. Bei der Berechnung werden alle im DES beschriebenen Flugstrecken berücksichtigt. Jede dieser Flugstrecken ist durch eine Folge von Abschnitten (Geraden, Kreisbögen) dargestellt. Kreisbögen werden in Sehnenstücke mit Bogenwinkeln von maximal 15° unterteilt. Dabei muss die Sehnenlänge ≤ 100 m sein. Dadurch ergibt sich eine Folge von geradlinigen Streckenteilabschnitten.
2. Die den jeweiligen Luftfahrzeugklassen zugeordneten Vertikalprofile stellen ebenfalls eine Folge von linearen Teilstücken dar, die als Profilsegmente bezeichnet werden. Art und Länge der Profilsegmente ergeben sich aus den Datenblättern der Luftfahrzeugklassen. Im zweiten Schritt wird nun die segmentierte Flugstrecke mit dem Flugprofil verschnitten. Daraus resultiert eine Folge von Flugbahnsegmenten, die als Grundlage der Berechnung dienen.
3. Im dritten Schritt werden aus den Bahnsegmenten durch Belegung mit luftfahrzeugklassenspezifischen Emissionen Bahnanteilsegmente generiert. Es muss in so viele gleich lange Teilsegmente unterteilt werden, bis die Pegel der längenbezogenen Schallleistungsexposi-

tion L_{WAE}' aufeinander folgender Bahnteilsegmente sich in keinem Fall um mehr als 1 dB unterscheiden. Die Bahnteilsegmente gehen dann als Schallquellen in die Berechnung ein.

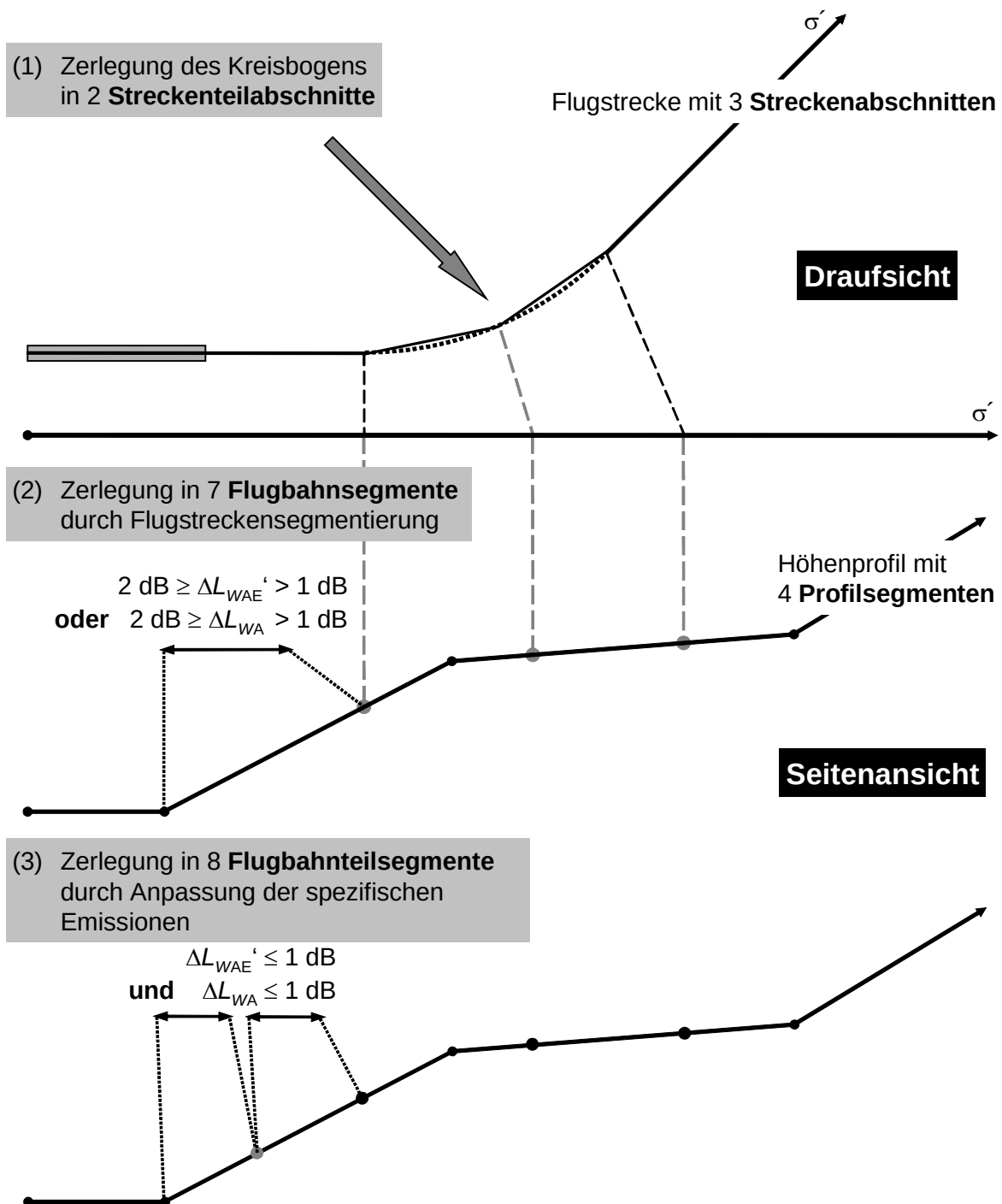


Abbildung 2.2.2 Prinzip des Segmentierungsverfahrens: σ' ist die Bogenlänge der Flugstrecke, $\Delta L_{WAE}'$ ist die Differenz des längenbezogenen Schallleistungsexpositionspegels zwischen zwei Bahnteilsegmenten

Bei Vorhandensein eines Flugkorridors werden der segmentierten Flugstrecke in Abhängigkeit von der Korridorbreite äquidistant verlaufende Flugwege zugeordnet. Bei Berechnungen gemäß AzB ist der Korridor in 15 gleichbreite Teilkorridore zu unterteilen, deren Mittellinie als Flugweg bezeichnet wird.

Die Flugwege liegen damit ebenfalls in segmentierter Form vor (Schritt 1). Die Werte der Kenngrößen $Z(\sigma')$, $V(\sigma')$ und $H(\sigma')$ an den Segmentenden der Flugwege werden von den zugehörigen Segmentenden der Flugstrecke (Flugweg 1) übernommen. Die weitere Segmentierung erfolgt wie in den Schritten 2 und 3 beschrieben (siehe dazu auch Abb. 2.2.2).

Generierung von Teilstücken

Beträgt die Länge eines Flugbahnteilsegmentes mehr als $1/10$ des kürzesten Abstandes r_0 eines Immissionsortes **P** zum Flugbahnteilsegment, so muss dieses Segment in Teilstücke unterteilt werden (Abbildung 2.2.3). Für den Fall $r_0 < 10$ m wird $r_0 = 10$ m gesetzt.

Die Teilung erfolgt ausgehend vom Punkt **Q**₀ auf der Basis des kürzesten Abstandes r_0 zum Flugbahnteilsegment durch sukzessive Bildung von Teilstücken, die der Bedingung

$$\frac{l_i}{r_i} = 0,1$$

genügen müssen. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene und es kann ein Lot mit dem Fußpunkt **Q**₀ von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ symmetrisch in Richtung auf die Segmentenden (symmetrische Teilstückbildung). Der Punkt **Q**₀ liegt in der Regel in der Mitte des Teilstückes mit der Länge l_0 .
- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene, aber es kann kein Lot von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ in Richtung auf das Segmentende. Das erste Teilstück erhält die Länge $l_0/2$.
- Es kann keine Ebene zwischen Immissionsort und Flugbahnteilsegment aufgespannt werden (dieser Fall kann nur auftreten, wenn der Immissionsort direkt hinter der Landebahn in Höhe der Schallquelle liegt). In diesem Fall erfolgt die Teilung nach Teilbild c) von Abbildung 2.2.3. Auch hier erhält das erste Teilstück nur die Länge $l_0/2$.

Bei der Bildung von Teilstücken ergeben sich in der Regel an den Segmentenden Teilstücke, die kürzer sind als gefordert.

Bei der Immissionsberechnung wird jedes Teilstück durch eine Punktschallquelle **Q**_i in ihrem Mittelpunkt ersetzt. In den Fällen, in denen kein Lot auf das Flugbahnteilsegment gefällt werden kann (Fälle b) und c) nach Abbildung 2.2.3), wird die Punktschallquelle im ersten Teilstück auf den Punkt **Q**₀ gelegt. Dadurch werden Fehler bei der Bestimmung des Maximalpegels minimiert (es ist immer $r_0 = s_0$). In die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels geht in diesen Fällen nur die Hälfte eines fiktiven Teilstücks der Länge l_0 mit der Ersatzschallquelle in der Teilstückmitte ein.

