

NORAH

Noise-related annoyance, cognition, and health

Verkehrslärmwirkungen im Flughafenumfeld

Erfassung der Verkehrsgeräuscheexposition

Zwischenbericht, Band 2:

Dokumentation zur Berechnung der akustischen Daten in Modul 3 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“

AUTOREN, PROJEKTBEARBEITUNG

Möhler Ulrich

Möhler + Partner Ingenieure AG, 80336 München

Liepert Manfred

Mühlbacher Maximilian

HERAUSGEBER, AUFTRAGGEBER

Gemeinnützige Umwelthaus GmbH

Rüsselsheimer Str. 100

65451 Kelsterbach

GESAMTKOORDINATION DER NORAH-STUDIE

Rainer Guski

Ruhr-Universität Bochum

Dirk Schreckenberg

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

INTERNEN QUALITÄTSSICHERUNG DIESES TEILPROJEKTS

Berthold Vogelsang

Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie
und Klimaschutz, Hannover

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT - DER EXTERNEN QUALITÄTSSICHERUNG

Mark Brink

Bundesamt für Umwelt, CH-Bern

Erland Erdmann

Universität zu Köln

Kerstin Giering

Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld

Barbara Griefahn

Leibnitz-Institut für Arbeitsforschung, TU Dortmund

Jürgen Hellbrück

Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt (ab
Januar 2014)

Wolfgang Hoffmann

Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Christian Maschke

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbrau-
cherschutz Brandenburg, Potsdam (bis Dezember
2013)

Lothar Ohse

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
Wiesbaden

Georg Thomann

Amt für Natur und Umwelt, CH-Graubünden

Irene van Kamp

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, NL-
Bilthoven

Joachim Vogt

Technische Universität Darmstadt (ab Januar 2014)

30. August 2014

ZUR STUDIE NORAH - VERKEHRSLÄRMWIRKUNGEN IM FLUGHAFENUMFELD - ER- SCHIENENE BÄNDE

- Band 1 Kognitive Entwicklung von Kindern
- Band 2 Erfassung der Verkehrsgeräuschexpositionen
- Band 3 Belästigung und Lebensqualität
- Band 4 Auswirkungen von Fluglärm auf den nächtlichen Schlaf
- Band 5 Blutdruckmonitoring
- Band 6 Erkrankungsrisiken
- Band 7 Gesamtbetrachtung
- Band 8 Kurzfassung - DE

Inhalt

Inhalt	5
Tabellenverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	8
1 Vorbemerkung	10
2 Grundlagen und Methodik	11
2.1 Datengrundlagen.....	11
2.1.1 Topographie	11
2.1.2 Luftverkehr	11
2.1.3 Straßenverkehr	11
2.1.4 Schienenverkehr	12
2.1.5 Immissionsorte	12
2.2 Berechnungsmethodik	13
2.2.1 Erstellen des Geländemodells als Grundlage für die akustischen Berechnungen	13
2.2.2 Gebäude und Lage der Immissionsorte	14
2.2.3 Berechnung der Luftverkehrsgeräusche	15
2.2.4 Berechnung der Straßenverkehrsgeräusche	16
2.2.5 Berechnung der Schienenverkehrsgeräusche	18
2.2.6 Ermittlung der Innenpegel	19
3 Verwendete akustische Kenngrößen	23
3.1 Allgemein	23
3.2 Außenpegel	23
3.2.1 Luftverkehr	23
3.2.2 Straßenverkehr	26
3.2.3 Schienenverkehr	27
3.3 Innenpegel.....	29
3.4 Abschneidekriterium	29
4 Ergebnisse	33
4.1 Ergebnisse an den Wohnorten	33
4.1.1 Luftverkehrsaußenpegel	33
4.1.2 Straßenverkehrsaußenpegel.....	35

4.1.3 Schienenverkehrsaußenpegel	37
4.2 Ergebnisse an den Schulen	39
4.2.1 Luftverkehrsaußenpegel und -innenpegel	39
4.2.2 Straßenverkehrsaußenpegel und -innenpegel	41
4.2.3 Schienenverkehrsaußenpegel und -innenpegel	43
Literatur, Glossar	45
Literatur	46
Glossar, Abkürzungsverzeichnis	49
Erläuterungen zu gewählten Schallpegelbezeichnungen	49
Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Exemplarische Modellgeschwindigkeiten	18
Tabelle 2-2: Korrektursummanden K in dB für übliche Verkehrssituationen (VDI 2719, 1987)	21
Tabelle 3-1: Akustische Kenngrößen zu den Luftverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Schulstandorten	25
Tabelle 3-2: Akustische Kenngrößen zu den Straßenverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Schulstandorten	26
Tabelle 3-3: Akustische Kenngrößen zu den Schienenverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Grundschulstandorten.....	28
Tabelle 3-4: Akustische Kenngrößen zu den Innenpegeln an den Schulen	29
Tabelle 3-5: Messstationen zur Auswertung der Ruhepegel am Frankfurter Flughafen (UNH, 2013)	30
Tabelle 3-6: Hintergrundpegel L _{pA} , 95,4h an den Messstationen (UNH, 2013)	32
Tabelle 5-1: Einflussfaktoren je Geräuschquellenart mit Einschätzung der Unsicherheit...	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Lage der zur Berechnung erzeugten Immissionsorte.....	13
Abbildung 3-1: Entwicklung Gesamtverkehr und Personen- / Schwerverkehr in Hessen „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“ (Hessen Mobil, 2010) ...	27
Abbildung 3-2: Zeitverlauf des Kurzzeit-Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s(t)}$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Gernsheim 1 Uhr bis 2 Uhr 0.....	31
Abbildung 3-3: Zeitverlauf des Kurzzeit-Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s(t)}$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden 1 Uhr bis 2 Uhr 0.....	31
Abbildung 4-1: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr).....	33
Abbildung 4-2: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr).....	34
Abbildung 4-3: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr).....	35
Abbildung 4-4: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr).....	36
Abbildung 4-5: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr).....	37
Abbildung 4-6: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr).....	38
Abbildung 4-7: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 08 - 14 Uhr.....	39
Abbildung 4-8: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 08 - 14 Uhr.....	40
Abbildung 4-9: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr.....	41
Abbildung 4-10: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr.....	42
Abbildung 4-11: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr.....	43
Abbildung 4-12: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr.....	44

1 Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht beschreibt und dokumentiert die Berechnungsergebnisse zu Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen für das Modul 3 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern. Der Bericht stellt eine Vorabinformation dar; nach Abschluss der Studie wird ein Gesamtbericht zur Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition in allen Modulen erstellt, in dem weitergehende Erläuterungen und Auswertungen beschrieben werden.

Aufgabenstellung ist die Ermittlung der akustischen Außenbelastung für 1.309 Wohnorte sowie der akustischen Außen- und Innenbelastung an 29 Schulen der drei Geräuschquellenarten Luft-, Straßen- und Schienenverkehr im Bereich des Regierungsbezirks Darmstadt für die Erhebungszeit 16.05.2011 bis 15.05.2012. Zu diesem Zweck wurden akustische Rechenmodelle unter Verwendung von digitalen Eingangsdaten erstellt.

Im nachfolgenden Bericht werden zunächst die Modellbildung der akustischen Rechenmodelle sowie die verwendeten Eingangsdaten erläutert. Daran anschließend werden die Grundlagen beschrieben, die für die Berechnungen der Außen- und Innenbelastung durch Verkehrsgeräusche notwendig sind. Abschließend werden die Berechnungsergebnisse dargestellt.

2 Grundlagen und Methodik

2.1 Datengrundlagen

2.1.1 Topographie

Für die Fläche des Regierungsbezirks Darmstadt wurde das digitale Geländemodell mit Kachelgröße 10 m x 10 m (DGM 10) aus dem Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS) des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) verwendet (HVBG, 2012). Zusätzlich wurde zur Berechnung der Belastung durch Luftverkehr für die Fläche des Regierungsbezirks Darmstadt das Digitale Geländemodell mit Kachelgröße 50 m x 50 m (DGM 50) vom Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH (UNH) genutzt (UNH, 2012).

Im Regierungsbezirk Darmstadt wurden Schallschutzwände an Straßen aus der Zentralen Geodatenbank für Lärm zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (EG, 2002) des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG), mit Stand 2007, übernommen (HLUG, 2011). Schallschutzwände an Schienen wurden den Ergebnisdaten aus der EU-Lärmkartierung für die Lärmaktionsplanung (LAP) des Eisenbahn Bundesamtes (EBA), mit Stand 23.03.2010, entnommen (EBA, 2010). Angaben zu den Längen der Schallschutzwände waren in den Ausgangsdaten enthalten. Höhenangaben waren nur teilweise enthalten und mussten pauschalisiert werden (siehe Abschnitt 2.1.1)

Die Gebäude im Umgriff des Regierungsbezirks Darmstadt wurden anhand von Hausumringen des digitalen Liegenschaftsmodells (DLM) aus dem ATKIS des HVBG modelliert (HVBG, 2012). Angaben zu Gebäudehöhen waren in den Ausgangsdaten nicht vorhanden und wurden daher pauschalisiert (siehe Abschnitt 2.2.2).

2.1.2 Luftverkehr

Die Beschreibung des Luftverkehrs erfolgte am Flughafen Frankfurt am Main auf Basis von Radardaten. Dazu wurden von der Deutschen Flugsicherung GmbH (DFS) Radardaten des Flight Track and Monitoring System (FANOMOS) in einem 65 km Radius um den Flughafenbezugspunkt (ARP) übergeben. Die FANOMOS Radardaten decken die Erhebungszeiten 01.10.2010 - 30.09.2011 und 01.10.2011 - 30.09.2012 ab (DFS, 2013).

2.1.3 Straßenverkehr

Dem Straßenverkehr im Regierungsbezirk Darmstadt wurde 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, 2011). Zur Prüfung des VISUM Modells 2005 auf Vollständigkeit sowie der zeitlichen Veränderung der Verkehrssituation, wurden die digitalen Straßennetze und die digitalen Zählstellenpunkte der Straßenverkehrszählung (SVZ) - inklusive Verkehrsmengen - der Jahre 2005 und 2010 von Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement verwendet (Hessen Mobil, 2012). Zusätzlich wurden zur Prüfung der historischen Veränderung der Verkehrssituation die Ergebnistabellen der Straßenver-

kehrszählung für den Regierungsbezirk Darmstadt der Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 verwendet (Hessen Mobil, 2012).

In den Ausgangsdaten sind die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), Schwerverkehrsanteile (SV-Anteile) p_{Lkw} , Straßentypen sowie die Ergebnisse der Bundesverkehrszählung der Zählabschnitte enthalten.

Ein Vergleich des VISUM Modells 2005 mit den Ergebnissen der SVZ 2005 und 2010 sowie der Lärmkartierung zeigte, dass der größte Fehler auftritt, wenn Straßen weder in der Bundesverkehrszählung noch in der Lärmkartierung erfasst werden. Dies ist in allen Regionen außerhalb der als Ballungsraum definierten Gebiete der Fall. 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 festzustellen und ggf. die Verkehrsdaten des VISUM Modells 2005 zu korrigieren.

2.1.4 Schienenverkehr

Zur Beschreibung des Schienenverkehrs wurden die Schienenstrecken den Ergebnisdaten aus der EU-Lärmkartierung für die Lärmaktionsplanung (LAP) des Eisenbahnbundesamtes (EBA) mit Stand 23.03.2010 (EBA, 2010) entnommen und mit einem detaillierten Zugmengerüst für das Jahr 2010 des Bahnumweltzentrums (BUZ) Berlin, Stand 22.09.2011, verbunden (BUZ, 2011). In den Daten sind die Anzahl der Zugfahrten „tags“ (06 - 22 Uhr) und „nachts“ (22 - 06 Uhr), Geschwindigkeiten der Züge, Zuglängen, Zuschläge für Zugtypen sowie ein Verzeichnis der örtlich zulässigen Geschwindigkeiten mit Stützpunktkoordinaten der Geschwindigkeitswechsel enthalten.