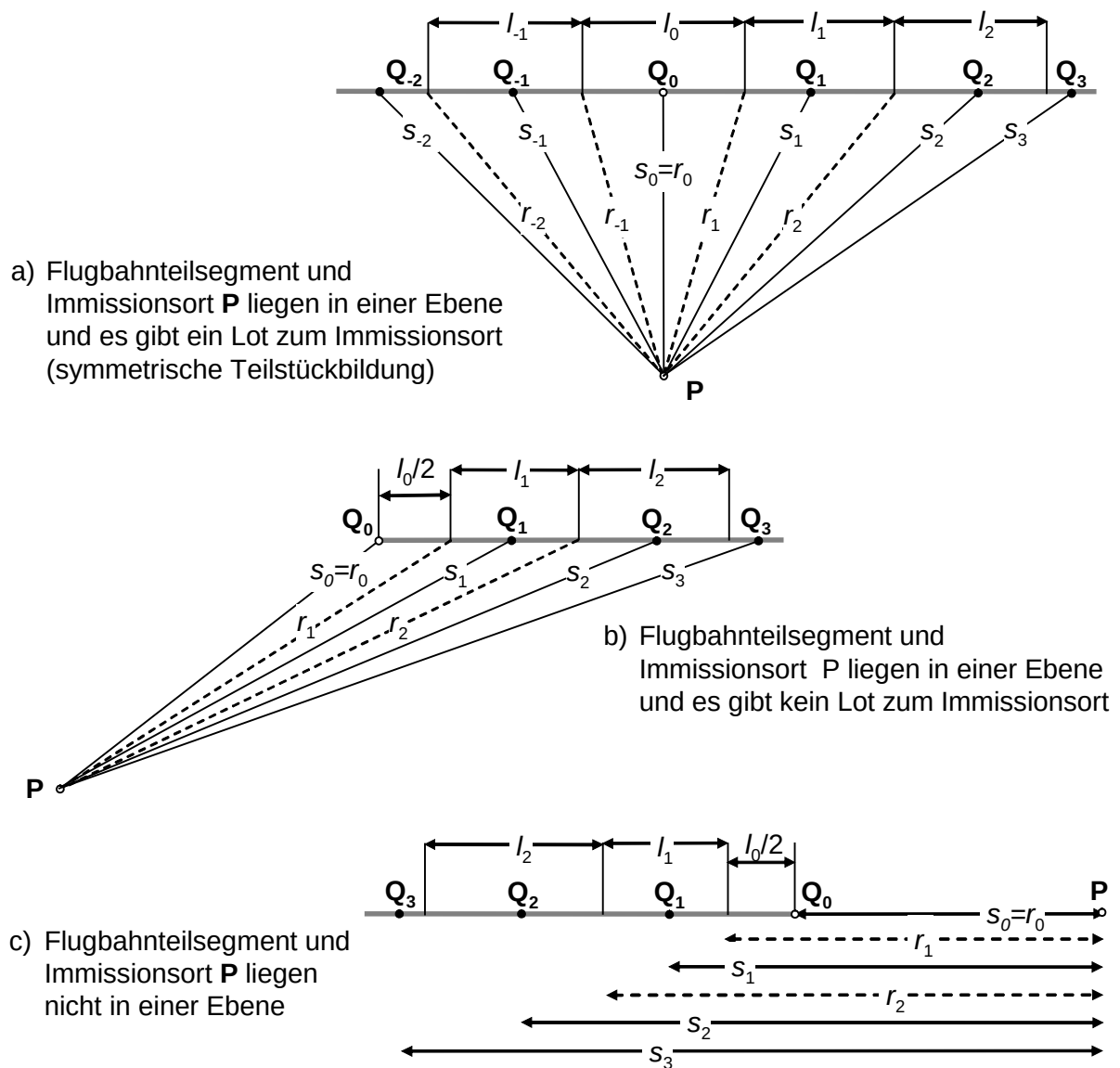


Abbildung 2.2.3 Unterteilung eines Flugbahnteilsegments in Teilstücke der Länge l_i ; r_i ist der kleinste Abstand zwischen Teilstück und Immissionsort **P**, s_i ist der Abstand der das Flugbahnteilsegment repräsentierenden Schallquelle (Darstellung nicht maßstabsgerecht)

3. Ausgangsangaben für die Berechnungen

Alle seit dem Jahr 2009 durchgeführten Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen an Flughäfen haben ergeben, dass der Bodenlärm (Rollverkehr und APU-Betrieb) nur einen äußerst geringfügigen und nur im Nahbereich um den Flughafen vorhandenen Einfluss auf die Größe der Fluglärmbelastung hat. Deshalb wurde vom Auftraggeber vorgegeben, wegen der relativ großen Entfernungen der Probandenadressen vom Flughafen die Bodenlärmquellen nicht zu berücksichtigen.

Entsprechend der Aufgabenstellung erfolgten die Fluglärmrechnungen auf der Grundlage der Flugbetriebsangaben der Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH für die Monate Oktober 2012 bis September 2013 [6] und der aktuellen Flugverfahren aus dem DES zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Berlin-Schönefeld [7].

Aus den übergebenen 125.849 Datensätzen wurden die in der nachfolgenden Tabelle 3.1 dargestellten Flugbewegungszahlen ermittelt.

Tabelle 3.1 Flugbewegungszahlen der Monate Mai 2011 bis April 2012

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.1	747
H 1.2	28
H 2.1	6
H 2.2	4
P 1.0	24
P 1.1	4
P 1.3	2.063
P 1.4	1.357
P 2.1	1.974
P 2.2	104
P-MIL 2	2
S 1.0	5
S 3.2	8
S 5.1	9.411
S 5.2	57.090
S 5.3	148
S 6.1	49
S 6.3	6
S 7	14
Summe	73.044

Für den Zeitraum Mai 2011 bis April 2012 wurden 73.044 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben, in denen 2.091 Flugbewegungen von Flugzeugen mit einer MTOM unter 2000 kg und Flugbewegungen von 785 Hubschraubern (95,2 % H 1.1, 3,6 % H 1.2, 0,7 % H 2.1 und 0,5 % H°2.2) enthalten waren, die entsprechend der Aufgabenstellung im Weiteren nicht mehr berücksichtigt wurden.

Von den verbleibenden 70.168 Flugbewegungen fehlten bei 6.907 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 6.907 Flugbewegungen konnten auf der Grundlage von in den anderen Datensätzen enthaltenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 6.112 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort oder von einem Abflugort zugeordnet.

795 Flugbewegungen konnten wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für den Auswertungszeitraum insgesamt 69.373 Flugbewegungen (98,9° %) in den Fluglärmrechnungen verwendet werden konnten. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Zeitscheiben ist in der nachfolgenden Tabelle 3.2 dargestellt.

Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Zeitscheiben ist in der nachfolgenden Tabelle 3.2 dargestellt.

Tabelle 3.2 Verteilung der Flugbewegungszahlen der Monate Oktober 2012 bis September 2013 auf die Kennzeichnungszeiten und Zeitscheiben

Zeitscheibe	Kennzeichnungszeit	
	alle Werktage	Samstage, Sonntage und Feiertage
05.00 - 06.00 Uhr	458	128
06.00 – 08.00 Uhr	3880	1307
08.00 - 14.00 Uhr	17903	6163
14.00 – 18.00 Uhr	11923	4168
18.00 - 20.00 Uhr	5445	1946
20.00 – 22.00 Uhr	6042	2079
22.00 - 23.00 Uhr	2316	983
23.00 – 05.00 Uhr	3207	1425
Summe	51174	18199
Gesamtsumme	69.373	

Die Zuordnung der Flugbewegungen zu den Flugstrecken für den Gesamtzeitraum ist in den für jede Berechnungsvariante erstellten QSI-Datensatz enthalten und wurde mit den Berechnungsergebnissen übergeben und auf dem Server von MOPA abgelegt..

4. Durchführung der Berechnungen

Die Durchführung der Berechnungen erfolgte in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wurden auf der Grundlage der oben dargestellten Ausgangsangaben für die getrennt für den Tag und die Nacht die Isophonen für die Pegelwerte von 40 dB(A) bis 65 dB(A) in Schritten von 5 dB ohne Beachtung der Zeitscheiben bestimmt.

Die Ergebnisse wurden auf topographischen Karten dargestellt und im weiteren für die Definition des Untersuchungsraumes genutzt.

Nach der Ermittlung der vorgenannten Isophonen erfolgte mit dem Programm AutoCAD Map eine Verschneidung der für den Untersuchungsraum übergebenen Hauskoordinaten zur Ermittlung von potentiellen Probandenadressen.

Im Ergebnis der Probandensuche und Auswahl wurden vom Auftraggeber 2.955 Datensätze mit Probandenadressen und den zugehörigen UTM-Koordinaten übergeben.

Für diese Adressen wurden dann entsprechend der Aufgabenstellung für die vorgegebenen Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Samstage, Sonntage und Feiertage“ und die o.g. Zeitscheiben der äquivalenten Dauerschallpegel und die statistische Verteilung der Abwerteten maximalen Schallpegel von Fluglärmereignissen ab einem Pegel von 50 dB(A) in Schritten von 1 dB aufwärts ermittelt.

Entsprechende einer zusätzlichen Anforderung des Auftraggebers von Juli 2014 wurden auf der Grundlage der ermittelten Fluglärmdata für jede Probandenadresse durch Zusammenfassung von Zeitscheiben für die Kennzeichnungszeiten noch folgende Größen ermittelt .

- Fluglärmbelastung für den Gesamtzeitraum ohne Unterscheidung von Wochentagen für die vorgegebenen Zeitscheiben;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 06 bis 22 Uhr (Tag);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 22 bis 06Uhr (Nacht);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 00 bis 24 Uhr (Gesamttag 24 Std.);
- L_{den} (D = 6 bis 18 Uhr, E = 18 – 22 Uhr, N = 22 bis 06 Uhr);
- L_{day} 06 bis 18 Uhr;
- $L_{evening}$ 18 bis 22 Uhr;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 18 bis 23 Uhr.

Die Ergebnisse für jede Probandenadresse wurden in Form von Excel-Dateien ebenfalls auf dem Server von MOPA bereitgestellt.

Strausberg, 18.08.2014



Rüdiger Bartel
Beratender Ingenieur

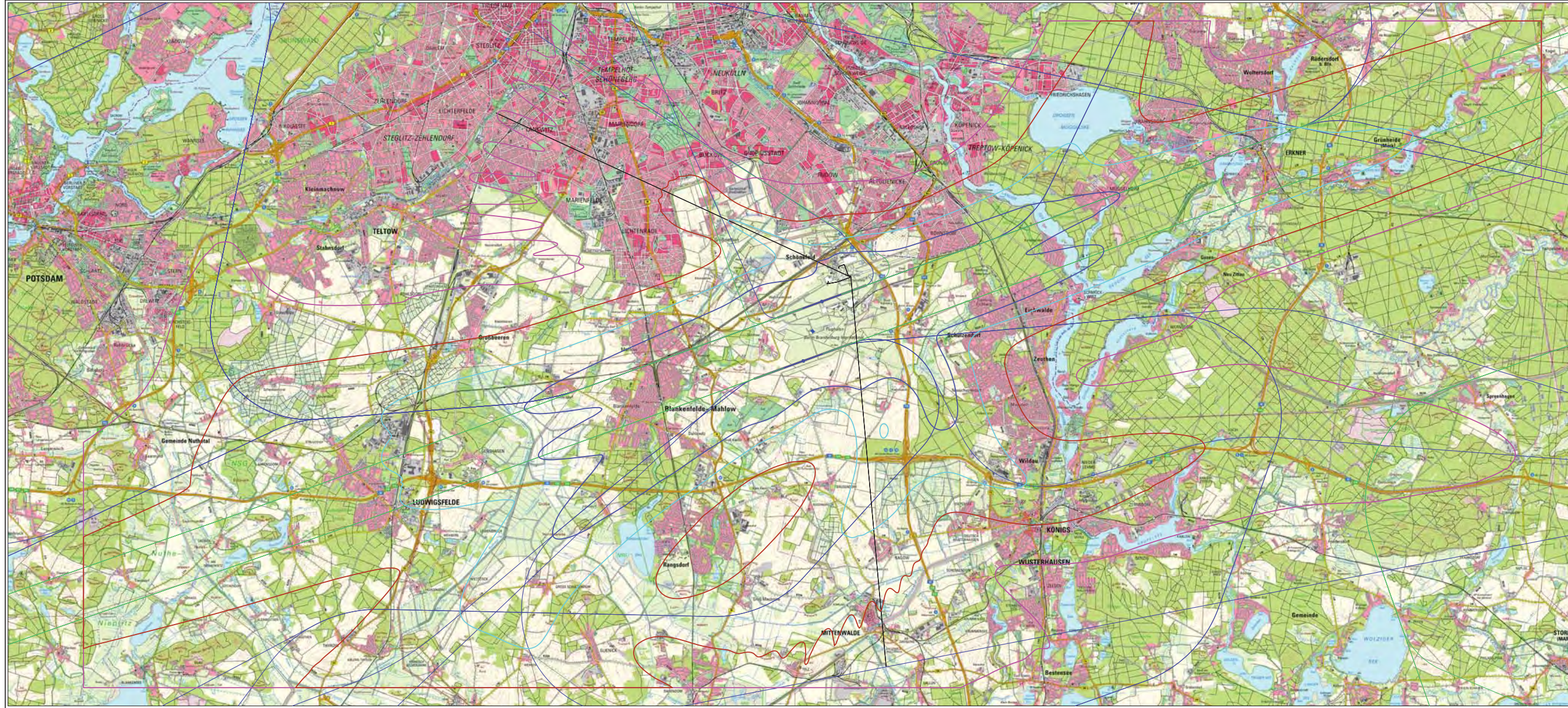


6. Glossar

AzB	-	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	-	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
ARP	-	Aerodrome Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
BAF	-	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BER	-	Flughafen Berlin Brandenburg
DES	-	Datenerfassungssystem für Fluglärmrechnungen
DFS	-	Deutsche Flugsicherung
FlugLSV	-	Fluglärmenschutzverordnung
ICAO	-	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
IO	-	Immissionsort (Nachweisort)
L_{pAeq}	-	äquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel über alle Lärmereignisse innerhalb eines vorgegebenen Bezugszeitraumes)
L_{pAmax}	-	Maximaler A-Schallpegel
LuftVG	-	Luftverkehrsgesetz
LuftVODV	-	Durchführungsverordnung zur Luftverkehrs-Ordnung
MTOM	-	Maximum Take-Off Mass (Maximale Startmasse)
P_B	-	Bahnbezugspunkt
PFB	-	Planfeststellungsbeschluss
UBA	-	Umweltbundesamt

7. Quellenverzeichnis

- 1 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) in der Neufassung vom 10. Mai 2007, (BGBl. I S.698), geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 1. Juni 2007 (BGBl. I S 986)
- 2 Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)
- 3 Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen – 1. FlugLSV) vom 27. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2980)
- 4 Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 5 Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 6 Flugbetriebsdaten für den Flughafen Berlin-Schönefeld Mai 2011 bis April 2013, Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH, Dezember 2013
- 7 Datenerfassungssystem Flughafen Berlin-Schönefeld , AVIA Consult, April 2012

**Legende:**

- Fluglärmkontur L = 40 dB(A)
- Fluglärmkontur L = 45 dB(A)
- Fluglärmkontur L = 50 dB(A)
- Fluglärmkontur L = 55 dB(A)
- Abflugstrecken
- Anflugstrecken
- Hubschrauberstrecken
- ◆ Flughafenbezugspunkt

Vorhaben

NORAH
Noise Related Annoyance, Cognition and HealthPlanverfasser **AVIA Consult**Ingenieurbüro für Fluplatzplanung und Fluglärmberatung
Bahnhofstraße 15 15364 Strausberg
Tel. +49 3341 422211 Fax +49 3341 422212
avia-consult@corin.de www.avia-consult.de

Datum	Name/Zeichen
bearbeitet 11.02.2012	Berlin
gezeichnet 11.02.2012	Berlin
geprüft 11.02.2012	Berlin

Planungsphase

Projektziel
Berechnung von Fluglärmkonturen zur Ermittlung
des Untersuchungsraumes für den Flughafen BER

Projektnummer

FL-16/2011

Maßstab

kurz:Zeichnungsname

Zeichn. / Plan-Nr.

Fluglärmkonturen Tag

Prognoseszenario 2015

BER-FL16-p11

1 : 50 000



NORAH

Bericht über die Durchführung der Fluglärmrechnungen am Flughafen Stuttgart

Auftraggeber: **Ruhr-Universität Bochum**
 Fakultät für Psychologie
 Universitätsstraße 150
 D-44801 Bochum

Auftragnehmer: **AVIA Consult GmbH**
 Ingenieurbüro für Flugplatzplanung
 und Fluglärmberatung
 Bahnhofstraße 15
 15344 Strausberg

Erarbeiter:	Dipl.-Ing. Rüdiger Bartel	Projektleiter
	Dipl.-Ing. Bernd Scheiber	

Inhalt

	Seite
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung	5
2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes	5
2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen	6
3. Ausgangsangaben für die Berechnungen	14
4. Ergebnisse der Berechnungen	16
4.1 Bewertung der Ergebnisunsicherheiten der Berechnungsergebnisse	16
4.2 Auswirkung auf die Fluglärmkonturen	17
5. Glossar	20
6. Quellenverzeichnis	21

Anlage 1 Kartografische Darstellung der Flugverfahren Fluglärmkonturen

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Durch das Land Hessen wurde eine Studie mit dem Ziel in Auftrag gegeben, eine möglichst repräsentative und wissenschaftlich abgesicherte Beschreibung der Auswirkungen des Lärms von Flug-, Schienen- und Straßenverkehr im Rhein-Main-Gebiet auf die Gesundheit und Lebensqualität der betroffenen Wohnbevölkerung zu erhalten.