Das Streckennetz im akustischen Rechenmodell entspricht dem Schienennetz der Deutschen Bahn (DB) für den Umgriff des Regierungsbezirks Darmstadt. Straßenbahnen wurden nicht berücksichtigt.

2.1.5 Immissionsorte

.In Abbildung 2-1 ist die Lage der 1.309 Wohnorte sowie der 29 Grundschulen dargestellt, die zur Untersuchung der „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“ von der Technischen Universität Kaiserslautern (TUKL) ausgewählt wurden.

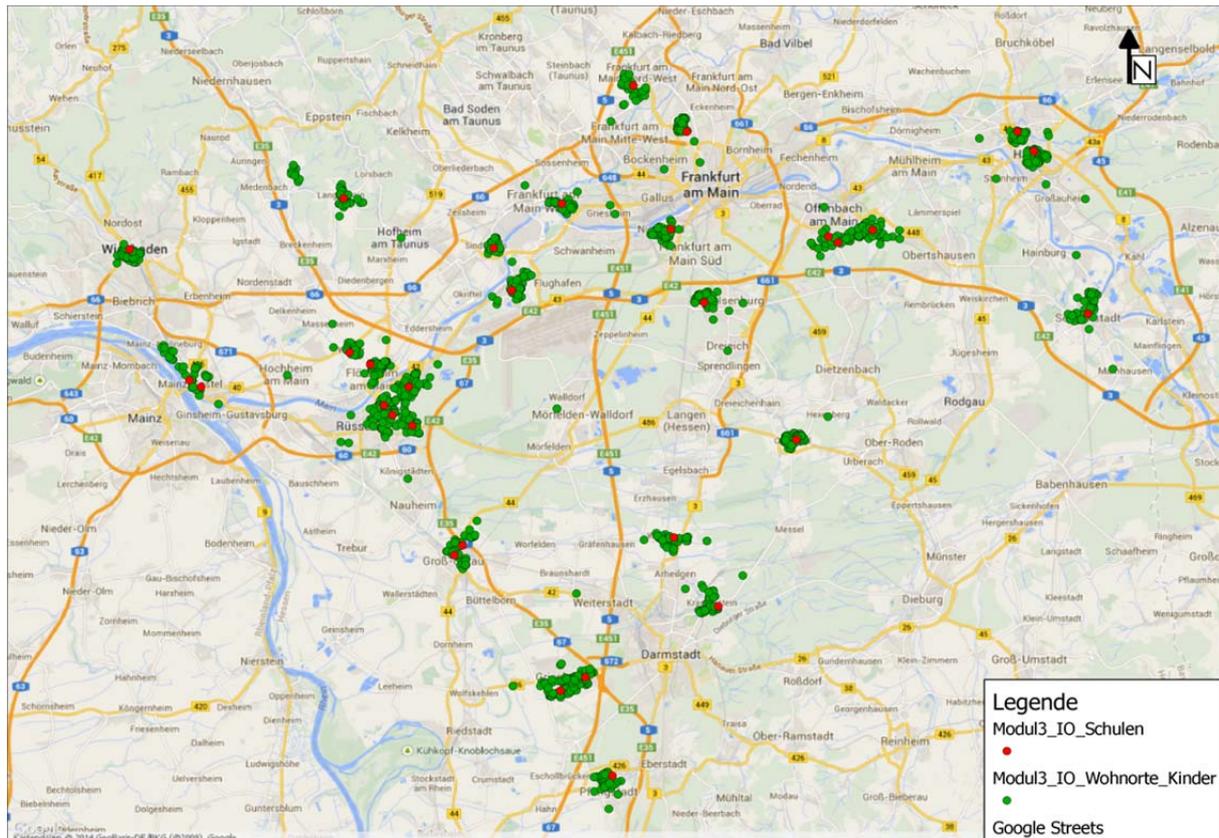


Abbildung 2-1: Lage der zur Berechnung erzeugten Immissionsorte

Zur Berechnung der Innenpegel an den 29 Schulen wurden Erhebungen der Außenbauteile und der Nachhallzeiten T gemäß DIN 18041 und VDI 2719 in 85 Klassenräumen durchgeführt (DIN 18041, 2004; VDI 2719, 1987). Diese Ergebnisse der Erhebungen wurden durch das Hörzentrum Oldenburg (HÖRZ) zur Verfügung gestellt (HÖRZ, 2012; HÖRZ, 2013) und sind im Hauptbericht zu Modul 3 dokumentiert.

2.2 Berechnungsmethodik

2.2.1 Erstellen des Geländemodells als Grundlage für die akustischen Berechnungen

Die aus der Zentralen Geodatenbank für Lärm zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (EG, 2002) des HLUg (HLUG, 2011) und der EU-Lärmkartierung für die LAP des EBA (EBA, 2010) übernommenen Maßnahmen zur Berücksichtigung des aktiven Schallschutzes im Regierungsbezirk Darmstadt wurden anhand von Luftbildaufnahmen aus Google Earth, mit Stand 2005, abgeglichen (Google Earth, 2005). Dazu wurden alle Straßen- und Schienenstreckenverläufe „abgefahren“. Fehlende Schallschutzwände wurden aus Google Earth digitalisiert und deren Höhen anhand des Schattens abgeschätzt und in Relation zu benachbarten Gebäuden überprüft. Schallschutzwände an Straßen wurden in der Regel mit einer Höhe von 3 m über der Fahrbahn, Schallschutzwände an Schienenstrecken mit 2 m über der Gleisoberkante abgeschätzt. Die Abschirmwirkung wurde zur Quelle hin als hochabsorbierend angenommen.

Schallschutzwälle sind grundsätzlich im DGM 10 enthalten und wurden mit zusätzlichen Höhenpunkten vervollständigt, wenn sie im DGM nicht richtig wiedergegeben werden.

Die Verläufe der Straßen (und Schienenstrecken) wurden mit dem DGM überlagert und visuell geprüft, um das „abtauchen“ unter das Gelände zu vermeiden. Dazu wurde das Modell visuell geprüft und auftretende Höhenausreißer weitestgehend korrigiert. Zusätzlich wurden an Straßenverläufen die Steigungen überprüft. Aufgrund der Größe des Modells konnte jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Höhenausreißer (meistens an Abbiegestreifen in Knotenpunkten) übersehen wurden, daher wurde mit einer Steigungsbegrenzung von 10 % gearbeitet. Alle Brücken, die andere Verkehrswege schneiden, sowie große Talbrücken wurden im Berechnungsmodell berücksichtigt, wenn dies aus der Gradienten erkennbar war.

2.2.2 Gebäude und Lage der Immissionsorte

Für die Erstellung des Rhein-Main-Panels erfolgte die Datenaufbereitung durch Verschneidung der Probanden-Adressen mit den im Umgriff des Einzugsbereiches vorliegenden Hausumringen des DLM aus dem ATKIS des HVBG (HVBG, 2012). Durch die Verschneidung wurden den Grundschulen und den Wohnorten der Kinder die entsprechenden Gebäude zugeordnet, für die dann sog. Gebäudelärmkarten berechnet wurden. Die Aufteilung der Immissionsorte je Fassade an den Gebäuden erfolgte nach den Vorgaben der vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm (VBEB) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in einer Berechnungshöhe von 4m über Gelände (BMU, BMVBS, 2007). Die Gebäudehöhen wurden pauschal wie folgt angesetzt:

1. Wohngebäude allgemein 9 m;
2. Wohngebäude in Ballungsräumen 12 m;
3. Wirtschafts- und Nebengebäude 8 m;
4. Gebäude (< 50 m²) 3 m.

Die Berechnungen der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche erfolgten für die nach VBEB definierten Punkte an allen Seiten der jeweiligen Gebäude unter Berücksichtigung der Gebäudeabschirmung. Für die 1.309 Wohnorte wurde der für die jeweilige Schallquelle maßgebliche höchste Schalldruckpegel („lauteste Fassade“) ausgewählt. An den 29 Schulen wurde aus den Angaben zur Ausrichtung der Fenster bezüglich der Schallquelle die maßgebliche Fassade bestimmt, an der der Außenpegel berechnet wurde.

Die Belastung durch den Luftverkehr wurde an den Wohnorten und Schulen jeweils für die Gebäudeschwerpunktcoordinate (Coordinate des Flächenschwerpunktes) ohne Berücksichtigung der Gebäudeabschirmung gemäß der ersten Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV), Anlage 2: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) bestimmt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

Die Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche wurden mit der Software SoundPLAN Version 7.3 durchgeführt (Braunstein & Berndt, 2013).

2.2.3 Berechnung der Luftverkehrsgeräusche

Die akustische Belastung durch den Luftverkehr wurde nach den Rechenalgorithmen der AzB ermittelt (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Art und Umfang der notwendigen Eingangsdaten beschreibt die Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD) (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008). Im Rahmen der NORAH-Studie beschränkt sich der Flugbetrieb auf den nicht bodengebundenen Luftverkehr. Zusätzlich wurde anstelle der Verwendung der hochaggregierten Datenerfassungssysteme (DESe) nach AzD auf individuelle Flugspuren (d. i. FANOMOS-Radardaten) als Eingangsdaten zurückgegriffen. Jede Flugspur repräsentiert einen Flug eines bestimmten Luftfahrzeugtyps. Gemäß AzD werden zur Modellierung der Schallquellen verschiedene Luftfahrzeugtypen anhand ihrer Höchststartmasse (MTOM) zu Luftfahrzeugklassen zusammengefasst (1. FlugLSV, Anlage 1, 2008). Für jede Luftfahrzeugklasse als Schallquelle sind in der AzB Emissionsdaten angegeben, die zur Berechnung der Immissionen verwendet werden. Aus den Radardaten wurden folgende Parameter für die Berechnungen verwendet:

1. x-Koordinaten der Flugbewegungen;
2. y-Koordinaten der Flugbewegungen;
3. Höhenprofile (ohne barometrische Korrektur);
4. Geschwindigkeitsprofile.

Die nach AzB vorgesehenen Parameter für Geschwindigkeit V und Höhe H einer Luftfahrzeugklasse wurden durch die in den Radardaten der einzelnen Flüge enthaltenden Angaben ersetzt. Auf Grundlage dieser Daten wurden die äquivalenten Langzeitmittelungsschalldruckpegel (kurz Mittelungspegel) L_{pA,eq,T_i} , die Maximalschalldruckpegel - Häufigkeitsverteilung (kurz Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung) und der mittlere Maximalschalldruckpegel (kurz Maximalpegel) $\overline{L_{pAS,max,T_1}}$ für die in Abschnitt 3.2.1 aufgeführte Erhebungszeit T_E , in Abhängigkeit der Kennzeichnungszeiten (Zeitintervall der Mittelung) T_K und der Mittelungszeiten (Zeitscheiben) T_i mit Hilfe nachfolgender Vorgehensweise berechnet.

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

1. Die einzelnen Vorbeiflüge der Luftfahrzeugklassen erzeugen am Immissionsort im Abstand s innerhalb der Kennzeichnungszeit T_K Teilpegelbeiträge zum Mittelungspegel (Dauerschallpegel) gemäß AzB (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).
2. Diese Teilpegel (Schallexpositionspegel) werden energetisch aufsummiert und auf einen mittleren Tag bezogen, dessen Definition sich aus der Kennzeichnungszeit T_K ergibt. Anschließend wird dieser Langzeitsummenpegel auf die jeweilige Mittelungszeit (Zeitscheiben) $T_i > 1$ h umgerechnet.
3. Die Kennzeichnungszeit T_K kann sich sowohl auf alle Tage innerhalb der Erhebungszeit T_E oder auf eine Teilmenge (z. B. alle Tage eines Monats ohne das Wochenende) beziehen. Bei den berechneten Mittelungspegeln handelt es sich um Langzeitmittelungspegel.