Im Rahmen der dazu erforderlichen Arbeiten sollen auch Vergleichsuntersuchungen im Umfeld der Flughäfen Berlin Schönefeld bzw. Berlin International (BER), Köln/Bonn und Stuttgart erfolgen.

AVIA Consult wurde von der mit der fachlichen Projektleitung des Vorhabens beauftragten Ruhruniversität Bochum beauftragt, die Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Fluglärmkonturen zur Auswahl von Probanden auf der Grundlage von vorhandenen Datenerfassungssystemen zur Bestimmung von Lärmschutzbereichen sowie die Erstellung der Datenerfassungssysteme und Durchführung der Fluglärmrechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung an vorgegebenen Probandenadressen für die Flughäfen Berlin, Köln/Bonn und Stuttgart durchzuführen.

Über die Durchführung der Berechnungen ist für jeden Flughafen ein Bericht anzufertigen, der hiermit für den Flughafen Stuttgart vorgelegt wird.

Dabei waren folgende Leistungen zu erbringen:

- 1) Ermittlung von Fluglärmkonturen des äquivalenten Dauerschallpegels ab 40 dB(A) in Schritten von 5 dB(A) aufwärts auf der Grundlage des Datenerfassungssystems zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Stuttgart für den Tag und die Nacht;
- 2) Ermittlung von Adressen potentieller Probanden durch Verschneidung von übergebenen Hauskoordinaten mit den ermittelten Fluglärmkonturen getrennt für die Pegelbereiche 40 bis 45 dB(A), 45 bis 50 dB(A), 50 bis 55 dB(A) und 55 bis 60 dB(A) jeweils getrennt für Tag und Nacht
- 3) Analyse und Aufbereitung der Angaben zu den Flugbewegungen und Erarbeitung von Datenerfassungssystemen (DES) für den Flughafen Stuttgart für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 für die Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Wochenenden und Feiertage“ unterteilt für die Zeitscheiben
05.00 – 06.00 Uhr,
..06.00 – 07.00 Uhr
07.00 – 08.00 Uhr
08.00 – 18.00 Uhr
18.00 – 19.00 Uhr
19.00 – 22.00 Uhr
22.00 – 23.00 Uhr und
23.00 – 05.00 Uhr;
- 4) Durchführung der Fluglärmrechnungen
 - Ermittlung des äquivalenten Dauerschallpegels L_{Aeq} gemäß der AzB und Maximalpegelverteilung an den Probandenadressen auf der Grundlage der unter 3) genannten

- DES,
- Prüfung, Aufbereitung der Ergebnisse und Ablage auf dem Server;
- 5) Zusätzliche Ermittlung der Belastung für den zusammengefassten Zeitraum aller Tage für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 für die o. g. Zeitscheiben;
 - 6) Zusätzliche Ermittlung für zusammengefasste Zeitscheiben gemäß Anforderung vom
06.00 – 22.00 Uhr,
..22.00 – 06.00 Uhr
00.00 – 24.00 Uhr
06.00 – 18.00 Uhr (L_{day})
18.00 – 22.00 Uhr (L_{evening})
00.00 – 24.00 Uhr (L_{den});
 - 7) Erarbeitung des vorliegenden Berichtes über die Durchführung der Fluglärmrechnungen.

Bei der Erarbeitung der DES wurden Rollverkehr, APU-Betrieb und der VFR-Flugbetrieb mit Flugzeugen unter 2 t MTOM nicht berücksichtigt, da diese Quellen keinen relevanten Einfluss auf die Lärmbelastung im Bereich der Probandenadressen haben.

Die Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung erfolgen auf der Grundlage der Bestimmungen des novellierten Fluglärmgesetzes (FluglärmG) in der Fassung vom 31.10.2007 [2] sowie der dazu erlassenen 1. Fluglärmschutzverordnung (1. FlugLSV) vom 27.12.2008 [3].

Das für die Durchführung der Fluglärmrechnungen verwendete Programmpaket ANCAR3 ist eine Eigenentwicklung von AVIA Consult, die vom Umweltbundesamt umfassend geprüft und mit Schreiben vom 11.06.2009 für die Durchführung von Fluglärmrechnungen an zivilen und militärischen Flugplätzen offiziell zugelassen wurde.

2. Methodik der Ermittlung der Fluglärmbelastung

Die Methodik der Berechnung von Schallimmissionen durch Flugverkehr ist in der Anlage zu § 3 des FluglärmG dargestellt. Die grundsätzlichen Bestimmungen zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches sind in der 1. FlugLSV geregelt. Die Einzelheiten der Erfassung der Ausgangsangaben für die Berechnungen und des Berechnungsverfahrens sind in der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) [4] und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) [5] festgelegt, auf welche in der 1. FlugLSV verwiesen wird.

Aus methodischen Gründen erachtet es der Verfasser für sinnvoll, in kurzer Form auf die für die Berechnung des Lärmschutzbereiches geltenden Bestimmungen des FluglärmG und der 1. FlugLSV einzugehen.

2.1 Ausgewählte Bestimmungen des Fluglärmgesetzes

Der im novellierten FluglärmG definierte Lärmschutzbereich wird in zwei Schutzzonen für den Tag und eine Schutzzone für die Nacht gegliedert. Die Werte für diese Schutzzonen liegen deutlich unter den Werten des bisherigen FluglärmG und werden zudem noch nach bestehenden Flugplätzen, neu errichteten bzw. wesentlich baulich erweiterten und nach Militärflugplätzen unterschieden.

Im § 2 des Fluglärmgesetzes werden nachfolgend genannte Schutzzonen definiert:

1. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte zivile Flugplätze:

- | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 55\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | | |
| a) bis zum 31.12.2010: | $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |
| b) ab dem 01.01.2011: | $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A),$ |

2. Werte für bestehende zivile Flugplätze:

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 65\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 60\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |

3. Werte für neue oder wesentlich baulich erweiterte militärische Flugplätze:

- | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 58\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | | |
| a) bis zum 31.12.2010: | $L_{Aeq\ Nacht} = 53\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A),$ |
| b) ab dem 01.01.2011: | $L_{Aeq\ Nacht} = 50\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 53\ dB(A),$ |

4. Werte für bestehende militärische Flugplätze:

- | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Tag-Schutzzone 1: | $L_{Aeq\ Tag} = 68\ dB(A),$ | |
| Tag-Schutzzone 2: | $L_{Aeq\ Tag} = 63\ dB(A),$ | |
| Nacht-Schutzzone: | $L_{Aeq\ Nacht} = 55\ dB(A),$ | $L_{Amax} = 6\ mal\ 57\ dB(A).$ |

Die Nachtschutzzone bestimmt sich als Umhüllende der Kontur gleicher Pegelhäufigkeit und der Kontur gleichen äquivalenten Dauerschallpegels.

Die angegebenen Pegelwerte für den maximalen A-Schallpegel sind Innenraumwerte, mit einem angenommenen Pegelunterschied von 15 dB(A) gegenüber dem Außenpegel.