Beispiel: Berechnung Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung

1. Jeder Vorbeiflug erzeugt entsprechend seiner Luftfahrzeugklasse am Immissionsort im Abstand s innerhalb der Kennzeichnungszeit T_K genau einen Maximalpegel zuzüg-

lich der Luftfahrzeugklassenspezifischen Standardabweichung $Q_{\sigma,k}$ gemäß AzB (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

2. Für die Häufigkeitsverteilung werden Pegelklassen mit einer Schrittweite von 1 dB gebildet.
3. Die Häufigkeitsverteilung wird auf einen mittleren Tag der jeweiligen Kennzeichnungszeit T_K bezogen.

Bei der Berechnung der Vorbeiflüge ergibt sich aus den Algorithmen der AzB eine Verteilung von Maximalpegeln $L_{pAS,max,i}$ (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008). Während bei den Rechenmethoden für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche der $\overline{L_{pAF,max}}$ aus separaten Berechnungen ermittelt werden muss, kann der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max}}$ für Luftverkehrsgeräusche aus der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung nach AzB berechnet werden. Als Maximalpegel wurde - in Anlehnung an das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm (FluLärmG) - in vorliegenden Daten der Maximalpegel definiert, der im Mittel innerhalb der Mittelungszeit T_i und bezogen auf die jeweilige Kennzeichnungszeit T_K durch 6 Vorbeiflüge (sog. noise above threshold (NAT) 6 - Kriterium) erreicht oder überschritten wird (FluLärmG, 1971). Ein Schwellwert für den Maximalpegel (vgl. 1. FlugLSV, Anlage 2, 2008; FluLärmG, 1971) wurde nicht vorgegeben. Zur Ermittlung des 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 $\overline{L_{pAS,max}}$ ausgewiesen. Da die Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen für verschiedene Zeitscheiben T_i berechnet werden, können für jede Mittelungszeit unterschiedliche mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,T_i}}$ erzeugt werden (1. FlugLSV, Anlage 2, 2008).

2.2.4 Berechnung der Straßenverkehrsgeräusche

Die Berechnungen der akustischen Belastung durch Straßenverkehr erfolgten 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). Zu- oder Abschläge für Straßenkreuzungen sind in dieser Rechenvorschrift nicht vorgesehen. Ergänzend zu den in der VBUS vorgesehenen Beurteilungsgrößen L_{den} und L_{night} wurden die ungewichteten Mittelungspegel L_{pA,eq,T_i} für die Mittelungszeiten T_i (Tag: 06-18 Uhr, Abend: 18-22 Uhr und Nacht: 22-06 Uhr) berechnet (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

Zur Bestimmung des Maximalpegels an Straßen existieren derzeit keine geregelten Berechnungsverfahren, daher wurde die Berechnung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max}}$ für Straßen wie folgt abgeleitet:

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 zunächst nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS 90) - des Bundesministers für Verkehr, Abteilung Straßenbau (BMVI) - Gleichung 8 der Mittelungspegel L_{Lkw} für 1 Lkw /h berechnet (BMVI, 1990):

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

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

v_{Lkw} Geschwindigkeit in km/h

Aus der Geometrie einer Punktschallquelle ergibt sich der längenbezogene A-bewertete Schalleistungspegel L'_{WA} bezogen auf 1 m:

$$L'_{WA} = L_{m,E} + 19,2 \text{ dB} = L_{Lkw} + 19,2 \text{ dB} \quad 2$$

$L_{m,E}$ Emissionspegel in dB

Über den Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung L'_{WA} kann auf den A-bewerteten Schalleistungspegel der Straße als Linienschallquelle geschlossen werden. Es ergibt sich:

$$L_{WA} = L'_{WA} + 10 \lg(l) = L'_{WA} + 10 \lg(100 * v_{Lkw} * T_B) = L_{Lkw} + 10 \lg(v_{Lkw}) + 49,2 \text{ dB} \quad 3$$

L_{WA} A-bewerteter Schalleistungspegel in dB

L'_{WA} Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung in dB

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

l Länge der Schallquelle in m

v_{Lkw} Geschwindigkeit in km/h

T_B Bezugszeit 1 h

Als akustisches Ersatzmodell wird die Fahrzeugbewegung als bewegte Punktschallquelle beschrieben und diese durch einen A-bewerteten Schalleistungspegel L_{WA} gekennzeichnet. Bei geringstem Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort kann daraus nach DIN ISO 9613-2 der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAF,max}}$ berechnet werden (BMVI, 1990; DIN ISO 9613-2, 1999).

Zur Erstellung des Berechnungsmodells zu Straßenverkehrsgeräuschen wurden folgende Annahmen bei der Aufbereitung der Ausgangsdaten getroffen:

1. Die Verteilung des DTV und der Schwerverkehrsanteile auf die Zeitscheiben Tag, Abend und Nacht erfolgte in Hessen auf Basis der in der VBUS angegebenen Faktoren in Abhängigkeit von der Straßengattung (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

2. Die Straßengattungen wurden aus dem VISUM Modell für das Land Hessen für das Jahr 2005 entnommen (HLSV, 2011).
3. Die Geschwindigkeiten in Hessen wurden aus den o.a. VISUM-Daten abgeleitet. Tabelle 2-1 enthält ein Beispiel für die Ansätze der Geschwindigkeiten.

Tabelle 2-1: Exemplarische Modellgeschwindigkeiten

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 wurde bei Straßen mit $v=100/80$ km/h Split-Mastix - Asphalt entsprechend dem heutigen Einbaustandard angesetzt und damit mit -2 dB beaufschlagt. Alle anderen Straßen wurden mit 0 dB beaufschlagt.
5. Bei beiderseits geschlossener Randbebauung sind Mehrfachreflexionen im Berechnungsmodell berücksichtigt.
6. Steigungen wurden aus dem DGM abgeleitet. Zur Vermeidung von Unplausibilitäten (durch punktuelle Höhenausreißer im DGM) wurde mit einer Steigungsbegrenzung gearbeitet. Verbliebene Zuschläge für Steigungen > 10 % wurden ignoriert.
7. Gemäß VBUS wurden Fahrtrichtungen an mehrstreifigen Straßen berücksichtigt (34. BImSchV, Anlage 3, 2006). Die Emissionsbänder - und damit der Verkehr - wurden je Fahrtrichtung auf die äußersten beiden Fahrstreifen gelegt.

2.2.5 Berechnung der Schienenverkehrsgeräusche

Die Berechnungen der akustischen Belastung durch Schienenverkehr erfolgte nach der vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch) (34. BImSchV, Anlage 2, 2006). Eine Korrektur für die geringere Lästigkeit des Schienenverkehrs (Schienenbonus) ist nicht berücksichtigt. Ergänzend zu den in der VBUSch vorgesehenen Beurteilungsgrößen L_{den} und L_{night} wurden die ungewichteten Mittelungsschalldruckpegel L_{pA,eq,T_i} für die Mittelungszeiten T_i Tag 06-18 Uhr, Abend 18-22 Uhr und Nacht 22-06 Uhr berechnet (34. BImSchV, Anlage 2, 2006).

Zur Bestimmung des Maximalpegels an Schienenwegen existieren derzeit keine geregelten Rechenvorschriften, daher wurden Maximalpegelkriterien aus der Literatur abgeleitet. Der mittlere Maximalpegel aus Schienenverkehr berechnet sich über folgenden Zusammenhang (Möhler, 1990).

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

$\overline{L_{pAF,max,Zug}}$ A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel eines vorbeifahrenden Zuges

$\overline{L_{pAF,max}}$ A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel

$\overline{v_{Zug}}$ Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Zuges in km/h

$\overline{l_{Zug}}$ Zuglänge m

n Anzahl Zugfahrten pro Stunde 1/h

1000 Umrechnungsfaktor in m/km

Zur Erstellung des Berechnungsmodells für den Schienenverkehr wurden folgende Annahmen getroffen:

1. Zuschläge für Kurvenradien wurden nicht vergeben.
2. Der Gleisoberbau wurde mit einem Zuschlag entsprechend Schotterbett mit Beton-schwellen von + 2 dB angenommen.
3. Bahnübergänge blieben aufgrund des geringen Einwirkungsbereichs unberücksichtigt
4. Für Brücken wurde ein Zuschlag von + 5 dB angesetzt.

2.2.6 Ermittlung der Innenpegel

Die Innenpegel in den Klassenräumen wurden auf der Grundlage der zur Dimensionierung des passiven Schallschutzes an Gebäuden verwendeten Verfahren berechnet. Dazu wurden durch Erhebungen der Außenbauteile 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. wurden Abschätzungen zu den vorhandenen bewerteten Schalldämm-Maßen $R'_{w,i}$ der Außenbauteile der Räume vorgenommen.

Grundlegender Ansatz ist das resultierende bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,res}$ der Außenfläche eines Raumes gemäß VDI 2719 (VDI 2719, 1987). Das resultierende bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,res}$ der Außenfläche S_g setzt sich aus den bewerteten Schalldämm-Maßen $R_{w,i}$ aller Teilflächen bzw. allen Außenbauteilen S_i zusammen. Nach Gleichung 7 der VDI 2719 (VDI 2719, 1987) wird das resultierende bewertete Schalldämm-Maß $R_{w,res}$ wie folgt gebildet:

$$R_{w,res} = -10 \lg \left(\frac{1}{S_g} \sum_{i=1}^n S_i * 10^{-0,1 * R_{w,i}} \right) \quad 5$$

$R_{w,res}$ resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtläche in dB

S_i Teilaußenflächen in m²

S_g Gesamtaußenfläche in m², die sich aus allen Teilaußenflächen S_1, S_2, \dots, S_n zusammensetzt: $S_g = S_1 + S_2 + \dots + S_n$

$R_{w,i}$ Schalldämm-Maße der Teilflächen S_i in dB

Mit Hilfe des Programms PASCHA 2010 (MOPA, 2010) und den Angaben aus den Erhebungen der Außenbauteile (HÖRZ, 2012) 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 (DIN 4109, Beiblatt 1, 1989).
2. Einfachfenster mit Isolierverglasung, Verbundfenster und Kastenfenster nach Beiblatt 1 zu DIN 4109, Tabelle 40 (DIN 4109, Beiblatt 1, 1989). Einfachfenster mit Einfachverglasung werden nach VDI 2719 Tabelle 3 (VDI 2719, 1987) ermittelt.

Die Berechnung des Innenpegels erfolgt anhand Gleichung 5 aus VDI 2719 (VDI 2719, 1987). Durch Umstellen der Gleichung und unter Verwendung des abgeschätzten vorhandenen resultierenden bewerteten Schalldämm-Maßes $R'_{w,res}$ kann die Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel wie folgt berechnet werden:

$$L_a - L_i = R'_{w,res} - 10 * \lg \left(\frac{S_g}{A} \right) - K - W \quad 6$$

L_a maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel vor der Außenfläche in dB mit

$$L_a = L_{pA,eq,Ti} + 3$$

L_i A-bewerteter Innenschallpegel in dB, der im zu beurteilenden Raum nicht überschritten werden sollte

S_g vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m²

A äquivalente Absorptionsfläche des Raumes in m²

K Korrektursummand in dB, der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämm-Maße von Fenstern ergibt

W Winkelkorrektur in dB

Die äquivalente Absorptionsfläche des Raumes kann bei unbekannter Nachhallzeit gemäß VDI 2719 (VDI 2719, 1987) über folgenden Zusammenhang abgeschätzt werden:

$$A \approx 0,8 * \text{Grundfläche} \quad 7$$

Liegen Angaben zur Nachhallzeit aus Messungen vor, so ist die äquivalente Absorptionsfläche gemäß DIN 18041 und VDI 2719 über folgenden Zusammenhang zu bestimmen (DIN 18041, 2004; VDI 2719, 1987):

$$A = 0,163 \frac{V}{T} \quad 8$$

V Raumvolumen in m³

T Nachhallzeit in s

Die Korrektursummanden K können für verschiedene Verkehrssituationen nachfolgender Tabelle 2-2 gemäß VDI 2719 (VDI 2719, 1987) entnommen werden.