Berechnungsmethode des äquivalenten Dauerschallpegels

Gemäß der Anlage zum § 3 des novellierten FluglärmG ist der äquivalente Dauerschallpegel nach folgenden Formeln zu berechnen:

$$L_{Aeq\ Tag} = 10 \lg \left[\frac{0,75}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

und

$$L_{Aeq\ Nacht} = 10 \lg \left[\frac{1,5}{T} \sum_{i=1}^n t_{10,i} 10^{0,1L_{Amax,i}} \right]$$

Hierin bedeuten

- | | |
|------------------|---|
| $L_{Aeq\ Tag}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T tags (06 bis 22 Uhr) in dB(A) |
| $L_{Aeq\ Nacht}$ | - äquivalenter Dauerschallpegel während der Beurteilungszeit T nachts (22 bis 6 Uhr) in dB(A) |
| $\lg$ | - Logarithmus zur Basis 10 |
| T | - Beurteilungszeit T in s; die Beurteilungszeit umfasst die sechs verkehrsreichsten Monate (180 Tage) des Prognosejahres |
| $\sum_{i=1}^n$ | - Summe über alle Flugbewegungen tags (6 bis 22 Uhr) bzw. nachts (22 bis 6 Uhr) während der Beurteilungszeit T, wobei die prognostizierten Flugbewegungszahlen für die einzelnen Betriebsrichtungen jeweils um einen Zuschlag zur Berücksichtigung der zeitlich variierenden Nutzung der einzelnen Betriebsrichtungen erhöht werden. Für die Tag-Schutzzonen 1 und 2 sowie für die Nacht-Schutzzone beträgt der Zuschlag dreimal die Streuung der Nutzungsanteile der jeweiligen Betriebsrichtung in den zurückliegenden 10 Jahren (3 Sigma). |
| i | - laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses |
| $t_{10,i}$ | - Dauer des Geräusches des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in s (Zeitdauer des Fluglärmereignisses, während der der Schallpegel höchstens 10 dB(A) unter dem höchsten Schallpegel liegt (10 dB-down-time)) |
| $L_{Amax,i}$ | - Maximalwert des Schalldruckpegels des i-ten Fluglärmereignisses am Immissionsort in dB(A), ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse. |

2.2 Die Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen

Die AzB, auf die in der 1. FlugLSV verwiesen wird, ist die verbindliche Berechnungsvorschrift zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen. Sie enthält die methodischen Vorschriften des Berechnungsalgorithmus, die Definition der in den Berechnungen zu verwendenden Luftfahrzeugklassen und die Datenblätter der Luftfahrzeugklassen jeder Luftfahrzeuggruppe sowie die Vorgaben zur Darstellung der Schutzzonen.

Physikalisch-technische Angaben zu den Luftfahrzeugklassen

Da es praktisch nicht möglich ist, alle auf einem Flugplatz verkehrenden Flugzeuge mit ihren genauen technischen Charakteristika zu erfassen bzw. den Anteil jedes einzelnen Flugzeugtyps an den Flugbewegungen zu prognostizieren, wurden in der AzB bestimmte Luftfahrzeugtypen mit ähnlichen technischen Parametern zu Luftfahrzeuggruppen zusammengefasst, die jeweils in Startklassen (meistens eine, für ausgewählte Gruppen zwei) und eine Landeklasse unterteilt werden. Dabei bilden die für die Schallemission besonders wichtigen Daten, wie Antriebsart, Triebwerksleistung, Startgewicht und Festlegungen der ICAO zu üblichen Flugverfahren, die Grundlage dieser Klassifizierung.

Die in der AzB veröffentlichten physikalisch-technischen Daten der Luftfahrzeugklassen bilden eine der wesentlichen Grundlagen für die Durchführung verschiedener Berechnungen zur Beurteilung der Fluglärmbelastung.

Ausgehend von den von Berlin Brandenburg GmbH zur Verfügung gestellten Ausgangsangaben und den in der Aufgabenstellung angeführten Beschränkungen werden in den Berechnungen zur Ermittlung der Fluglärmbelastung im Umfeld von SXF die in der Tabelle 2.2.1 definierten Flugzeuggruppen berücksichtigt.

Tabelle 2.2.1 Am Flughafen SXF operierende Luftfahrzeuggruppen gemäß AzB

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
1	P 1.4	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 2 bis 5,7 t	Piper PA-42, Cessna 421
2	P 2.1	Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3, Kapitel 4 oder Kapitel 10 entsprechen	ATR-42, Dash-8, DO-328
3	P 2.2	Propeller Flugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t, die nicht der Luftfahrzeuggruppe P 2.1 zugeordnet werden können	An-24
4	S 1.0	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 34 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 entsprechen.	Falcon, Gulfstream 2
5	S 1.2	Luftfahrzeuge des Luftfahrzeugmusters Boeing 737, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 2 entsprechen.	B-737-200
6	S 5.1	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) bis 50 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen	BAe-146, LJ 60, Citation
7	S 5.2	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis größer als 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 319, A 320, B-737, B-757



Lfd. Nr.	Bezeichnung	Beschreibung	Flugzeugtypen (Beispiele)
8	S 5.3	Strahlflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 50 t bis 120 t und einem Triebwerks-Nebenstromverhältnis bis 3, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	B-737-200, MD-81
9	S 6.1	Strahlflugzeuge mit zwei Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden	A 310, A 330, B-767
10	S 6.2	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 120 t bis 300 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen und nach 1982 gebaut wurden. Das Luftfahrzeugmuster Airbus A340 ist von dieser Gruppe ausgenommen, da es in der Gruppe S 6.3 gesondert erfasst wird. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 6.2	C-17, DC-10, KC-10, MD-11
11	S 6.3	Luftfahrzeuge des Luftfahrzeugmusters Airbus A340	A 340
12	S 7.0	Strahlflugzeuge mit drei oder vier Triebwerken und einer Höchststartmasse (MTOM) über 300 t bis 500 t, die den Anforderungen des Anhangs 16 zum Abkommen über die Internationale Zivilluftfahrt, Band I, Kapitel 3 oder Kapitel 4 entsprechen. a) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse bis 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. b) Starts mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7, deren aktuelle Startmasse mehr als 70 % der Höchststartmasse (MTOM) beträgt. a/b) Landungen mit Luftfahrzeugen der Luftfahrzeuggruppe S 7	B 747, AN-124
13	P-MIL 2	militärische Propellerflugzeuge mit einer Höchststartmasse (MTOM) über 5,7 t	C-160

Kurzdarstellung des neuen Berechnungsmodells

Zur Berechnung der Kenngrößen der Lärmbelastung wird ein Segmentierungsverfahren angewendet, das auf einer geeigneten Zerlegung der dreidimensionalen Flugbahn des Luftfahrzeugs in lineare Segmente basiert. Von jedem dieser Segmente trägt das Luftfahrzeug mit einem Beitrag E_i zur Schallexposition E an einem Immissionsort P bei. Das Segmentierungsverfahren ist in der nachfolgenden Abbildung 2.2.1 schematisch für den zweidimensionalen Fall dargestellt.

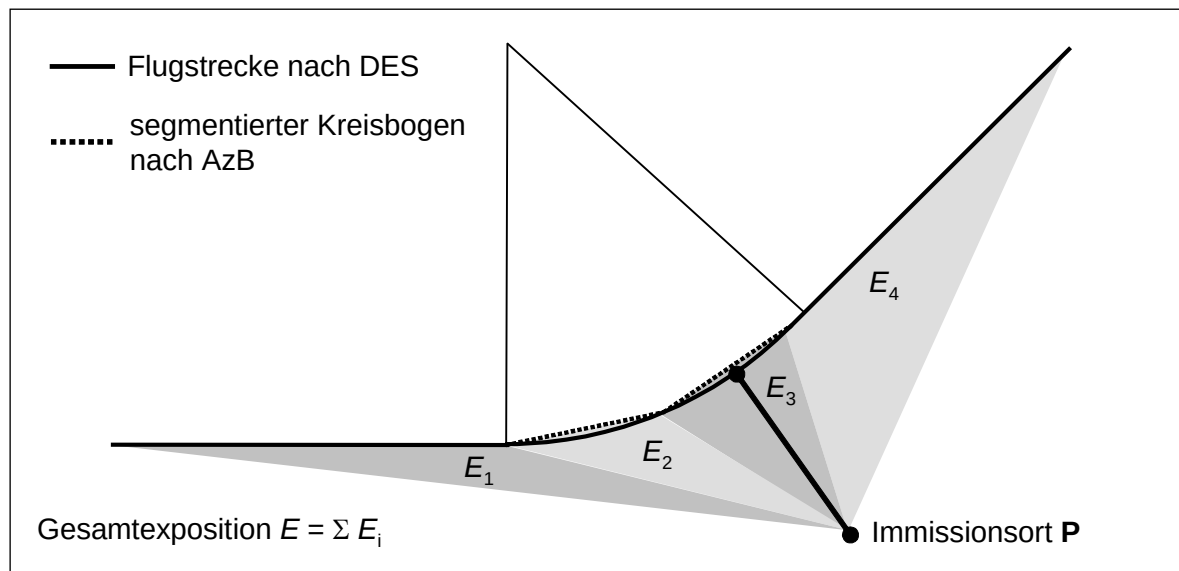


Abbildung 2.2.1 Prinzip der Segmentierung am Beispiel der Zerlegung eines kreisbogenförmigen Flugstreckensegments in zwei lineare Teilsegmente

Die äquivalenten Dauerschallpegel für die Tages- und Nachtzeit ergeben sich aus

$$L_{pASeq,Tag} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1,5 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Tag}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$L_{pASeq,Nacht} = 10 \cdot \lg \left[\frac{3 \cdot T_0}{T_E} \sum_{i=1}^{N_{Nacht}} 10^{0,1 \cdot L_{pAE,i}} \right] \quad \text{dB} \quad (2)$$

für die sechs verkehrsreichsten Monate des Prognosejahres.

mit:

$L_{pASeq,Tag}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für den Tag (6.00 bis 22.00 Uhr)
$L_{pASeq,Nacht}$	A-bewerteter korrigierter äquivalenter Dauerschallpegel für die Nacht (22.00 bis 6.00 Uhr)
T_E	Erhebungszeit in s ($T_E = 1,5552 \cdot 10^7$ s, d. h. 180 Tage)
T_0	Bezugszeit ($T_0 = 1$ s)

Σ	Summe über alle Flugbewegungen während der Erhebungszeit T_E
N_{Tag}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 6.00 und 22.00 Uhr
N_{Nacht}	Flugbewegungen während der Beurteilungszeit T_r zwischen 22.00 und 6.00 Uhr
i	hier: laufender Index des einzelnen Fluglärmereignisses
$L_{pAE,i}$	A-bewerteter Schallexpositionspegel, ermittelt aus der Geräuschemission des Luftfahrzeuges unter Berücksichtigung des Abstandes zur Flugbahn und der Schallausbreitungsverhältnisse

Das der neuen AzB zu Grunde liegende Modell geht von der Annahme einer bewegten Punktschallquelle aus, für die an jedem Punkt der Bahn die Schallleistung, die Geschwindigkeit sowie die Abstrahlcharakteristik bekannt sind. Die bewegte Punktschallquelle wird hier durch eine Linienschallquelle nachgebildet, die für die Berechnung der benötigten Immissionskenngrößen verwendet wird. Die einzelnen sich bewegenden Schallquellen repräsentieren die Luftfahrzeugklassen der AzB.

Zur Ermittlung der äquivalenten Dauerschallpegel sowie des Häufigkeits-Maximalpegelkriteriums an einem Immissionsort müssen die Beiträge aller im DES angegebenen Luftfahrzeugklassen in Form des Schallexpositionspegels L_{pAE} und des Maximalschalldruckpegels $L_{pAS,max}$ bestimmt werden.

Segmentierung der Flugbahn

Um das Modell der Linienschallquelle anwenden zu können, ist es zunächst notwendig, die dreidimensionale Flugbahn des betrachteten Luftfahrzeugs in geeigneter Form in eine Reihe von geradlinigen Segmenten zu zerlegen. Wie dies zu geschehen hat, ist in Abbildung 2.2.2 schematisch dargestellt.

Die dreidimensionale Flugbahn wird durch ihren Verlauf in der Bezugsebene sowie durch ein vertikales Flughöhenprofil (repräsentiert durch den Datensatz $H(\sigma')$ - siehe auch Abb. 2.2.2 unterer Teil) beschrieben. Diese Flugbahn wird in drei Schritten zerlegt:

1. Der erste Schritt der Segmentierung ist die Zerlegung der Flugstrecke bzw. des Flugweges. Bei der Berechnung werden alle im DES beschriebenen Flugstrecken berücksichtigt. Jede dieser Flugstrecken ist durch eine Folge von Abschnitten (Geraden, Kreisbögen) dargestellt. Kreisbögen werden in Sehnenstücke mit Bogenwinkeln von maximal 15° unterteilt. Dabei muss die Sehnenlänge ≤ 100 m sein. Dadurch ergibt sich eine Folge von geradlinigen Streckenteilabschnitten.
2. Die den jeweiligen Luftfahrzeugklassen zugeordneten Vertikalprofile stellen ebenfalls eine Folge von linearen Teilstücken dar, die als Profilsegmente bezeichnet werden. Art und Länge der Profilsegmente ergeben sich aus den Datenblättern der Luftfahrzeugklassen. Im zweiten Schritt wird nun die segmentierte Flugstrecke mit dem Flugprofil verschnitten. Daraus resultiert eine Folge von Flugbahnsegmenten, die als Grundlage der Berechnung dienen.
3. Im dritten Schritt werden aus den Bahnsegmenten durch Belegung mit luftfahrzeugklassenspezifischen Emissionen Bahnsegmente generiert. Es muss in so viele gleich lange Teilsegmente unterteilt werden, bis die Pegel der längenbezogenen Schallexpositionen

tion L_{WAE}' aufeinander folgender Bahnteilsegmente sich in keinem Fall um mehr als 1 dB unterscheiden. Die Bahnteilsegmente gehen dann als Schallquellen in die Berechnung ein.

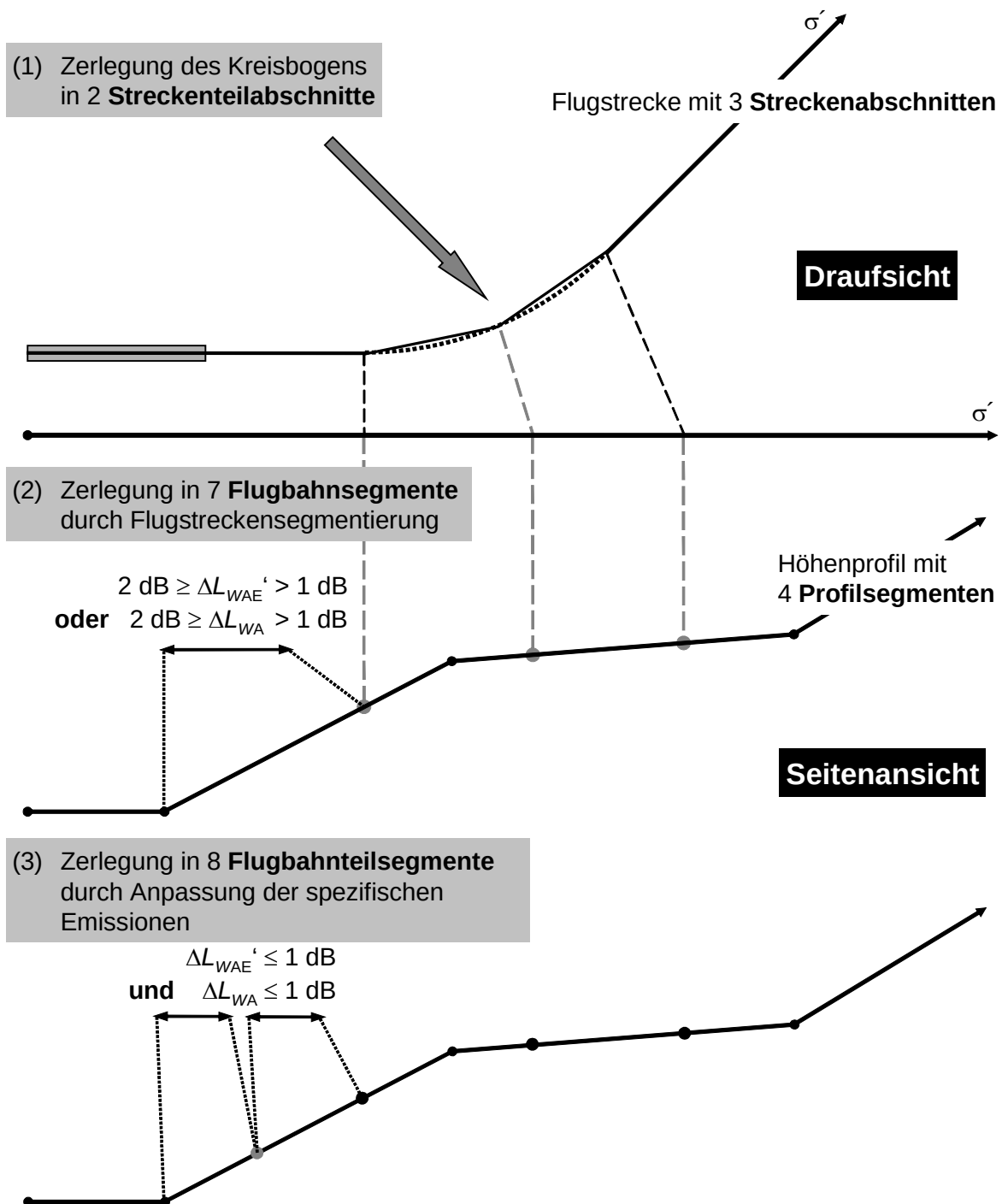


Abbildung 2.2.2 Prinzip des Segmentierungsverfahrens: σ' ist die Bogenlänge der Flugstrecke, $\Delta L_{WAE}'$ ist die Differenz des längenbezogenen Schallleistungsexpositionspegels zwischen zwei Bahnteilsegmenten

Bei Vorhandensein eines Flugkorridors werden der segmentierten Flugstrecke in Abhängigkeit von der Korridorbreite äquidistant verlaufende Flugwege zugeordnet. Bei Berechnungen gemäß AzB ist der Korridor in 15 gleichbreite Teilkorridore zu unterteilen, deren Mittellinie als Flugweg bezeichnet wird.