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

Immissionsorte an	K in dB
- Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	0
- übrigen Bahnstrecken	3
- innerstädtischen Straßen	6
- anderen Straßen	3
- Verkehrsflughäfen	6

Die in Gleichung 6 angegebene Winkelkorrektur wird entsprechend VDI 2719 (VDI 2719, 1987) vernachlässigt.

Die äquivalente Absorptionsfläche A wurde nach Gleichung 8 über die in den 85 Klassenräumen gemessenen Nachhallzeiten T berechnet.

Der Korrektursummand K - zur Berücksichtigung des Spektrums des Außengeräusches sowie der Frequenzabhängigkeit des Schalldämm-Maßes der Fenster - wurde gemäß Tabelle 2-2 für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche pauschal mit 3 dB veranschlagt. Für Luftverkehrsgeräusche wurde eine Korrektur von 6 dB vorgenommen.

Da für die Klassenräume 1404, 4501, 4502 sowie 4503 weder Erhebungen zum passiven Schallschutz noch Messergebnisse zu Nachhallzeiten vorhanden waren, wurden zur Berechnung der Innenpegel folgende Annahmen getroffen:

1. Klassenraum 1404 besitzt ähnliche bauakustische Eigenschaften und Raumgeometrie wie die Räume 1401, 1402 und 1403, daher wurde die Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel über den Mittelwert aus den übrigen Räumen ermittelt.
2. Für die Räume 4501, 4502 und 4503 des Gebäudes 45 wurde eine Mittelwertsubstitution der Pegeldifferenz zwischen Außen- und Innenpegel über alle Gebäude durchgeführt.

3 Verwendete akustische Kenngrößen

3.1 Allgemein

Da in Modul 3 „Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“ die chronische Wirkung von Luftverkehrsgeräuschen im Vordergrund steht, wurden die akustischen Belastungen durch die drei Verkehrsträger Flug, Straße und Schiene für die Schulen und Wohnorte - in Abstimmung mit dem Hörzentrum Oldenburg und der Technischen Universität Kaiserslautern - für die Erhebungszeit T_E von 16.05.2011 bis 15.05.2012 (Langzeitmittelungspegel) berechnet. Die Erhebungszeit beträgt $T_E = 366$ Tage. Die Berechnung wurde für die Schulen und Wohnorte getrennt für unterschiedliche Kennzeichnungszeiten T_K und unterschiedliche Mittelungszeiten T_I durchgeführt (HÖRZ, 2013).

Zur Unterscheidung der Außen- und Innenpegel werden im Folgenden die berechneten Mittelungspegel bzw. Maximalpegel mit einem Index zur Kenntlichmachung versehen. Die Luftverkehraußenpegel werden mit $L_{pA,eq,T_i,A}$ für den Mittelungspegel bzw. $\overline{L_{pAS,max,T_i,A}}$ für den Maximalpegel bezeichnet. Die Straßen- und Schienenverkehraußenpegel werden mit $L_{pA,eq,T_i,A}$ für den Mittelungspegel bzw. $\overline{L_{pAF,max,A}}$ für den mittleren Maximalpegel bezeichnet.

Sinngemäß werden die Luftverkehrsinnenpegel mit $L_{pA,eq,T_i,I}$ bzw. $\overline{L_{pAS,max,T_i,I}}$ und die Straßen- und Schieneninnenpegel mit $L_{pA,eq,T_i,I}$ bzw. $\overline{L_{pAF,max,I}}$ bezeichnet.

3.2 Außenpegel

3.2.1 Luftverkehr

Die akustische Belastung durch den Luftverkehr an den Grundschul- sowie Wohnstandorten wurde mittels Einzelpunktberechnung an den Gebäudeschwerpunktkoordinaten (Koordinaten des Flächenschwerpunktes der Gebäudeumrisse) für die folgenden akustischen Parameter gebildet. Für die Wohnstandorte wurden zur Berechnung alle Flugbewegungen von Montag 00:00.01 Uhr bis Sonntag 24:00:00 Uhr innerhalb der Erhebungszeit T_E zugrunde gelegt. Die berechneten Langzeitmittelungspegel beziehen sich auf eine Kennzeichnungszeit von $T_K = T_E = 366$ Tage. Für die Schulen wurden, gemäß Aufgabenstellung 0, zur Berechnung alle Flugbewegungen von Montag 00:00.01 Uhr bis Freitag 24:00:00 Uhr, d. h. ohne die Wochenenden, innerhalb der Erhebungszeit T_E zugrunde gelegt. Das bedeutet $T_K \neq T_E$. Die berechneten Langzeitmittelungspegel beziehen sich auf eine Kennzeichnungszeit von $T_K = 262$ Tagen (366 Tage abzügl Wochenenden $52 \cdot 2$)

In

Tabelle 3-1 sind die berechneten akustischen Kenngrößen zu den Luftverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Schulstandorten dargestellt.

Tabelle 3-1: Akustische Kenngrößen zu den Luftverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Schulstandorten

Akustische Kenngröße	Mittelungszeiten (Zeitscheiben) T_i	Wohnorte Lanzzeitmittelungspegel Mo - So	Schulen Lanzzeitmittelungspegel Mo - Fr
$L_{pA,eq,T_i,A}$	05 - 06 Uhr	X	
	06 - 08 Uhr	X	
	08 - 14 Uhr	X	X
	14 - 18 Uhr	X	
	18 - 20 Uhr	X	
	20 - 22 Uhr	X	
	22 - 23 Uhr	X	
	23 - 05 Uhr	X	
	06 - 18 Uhr	X	
	18 - 22 Uhr	X	
	06 - 22 Uhr	X	
L_{DEN}	00 - 24 Uhr	X	
$\overline{L_{pAS,max,T_i,A}}$	06 - 22 Uhr	X	
	08 - 14 Uhr		X
	22 - 06 Uhr	X	
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung	06 - 22 Uhr	X	
	08 - 14 Uhr		X
	22 - 06 Uhr	X	

Die unterste Pegelklasse der Maximalpegelverteilung liegt bei 20 dB bis 50 dB, danach enthält sie 5 dB Klassen ≥ 50 dB bis < 110 dB.

3.2.2 Straßenverkehr

Straßenverkehrsgeräusche an den Grundschul- sowie Wohnstandorten wurden nach dem Berechnungsverfahren gemäß VBUS (34. BImSchV, Anlage 3, 2006) mittels Gebäudelärmkarten berechnet. Für die Schulen wurden die Pegel aller Fassaden ermittelt. Für die Wohnorte wurden die Pegel der lautesten Fassade ausgewählt. Die Pegel beziehen sich auf alle Tage des Kalenderjahres 2012.

In Tabelle 3-2 sind die berechneten akustischen Kenngrößen zu den Straßenverkehrsaußenpegeln für die Schul- und Wohnorte dargestellt.

Tabelle 3-2: Akustische Kenngrößen zu den Straßenverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Schulstandorten

Akustische Kenngröße	Mittelungszeiten (Zeitscheiben) T_i	Wohnorte Lanzeitmittelungspegel Mo - So	Schulen Lanzeitmittelungspegel Mo - Fr
$L_{pA,eq,T_i,A}$	06 - 18 Uhr	X	X
	18 - 22 Uhr	X	X
	22 - 06 Uhr	X	X
	06 - 22 Uhr	X	X
L_{DEN}	00 - 24 Uhr	X	
$\overline{L_{pAF,max,A}}$	-	X	X

Zur Ermittlung der Straßenverkehrsaußenpegel innerhalb der Erhebungszeit aus Modul 3 wurden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2005 berechneten Außenpegel nach 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 das Jahr 2012 hochgerechnet (siehe Abbildung 3-1). Der Korrekturfaktor beträgt +0,1 dB.

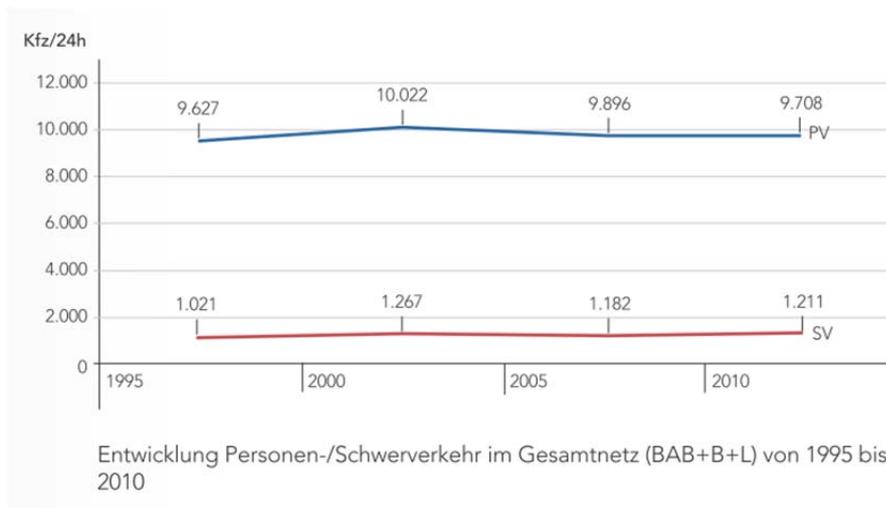
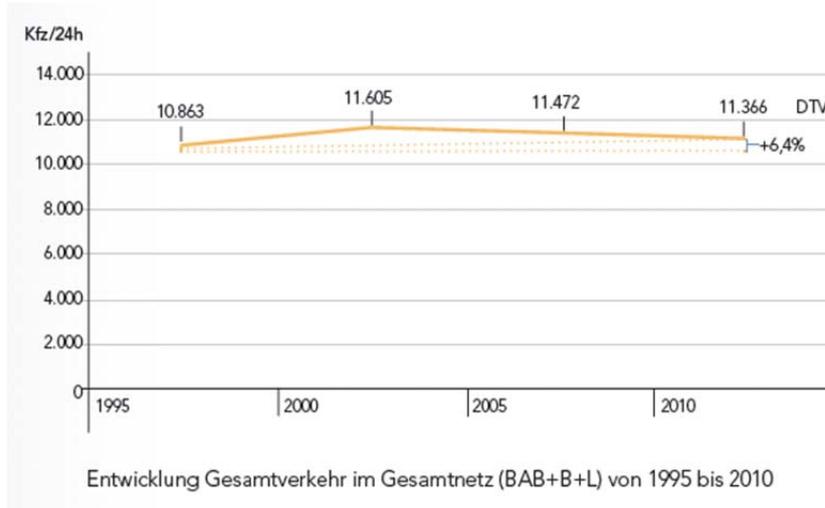


Abbildung 3-1: Entwicklung Gesamtverkehr und Personen- / Schwerverkehr in Hessen „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“ (Hessen Mobil, 2010)

Die benötigten Außenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ für Tag (06 - 18 Uhr) und Abend (18 - 22 Uhr) wurden aus dem Außenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ für Tag (06-22 Uhr) unter Berücksichtigung der Verkehrsmengenaufteilung auf die Zeitbereiche Tag und Abend nach VBUS gebildet. Aus den Pegeln zu Tag, Abend und Nacht wiederum wurde der Beurteilungspegel L_{DEN} nach VBUS gebildet (34. BImSchV, Anlage 3, 2006).

3.2.3 Schienenverkehr

Geräusche durch Schienenverkehr wurden an den Grundschul- sowie Wohnstandorten nach dem Berechnungsverfahren gemäß VBUSch (34. BImSchV, Anlage 2, 2006) mittels Gebäude-lärmkarten berechnet. Für die Grundschulen wurden die Pegel aller Fassaden ermittelt. Für die Wohnorte wurden die Pegel der lautesten Fassade ausgewählt. Die Pegel beziehen sich auf alle Tage des Kalenderjahres 2012.

In Tabelle 3-3 sind die berechneten akustischen Kenndaten zu den Schienenverkehrsaußenpegeln für die Grundschul- und Wohnorte dargestellt.