Die Flugwege liegen damit ebenfalls in segmentierter Form vor (Schritt 1). Die Werte der Kenngrößen $Z(\sigma')$, $V(\sigma')$ und $H(\sigma')$ an den Segmentenden der Flugwege werden von den zugehörigen Segmentenden der Flugstrecke (Flugweg 1) übernommen. Die weitere Segmentierung erfolgt wie in den Schritten 2 und 3 beschrieben (siehe dazu auch Abb. 2.2.2).

Generierung von Teilstücken

Beträgt die Länge eines Flugbahnteilsegmentes mehr als $1/10$ des kürzesten Abstandes r_0 eines Immissionsortes **P** zum Flugbahnteilsegment, so muss dieses Segment in Teilstücke unterteilt werden (Abbildung 2.2.3). Für den Fall $r_0 < 10$ m wird $r_0 = 10$ m gesetzt.

Die Teilung erfolgt ausgehend vom Punkt **Q**₀ auf der Basis des kürzesten Abstandes r_0 zum Flugbahnteilsegment durch sukzessive Bildung von Teilstücken, die der Bedingung

$$\frac{l_i}{r_i} = 0,1$$

genügen müssen. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene und es kann ein Lot mit dem Fußpunkt **Q**₀ von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ symmetrisch in Richtung auf die Segmentenden (symmetrische Teilstückbildung). Der Punkt **Q**₀ liegt in der Regel in der Mitte des Teilstückes mit der Länge l_0 .
- Flugbahnteilsegment und Immissionsort **P** liegen in einer Ebene, aber es kann kein Lot von **P** auf das Segment gefällt werden. In diesem Fall erfolgt die Teilstückbildung ausgehend vom Punkt **Q**₀ in Richtung auf das Segmentende. Das erste Teilstück erhält die Länge $l_0/2$.
- Es kann keine Ebene zwischen Immissionsort und Flugbahnteilsegment aufgespannt werden (dieser Fall kann nur auftreten, wenn der Immissionsort direkt hinter der Landebahn in Höhe der Schallquelle liegt). In diesem Fall erfolgt die Teilung nach Teilbild c) von Abbildung 2.2.3. Auch hier erhält das erste Teilstück nur die Länge $l_0/2$.

Bei der Bildung von Teilstücken ergeben sich in der Regel an den Segmentenden Teilstücke, die kürzer sind als gefordert.

Bei der Immissionsberechnung wird jedes Teilstück durch eine Punktschallquelle **Q**_i in ihrem Mittelpunkt ersetzt. In den Fällen, in denen kein Lot auf das Flugbahnteilsegment gefällt werden kann (Fälle b) und c) nach Abbildung 2.2.3), wird die Punktschallquelle im ersten Teilstück auf den Punkt **Q**₀ gelegt. Dadurch werden Fehler bei der Bestimmung des Maximalpegels minimiert (es ist immer $r_0 = s_0$). In die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels geht in diesen Fällen nur die Hälfte eines fiktiven Teilstücks der Länge l_0 mit der Ersatzschallquelle in der Teilstückmitte ein.

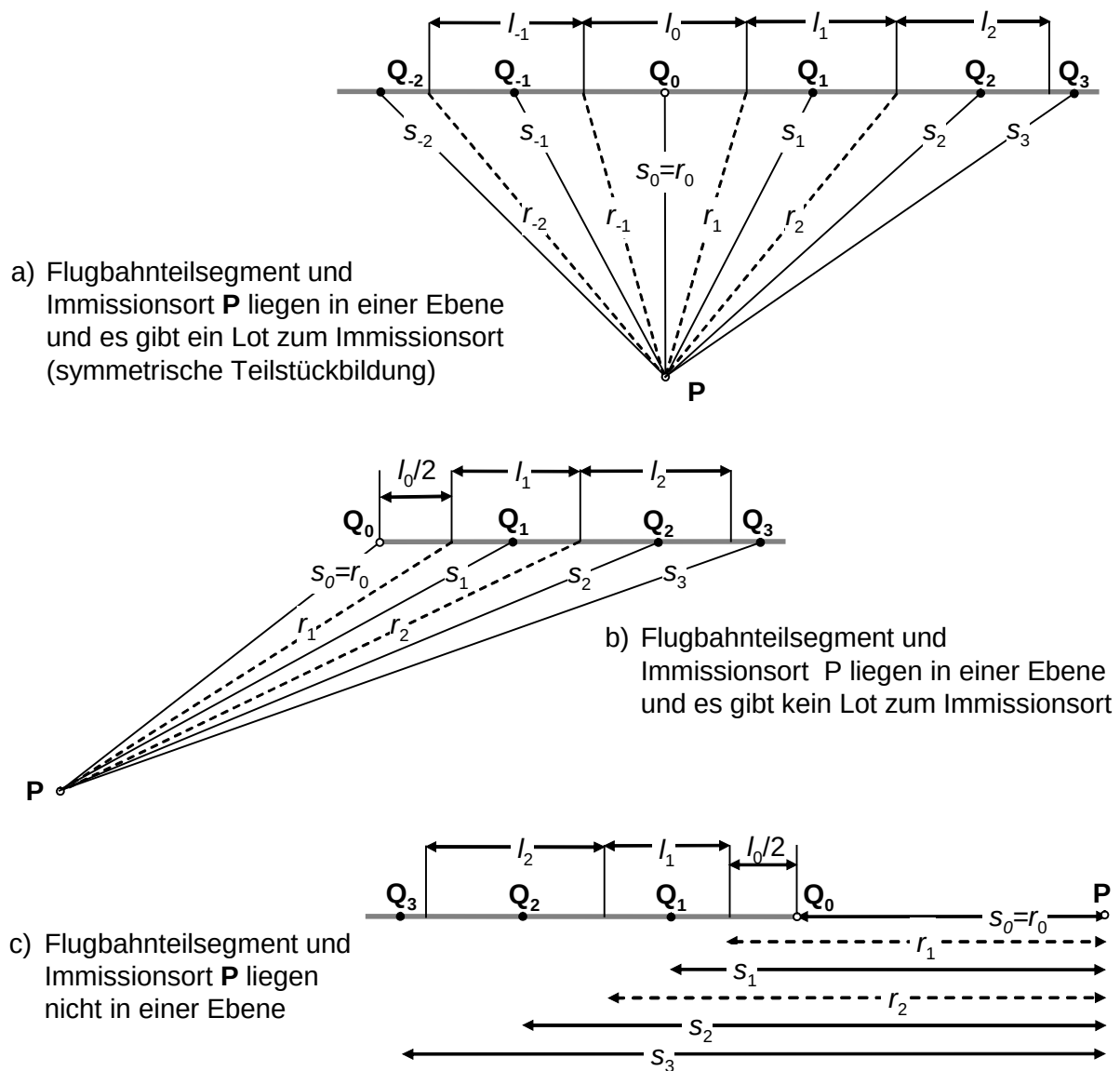


Abbildung 2.2.3 Unterteilung eines Flugbahnteilsegments in Teilstücke der Länge l_i ; r_i ist der kleinste Abstand zwischen Teilstück und Immissionsort **P**, s_i ist der Abstand der das Flugbahnteilsegment repräsentierenden Schallquelle (Darstellung nicht maßstabsgerecht)

3. Ausgangsangaben für die Berechnungen

Alle seit dem Jahr 2009 durchgeführten Fluglärmrechnungen zur Ermittlung von Lärmschutzbereichen an Flughäfen haben ergeben, dass der Bodenlärm (Rollverkehr und APU-Betrieb) nur einen äußerst geringfügigen und nur im Nahbereich um den Flughafen vorhandenen Einfluss auf die Größe der Fluglärmbelastung hat. Deshalb wurde vom Auftraggeber vorgegeben, wegen der relativ großen Entfernungen der Probandenadressen vom Flughafen die Bodenlärmquellen nicht zu berücksichtigen.

Entsprechend der Aufgabenstellung erfolgten die Fluglärmrechnungen auf der Grundlage der Flugbetriebsangaben der Flughafen Stuttgart GmbH für die Monate Oktober 2012 bis September 2013 [6] und der aktuellen Flugverfahren aus dem DES zur Ermittlung des Lärmschutzbereiches für den Flughafen Stuttgart [7].

Aus den übergebenen 125.849 Datensätzen wurden die in der nachfolgenden Tabelle 3.1 dargestellten Flugbewegungszahlen ermittelt.