Tabelle 3-3: Akustische Kenngrößen zu den Schienenverkehrsaußenpegeln an den Wohn- und Grundschulstandorten

Akustische Kenngröße	Mittelungszeiten (Zeitscheiben) T_i	Wohnorte Lanzeitmittlungspegel Mo - So	Schulen Lanzeitmittlungspegel Mo - Fr
$L_{pA,eq,T_i,A}$	06 - 18 Uhr	X	X
	18 - 22 Uhr	X	X
	22 - 06 Uhr	X	X
	06 - 22 Uhr	X	X
L_{DEN}	00 - 24 Uhr	X	
$\overline{L_{pAF,max,A}}$	-	X	X

Zur Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche innerhalb der Erhebungszeit für Modul 3 wurden die aus den Verkehrsmengen des Jahres 2010 berechneten Außenpegel für das Jahr 2012 übernommen, da keine Verkehrsmengenangaben für einzelne Jahre vorliegen. Die benötigten Außenpegel $L_{pA,eq,T_i,A}$ für Tag (06 - 18 Uhr) und Abend (18 - 22 Uhr) wurden dem Außenpegel $L_{pA,eq,T_i,A}$ für Tag (06-22 Uhr) gleichgesetzt. Aus den Pegeln zu Tag, Abend und Nacht wiederum wurde der Beurteilungspegel L_{DEN} nach VBUSch (34. BImSchV, Anlage 2, 2006) gebildet.

3.3 Innenpegel

Aus den unter Abschnitt 3.2 beschriebenen Außengeräuschpegeln für die 29 Schulen wurden nach Anwendung des Abschneidekriteriums (siehe Abschnitt 3.4) folgende in Tabelle 3-4 angegebenen Innenpegel gebildet.

Tabelle 3-4: Akustische Kenngrößen zu den Innenpegeln an den Schulen

Akustische Kenngröße	Mittelungszeiten (Zeitscheiben) T_i	Schulen Langzeitmittelungspegel		
		Luftverkehr	Straßenverkehr	Schieneverkehr
$L_{pA,eq,T_i,I}$	06 - 18 Uhr		X	X
$L_{pA,eq,T_i,I}$	08 - 14 Uhr	X		
$\overline{L_{pAF,max,I}}$	-		X	X
$\overline{L_{pAS,max,T_i,I}}$	08 - 14 Uhr	X		

3.4 Abschneidekriterium

Die rein rechnerisch ermittelten akustischen Kenngrößen für Straßen-, Schienen- und Luftverkehrsgeräusche wurden mit einem unteren Abschneidekriterium versehen, um unrealistisch niedrige Pegel auszuschließen.

Um ein möglichst hohe Ausnutzung des akustischen Wertebereichs zu erzielen, wurde die untere Grenze des Abschneidekriteriums mit Hilfe von Messwerten aus Langzeitmessungen überprüft. Dazu wurden die vom UNH für die Kernnacht 0 bis 4 Uhr übermittelten Rohdaten aus Schallmessungen verschiedener Messstationen am Frankfurter Flughafen hinsichtlich der vorherrschenden Hintergrundpegel ausgewertet. Es handelt sich hierbei um folgende in Tabelle 3-5 angegebenen Messstationen (UNH, 2013):

Tabelle 3-5: Messstationen zur Auswertung der Ruhepegel am Frankfurter Flughafen (UNH, 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 wurden die Pegel-Zeitverläufe anhand des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,T_M}$ oder auch des Hintergrundgeräusches. Gemäß DIN 45643 ist dies der Pegel, der von 95 % aller Pegel innerhalb der Messzeit T_M überschritten wird (DIN 45643, 2011). In Abbildung 3-2 ist der Pegel-Zeitverlauf des Kurzzeit-Mittelungsschalldruckpegels (kurz Kurzzeit-Mittelungspegel) $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 % - Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Gernsheim zwischen 1 Uhr und 2 Uhr dargestellt. Die Messzeit T_M beträgt 1 Stunde.

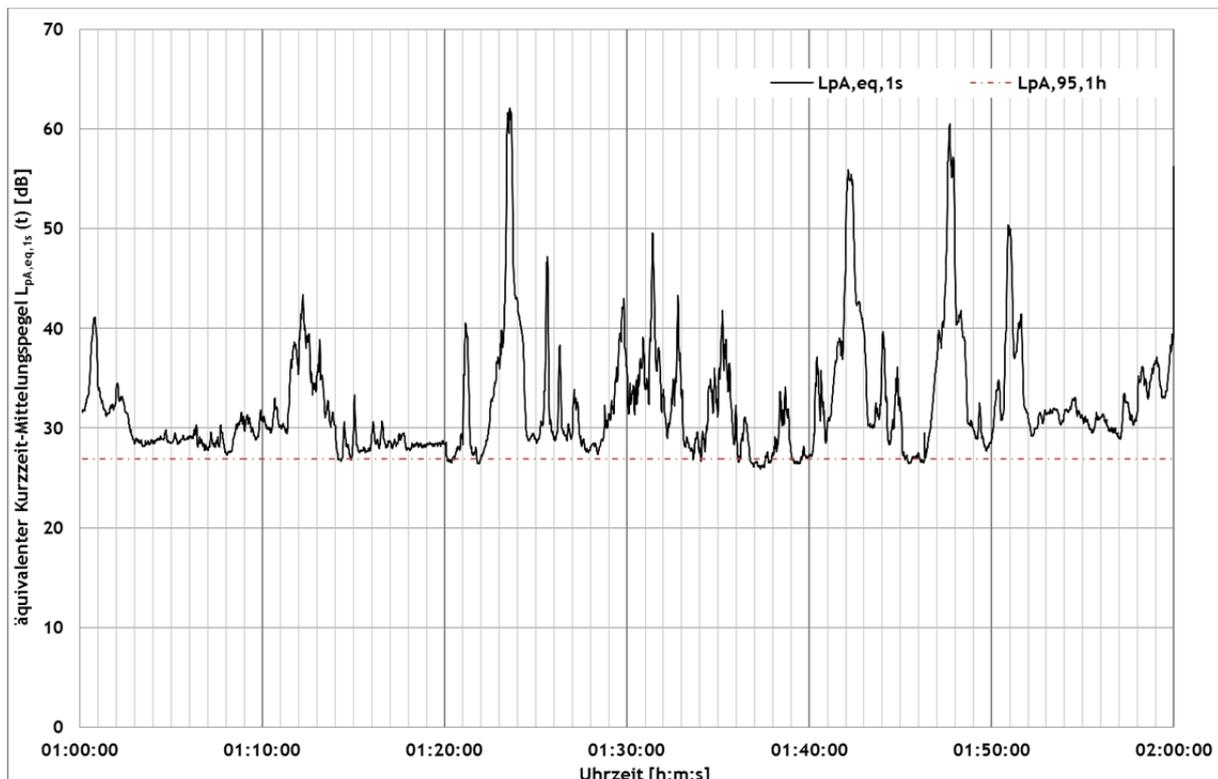


Abbildung 3-2: Zeitverlauf des Kurzzeit-Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 %-Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Gernsheim 1 Uhr bis 2 Uhr 0

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 dicht besiedelte Gebiete - variieren.

Dies zeigt sich anhand des Pegel-Zeitverlaufs des Kurzzeit-Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 %-Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden zwischen 1 Uhr und 2 Uhr aus Abbildung 3-3. Die Messzeit T_M beträgt 1 Stunde.

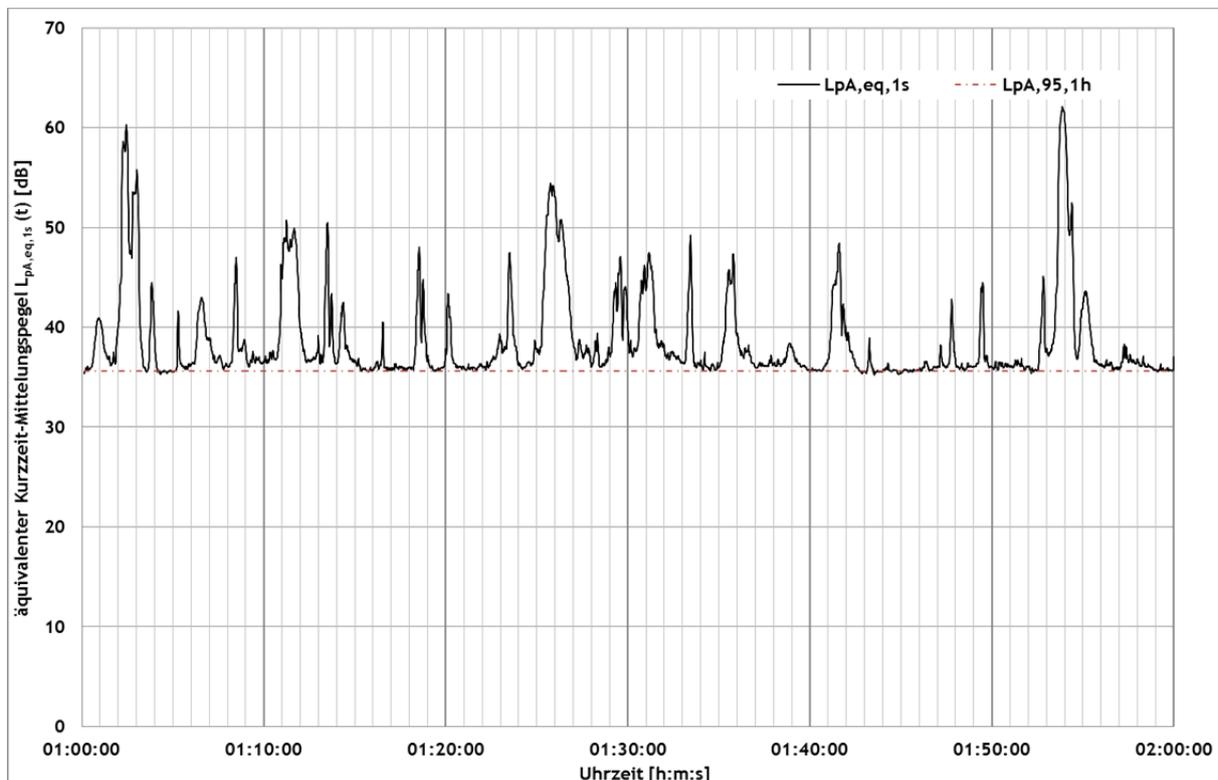


Abbildung 3-3: Zeitverlauf des Kurzzeit-Mittelungspegels $L_{pA,eq,1s}(t)$ und des 95 %-Überschreitungspegels $L_{pA,95,1h}$ an der Messstation Worfelden 1 Uhr bis 2 Uhr 0

Der in dieser Zeit an der Messstation Worfelden maßgebliche $L_{pA,95,1h}$ liegt bei 35,6 dB.

Nachfolgende Tabelle 3-6 stellt die Hintergrundpegel $L_{pA,95,4h}$ verschiedener Messstationen in der Kernnacht 0 Uhr bis 4 Uhr gegenüber. Die Messzeit T_M beträgt 4 Stunden. Die Mess-

stationen befinden sich in teils dünn besiedelten, teils dichter besiedelten bis innerstädtischen Gebieten.

Tabelle 3-6: Hintergrundpegel $L_{pA,95,4h}$ an den Messstationen (UNH, 2013)

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 Kernnacht - 0 bis 4 Uhr - Hintergrundpegel kleiner 30 dB auftreten können.

Zur Erhöhung des akustischen Wertebereiches für statistische Analysen wurde daher die untere Grenze des Abschneidekriteriums für Außenpegel auf 30 dB herabgesetzt. Auch bei höheren Werten z. B. 30 bis 45 dB kann jedoch eine Zuordnung der Verkehrsgeräuschpegel zu den untersuchten Wirkungen erfragten Belästigung nicht sichergestellt werden. In diesen Pegelbereichen kann es zu Verdeckungen durch Fremdgeräusche von außen (z. B. Hintergrundgeräusche) kommen.