Tabelle 3.1 Flugbewegungszahlen der Monate Oktober 2012 bis September 2013

Luftfahrzeuggruppe	Flugbewegungszahlen
H 1.1	118
H 1.2	3.675
H 2.1	40
H 2.2	356
P 1.3	34
P 1.4	3.325
P 2.1	14.135
P 2.2	58
P MIL-2	670
S 1.1	30
S 3.1	8
S 3.2	2
S 5.1	19.645
S 5.2	71.786
S 5.3	252
S 6.1	1.807
S 6.2	90
S 6.3	30
S 7	22
S-MIL 1	28
S-MIL 2	4
Summe	116.115

Für den Zeitraum Oktober 2012 bis September 2013 wurden 116.115 Datensätze (Flugbewegungen) übergeben, in denen 34 Flugbewegungen von Flugzeugen mit einer MTOM unter 2000 kg und Flugbewegungen von 4.189 Hubschraubern (87,7 % H 1.2, 8,5 % H 2.2, 2,8 % H 1.1 und 1,0 % H 2.1) enthalten waren, die entsprechend der Aufgabenstellung im Weiteren nicht mehr berücksichtigt wurden.

Von den verbleibenden 111.982 Flugbewegungen fehlten bei 5.813 Datensätzen die Angaben zu den genutzten Flugstrecken. Von diesen 5.813 Flugbewegungen konnten auf der Grundlage von in den anderen Datensätzen enthaltenen Angaben des Zielortes oder des Abflugortes 5.516 Flugbewegungen durch Analogieschluss der meistbeflogenen Flugstrecke zu einem Zielort oder von einem Abflugort zugeordnet.

297 Flugbewegungen konnten wegen vollständig fehlender Angaben keiner Flugstrecke zugeordnet werden, so dass für den Auswertungszeitraum insgesamt 111.595 Flugbewegungen (99,7 %) in den Fluglärmrechnungen verwendet werden konnten. Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Zeitscheiben ist in der nachfolgenden Tabelle 3.2 dargestellt.

Die Verteilung der Flugbewegungen auf die einzelnen Zeitscheiben ist in der nachfolgenden Tabelle 3.2 dargestellt.

Tabelle 3.2 Verteilung der Flugbewegungszahlen der Monate Oktober 2012 bis September 2013 auf die Kennzeichnungszeiten und Zeitscheiben

Zeitscheibe	Kennzeichnungszeit	
	alle Werktage	Samstage, Sonntage und Feiertage
05.00 - 06.00 Uhr	231	10
06.00 – 07.00 Uhr	5.859	1.971
07.00 - 08.00 Uhr	5.170	1.221
08.00 – 18.00 Uhr	46.808	16.548
18.00 - 19.00 Uhr	6.748	2.249
19.00 – 22.00 Uhr	13.179	4.127
22.00 - 23.00 Uhr	3.351	1.388
23.00 – 05.00 Uhr	1.949	786
Summe	83.295	28.300
Gesamtsumme	111.595	

Die Zuordnung der Flugbewegungen zu den Flugstrecken für den Gesamtzeitraum ist in den für jede Berechnungsvariante erstellten QSI-Datensatz enthalten und wurde mit den Berechnungsergebnissen übergeben und auf dem Server von MOPA abgelegt..

4. Durchführung der Berechnungen

Die Durchführung der Berechnungen erfolgte in zwei Schritten.

Im ersten Schritt wurden auf der Grundlage der oben dargestellten Ausgangsangaben für die getrennt für den Tag und die Nacht die Isophonen für die Pegelwerte von 40 dB(A) bis 65 dB(A) in Schritten von 5 dB ohne Beachtung der Zeitscheiben bestimmt.

Die Ergebnisse wurden auf topographischen Karten dargestellt und im weiteren für die Definition des Untersuchungsraumes genutzt.

Nach der Ermittlung der vorgenannten Isophonen erfolgte mit dem Programm AutoCAD Map eine Verschneidung der für den Untersuchungsraum übergebenen Hauskoordinaten zur Ermittlung von potentiellen Probandenadressen.

Im Ergebnis der Probandensuche und Auswahl wurden vom Auftraggeber 2.955 Datensätze mit Probandenadressen und den zugehörigen UTM-Koordinaten übergeben.

Für diese Adressen wurden dann entsprechend der Aufgabenstellung für die vorgegebenen Kennzeichnungszeiten „alle Werktage“ und „alle Samstage, Sonntage und Feiertage“ und die o.g. Zeitscheiben der äquivalenten Dauerschallpegel und die statistische Verteilung der Abwerteten maximalen Schallpegel von Fluglärmereignissen ab einem Pegel von 50 dB(A) in Schritten von 1 dB aufwärts ermittelt.

Entsprechende einer zusätzlichen Anforderung des Auftraggebers von Juli 2014 wurden auf der Grundlage der ermittelten Fluglärmdata für jede Probandenadresse durch Zusammenfassung von Zeitscheiben für die Kennzeichnungszeiten noch folgende Größen ermittelt .

- Fluglärmbelastung für den Gesamtzeitraum ohne Unterscheidung von Wochentagen für die vorgegebenen Zeitscheiben;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 06 bis 22 Uhr (Tag);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 22 bis 06Uhr (Nacht);
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 00 bis 24 Uhr (Gesamttag 24 Std.);
- L_{den} (D = 6 bis 18 Uhr, E = 18 – 22 Uhr, N =22 bis 06 Uhr);
- L_{day} 06 bis 18 Uhr;
- $L_{evening}$ 18 bis 22 Uhr;
- Fluglärmbelastung für die Zeitscheibe 18 bis 23 Uhr.

Die Ergebnisse für jede Probandenadresse wurden in Form von Excel-Dateien ebenfalls auf dem Server von MOPA bereitgestellt.

Strausberg, 18.08.2014



Rüdiger Bartel
Beratender Ingenieur



6. Glossar

AzB	-	Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD	-	Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb
ARP	-	Aerodrome Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
BAF	-	Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung
BER	-	Flughafen Berlin Brandenburg
DES	-	Datenerfassungssystem für Fluglärmrechnungen
DFS	-	Deutsche Flugsicherung
FlugLSV	-	Fluglärmenschutzverordnung
ICAO	-	International Civil Aviation Organization (Internationale Zivilluftfahrtorganisation)
IO	-	Immissionsort (Nachweisort)
L_{pAeq}	-	äquivalenter Dauerschallpegel (Mittelungspegel über alle Lärmereignisse innerhalb eines vorgegebenen Bezugszeitraumes)
L_{pAmax}	-	Maximaler A-Schallpegel
LuftVG	-	Luftverkehrsgesetz
LuftVODV	-	Durchführungsverordnung zur Luftverkehrs-Ordnung
MTOM	-	Maximum Take-Off Mass (Maximale Startmasse)
P_B	-	Bahnbezugspunkt
PFB	-	Planfeststellungsbeschluss
UBA	-	Umweltbundesamt

7. Quellenverzeichnis

- 1 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) in der Neufassung vom 10. Mai 2007, (BGBl. I S.698), geändert durch Art. 2 des Gesetzes vom 1. Juni 2007 (BGBl. I S 986)
- 2 Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluglärmG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S. 2550)
- 3 Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen – 1. FlugLSV) vom 27. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2980)
- 4 Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 5 Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008 (BAnz. Nr. 195a vom 23.12.2008)
- 6 Flugbetriebsdaten für den Flughafen Stuttgart Oktober 2012 bis September 2013, Flughafen Stuttgart GmbH, Dezember 2013
- 7 Datenerfassungssystem Flughafen Stuttgart , OTSD GmbH, August 2010



- Legende:**
- Fluglärmkontur L = 40 dB(A)
 - Fluglärmkontur L = 45 dB(A)
 - Fluglärmkontur L = 50 dB(A)
 - Fluglärmkontur L = 55 dB(A)
 - Fluglärmkontur L = 60 dB(A)
 - ✦ Flughafenbezugspunkt

Maßstab 1 : 50 000

Vorhaben

NORAH
Noise Related Annoyance, Cognition and Health

Planverfasser AVIA Consult Ingenieurbüro für Flugplatzplanung und Fluglärmberatung 15344 Strausberg Bahnhofstraße 15 Tel. +49 3341 422211 info@avia-consult.de		bearbeitet gezeichnet geprüft	Datum 27.11.2012 27.11.2012 27.11.2012	Name/Zeichen Scheiber Scheiber Bartel

Planungsphase	Projekttitel Bestimmung der Fluglärmkonturen zur Ermittlung von Probandenadressen im Umfeld des des Flughafens Stuttgart	Projektnummer FL-02/2012
Maßstab 1 : 50 000	Inhalt/Zeichnungsname Fluglärmkonturen 40, 45, 50, 55 und 60 dB(A) Tag gemäß DES Lärmschutzbereich 2020	Zeichn.- / Plan-Nr. EDDS-FL02-pl1