Das Abschneidekriterium für Innenpegel wurde anhand gängiger Literatur gewählt. Nach VDI 4100 ist in Wohnräumen in ruhigen ländlichen Einzelwohnlagen mit einem Innenpegel von 15 dB zu rechnen (VDI 4100, 2012). Dies entspricht auch dem Innenpegel, der sich bei Fenstern in Kippstellung mit einer Pegelminderung von 15 dB bei einem Außenpegel von 30 dB ergibt (Kötz, 2004). Auch im Innenraum kann eine Verdeckung der Verkehrsgeräuschpegel durch Fremdgeräusche (z. B. haustechnische Anlagen) nicht ausgeschlossen werden. Die Zuordnung der Verkehrsgeräuschpegel zu den untersuchten Wirkungen erfragten Belästigung nicht sichergestellt werden.

Die bisher verwendeten akustischen Daten für die Nachtzeit werden als kontinuierliche Prädiktoren verwendet. Das bedeutet, dass auch A-bewertete Mittelungspegel ab 30 dB (außen) bzw. 15 dB (innen) in die interdisziplinären Berechnungen eingehen (Zeus, 2014).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse an den Wohnorten

4.1.1 Luftverkehrsaußenpegel

In Abbildung 4-1 ist die Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,T1,A}$ und $\overline{L_{pAS,max,T1,A}}$ an den 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06-22 Uhr) in 5 dB Pegelklassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-22,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen zwischen 35 dB - und 65 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 40 dB - 45 dB. Innerhalb dieser Pegelklasse befinden sich 381 Wohnorte. An 61 Wohnorten liegt der Mittelungspegel bei 35 dB - 40 dB.

Der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,06-22,A}}$ verteilt sich über die Pegelklassen zwischen 50 dB und 85 dB. Die Verteilung weist zwei Maxima auf, eines bei 60 dB - 65 dB und eines bei 70 dB - 75 dB auf. Innerhalb dieser beiden Pegelklassen befinden sich jeweils 308 Wohnorte.

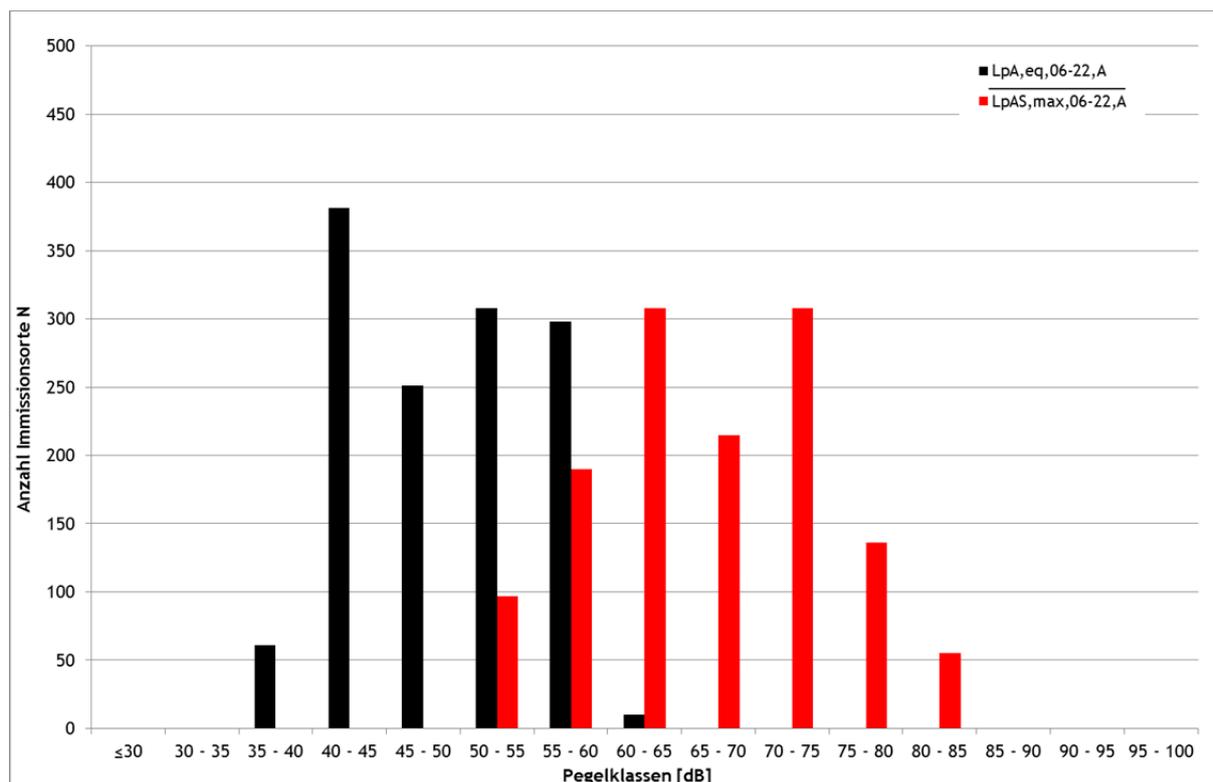


Abbildung 4-1: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr)

In Abbildung 4-2 ist die Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAS,max,Ti,A}}$ an den 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22-06 Uhr) in 5 dB Pegelklassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,22-06,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen zwischen 30 dB und 60 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 45 dB - 50 dB. In dieser Pegelklasse befinden sich 340 Wohnorte.

Der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,22-06,A}}$ verteilt sich über die Pegelklassen zwischen 35 dB und 80 dB. Die Verteilung weist ein Maximum bei 60 dB - 65 dB auf. Dies betrifft 280 Wohnorte. Zudem zeigt sich, dass der Mittelungspegel für die Mittelungszeit Nacht (22-06 Uhr) Pegelwerte unterhalb 40 dB bzw. 30 dB aufweist. Insgesamt liegt der $L_{pA,eq,22-06,A}$ an 485 Wohnorten bei ≤ 40 dB. Davon weisen 8 Wohnorte einen Mittelungspegel von ≤ 30 dB auf. Der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,22-06,A}}$ liegt an 42 Wohnorten zwischen 35 dB und 40 dB; alle anderen Immissionsorte weisen höhere Maximalpegel auf.

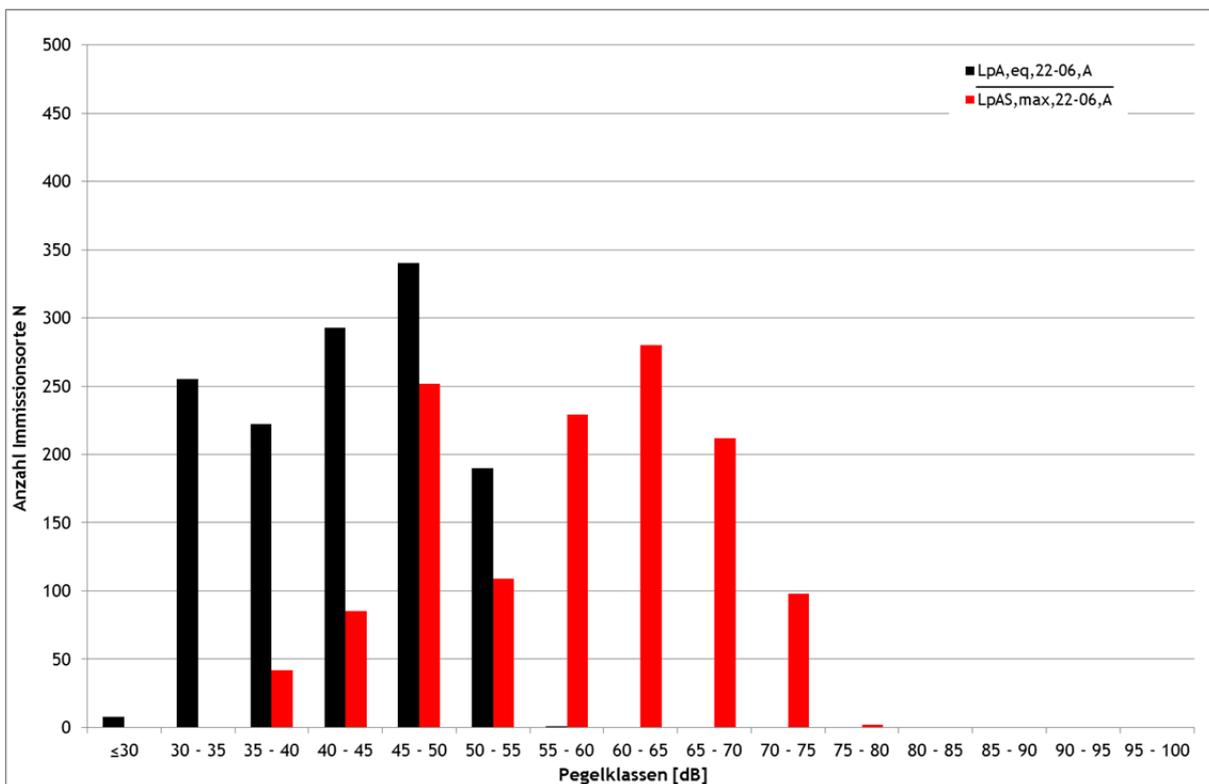


Abbildung 4-2: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr)

4.1.2 Straßenverkehrsaußenpegel

Die Ergebnisse der Straßenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ an den 1.309 Wohnorten sind für die Mittelungszeit Tag (06-22 Uhr) in Abbildung 4-3 als Pegel-Häufigkeitsverteilung dargestellt. Die Breite der Pegelklassen beträgt 5 dB. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-22,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen zwischen 30 dB und 80 dB. Das Maximum der Häufigkeitsverteilung liegt bei 45 dB - 50 dB. Dies betrifft 385 Wohnorte. 18 Wohnorte weisen einen Mittelungspegel von ≤ 40 dB auf.

Die Pegel-Häufigkeitsverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,A}}$ erstreckt sich über die Pegelklassen zwischen 30 dB und 100 dB. Die Verteilung weist ein Doppelmaximum bei 55 dB - 60 dB und bei 60 dB - 65 dB auf. Dies betrifft jeweils 183 Wohnorte. An 32 Wohnorten liegt der mittlere Maximalpegel bei ≤ 40 dB. Insgesamt 66 Wohnorte weisen einen mittleren Maximalpegel von ≤ 85 dB bis 100 dB auf. Die Pegelverteilung des mittleren Maximalpegels ist ebenso Abbildung 4-4 zu entnehmen.

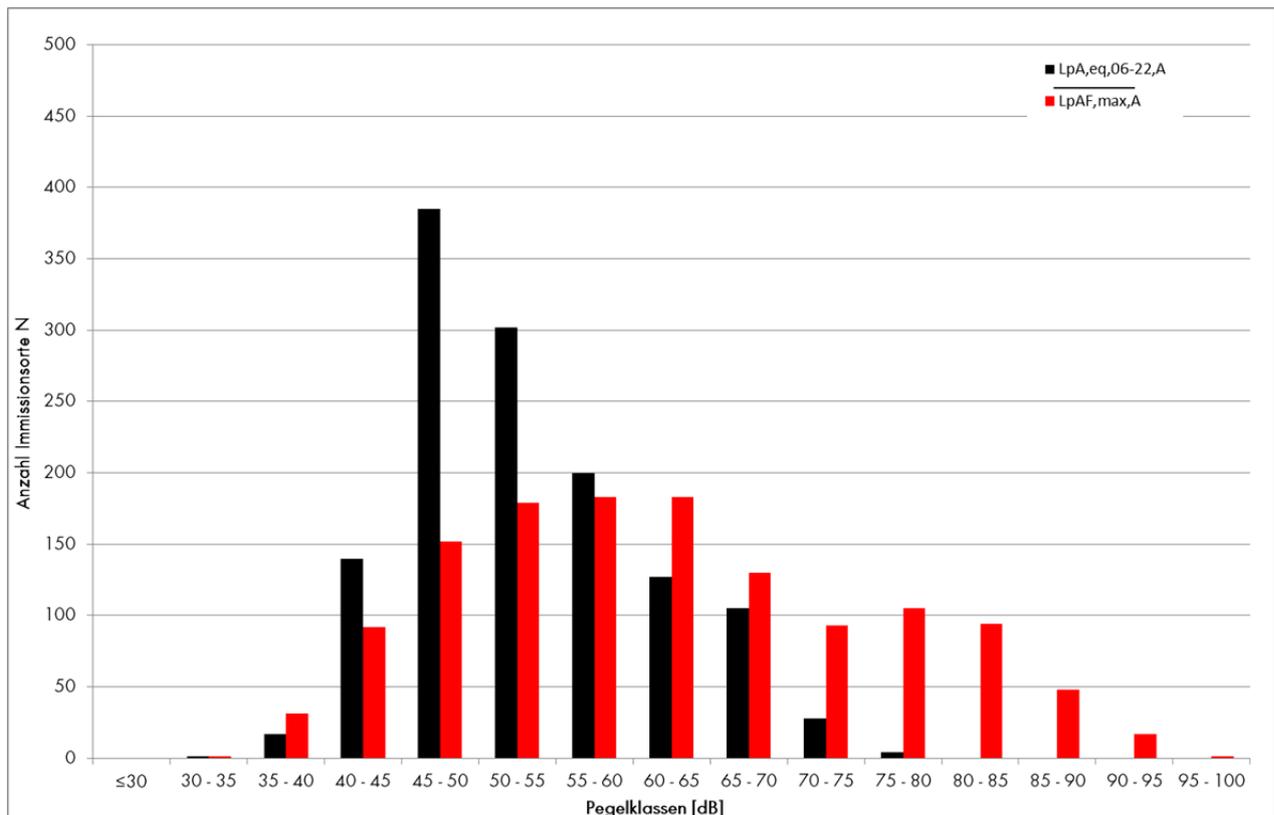


Abbildung 4-3: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr)

Die Ergebnisse der Straßenverkehraußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ an den 1.309 Wohnorten sind in Abbildung 4-4 für die Mittelungszeit Nacht (22-06 Uhr) als Pegel-Häufigkeitsverteilung dargestellt. Die Breite der Pegelklassen beträgt 5 dB. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,22-06,A}$ ist verteilt über die Pegelklassen zwischen 30 dB und 70 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei Mittelungspegeln zwischen 40 dB - 45 dB. Innerhalb dieses Maximums befinden sich 333 Wohnorte. Insgesamt 407 Wohnorte weisen einen Mittelungspegel von ≤ 40 dB auf. 10 Wohnorte davon ≤ 30 dB; der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAF,max,A}}$ aus Straßenverkehr liegt nachts bei 66 Wohnorten ≤ 85 dB

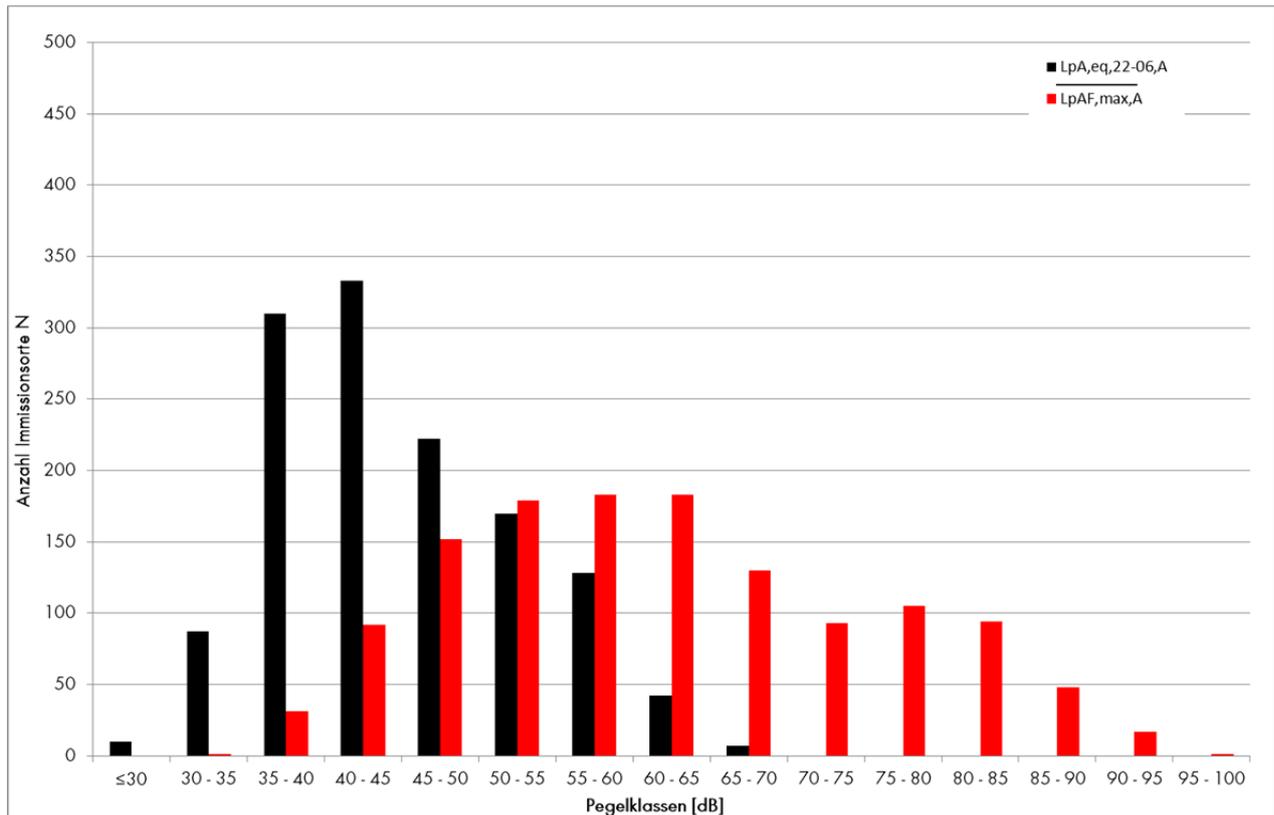


Abbildung 4-4: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehraußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr)

4.1.3 Schienenverkehrsaußenpegel

In Abbildung 4-5 sind die Ergebnisse der Schienenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ an den 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06-22 Uhr) als Pegelverteilung in 5 dB Pegelklassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-22,A}$ verteilt sich in der Studienregion von 30 dB bis 80 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt an 343 Wohnorten bei 45 dB - 50 dB. An 463 Wohnorten liegt der Mittelungspegel bei ≤ 40 dB. Davon 175 Wohnorte bei ≤ 30 dB.

Die Pegelverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,A}}$ erstreckt sich von 30 dB bis 100 dB. Die größte Pegelhäufigkeit mit 247 Wohnorten liegt in der Pegelklasse 65 dB - 70 dB. 108 Wohnorte weisen mittlere Maximalpegel von ≤ 40 dB auf. Davon 88 Wohnorte ≤ 30 dB. An 23 Wohnorten liegt der mittlere Maximalpegel zwischen ≤ 85 dB und 100 dB Die Pegelverteilung des mittleren Maximalpegels ist ebenso in Abbildung 4-6 dargestellt.

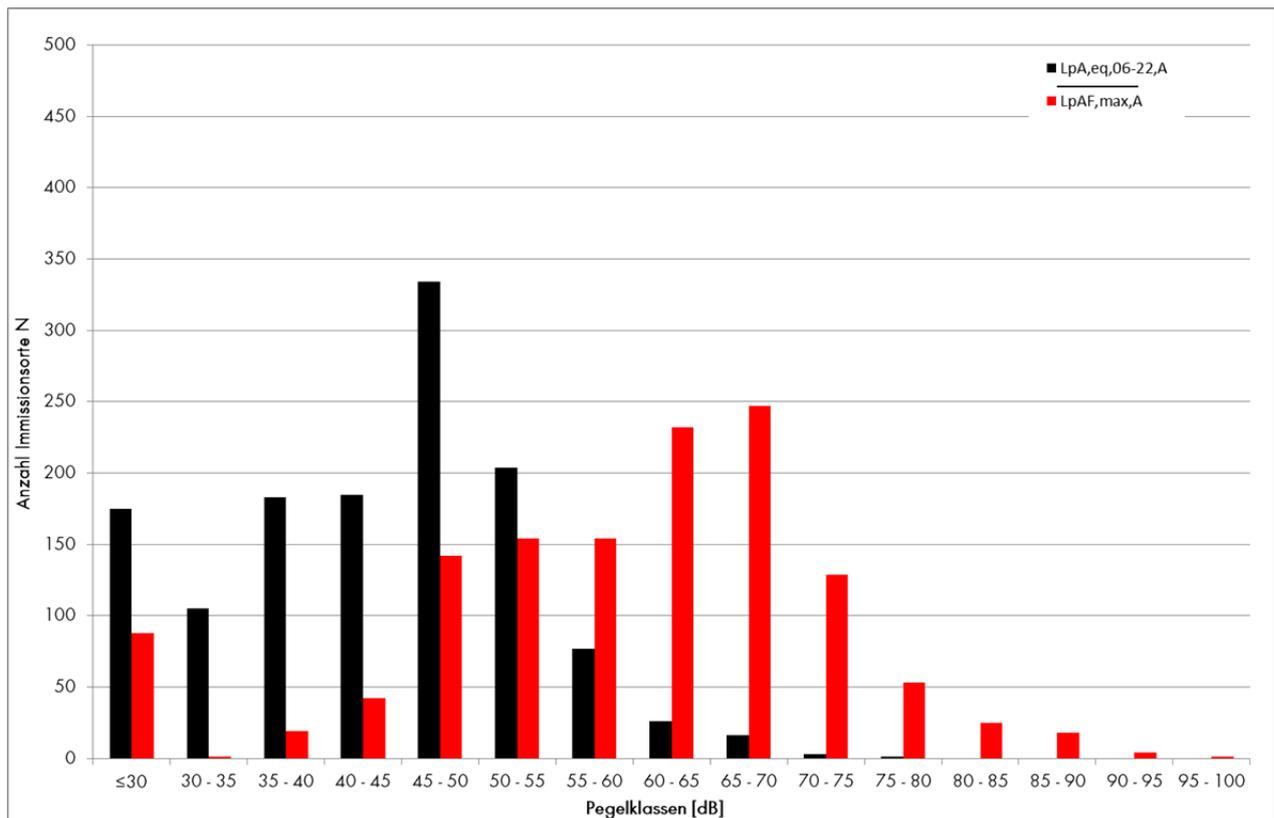


Abbildung 4-5: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Tag (06 - 22 Uhr)

In Abbildung 4-6 sind die Ergebnisse der Schienenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ an den 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (06-22 Uhr) als Pegelverteilung in 5 dB Pegelklassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,22-06,A}$ verteilt sich für die

Nacht von ≤ 30 dB bis 80 dB. Der am häufigsten vorkommende Mittelungspegel liegt bei 45 dB - 50 dB und betrifft 303 Wohnorte. Die Anzahl an Wohnorten mit Pegelwerten ≤ 40 dB liegt mit insgesamt 505 höher als am Tag. Davon weisen 234 Wohnorte Pegelwerte ≤ 30 dB auf.

Da der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAF,max,A}}$ aus Schienenverkehr unabhängig von der Mittelungszeit gebildet wird (vgl. Abschnitt 2.2.5), weisen auch nachts 23 Wohnorte einen mittleren Maximalpegel von ≤ 85 dB auf.

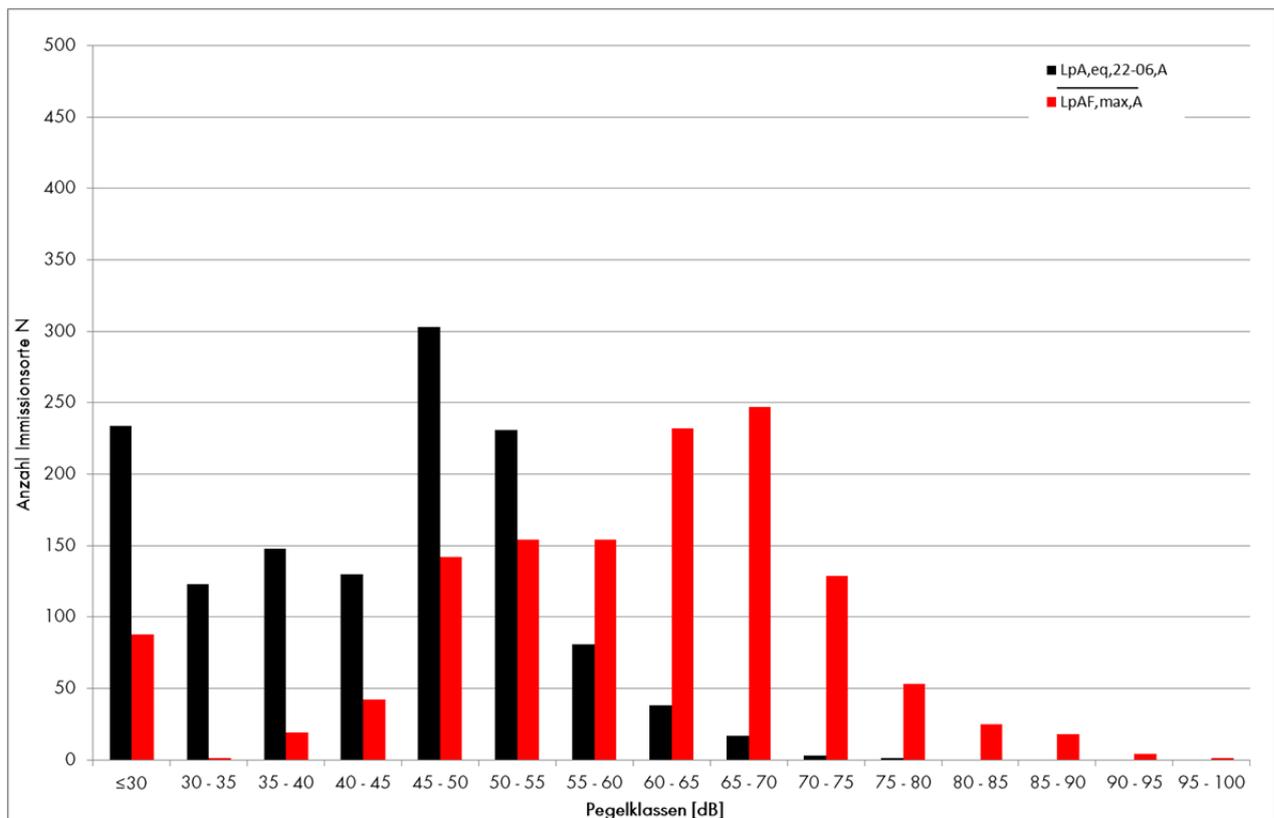


Abbildung 4-6: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 1.309 Wohnorten für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr)

4.2 Ergebnisse an den Schulen

4.2.1 Luftverkehrsaußenpegel und -innenpegel

Die Ergebnisse der Luftverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAS,max,Ti,A}}$ zu den 85 Klassenräumen sind in Abbildung 4-7 als Pegel-Häufigkeitsverteilung in 5 dB Pegelklassen für die Mittelungszeit 08-14 Uhr dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,08-14,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen von 35 dB bis 60 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 40 dB - 45 dB. Innerhalb dieser Pegelklasse befinden sich 26 Klassenräume. 3 Klassenräume weisen Pegel im Bereich von ≤ 40 dB auf.

Der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,08-14,A}}$ verteilt sich über die Pegelklassen 35 dB - 60 dB. Die Pegel-Häufigkeitsverteilung weist ein Maximum bei 60 dB - 65 dB auf. Dies betrifft 24 Klassenräume.

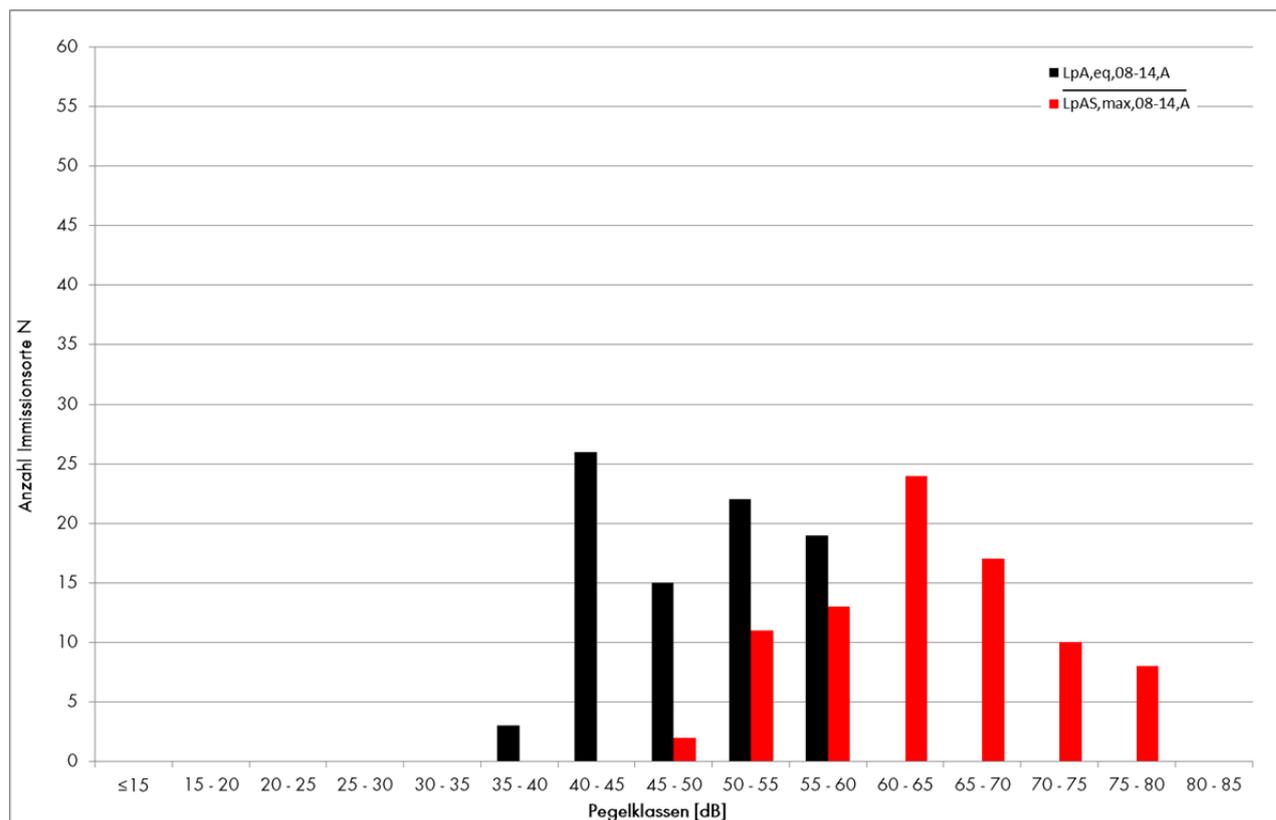


Abbildung 4-7: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 08 - 14 Uhr

Die Ergebnisse der Luftverkehrsinnenpegel $L_{pA,eq,Ti,I}$ und $\overline{L_{pAS,max,Ti,I}}$ zu den 85 Klassenräumen sind in Abbildung 4-8 als Pegel-Häufigkeitsverteilung in 5 dB Pegelklassen für die Mittelungszeit 08-14 Uhr dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,08-14,I}$ verteilt sich von ≤ 15 dB bis 40 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 25 dB - 30 dB. Innerhalb

dieser Pegelklasse befinden sich 21 Klassenräume. 11 Klassenräume weisen Pegelwerte ≤ 15 dB auf.

Der mittlere Maximalpegel $\overline{L_{pAS,max,08-14,I}}$ verteilt sich über die Pegelklassen von 20 dB bis 60 dB. Die Pegel-Häufigkeitsverteilung weist ein Maximum bei 40 dB - 45 dB auf. Dies betrifft 17 Klassenräume.

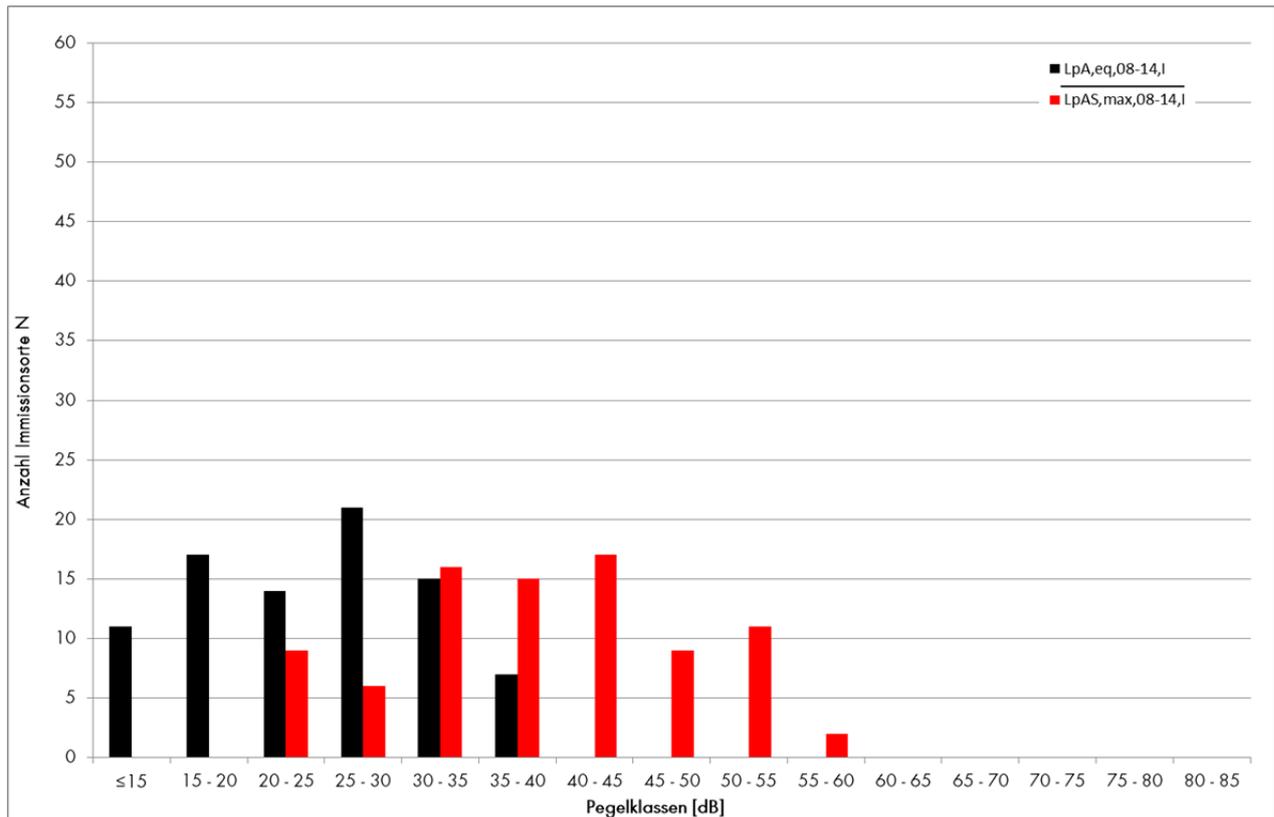


Abbildung 4-8: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Luftverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 08 - 14 Uhr

4.2.2 Straßenverkehrsaußenpegel und -innenpegel

In Abbildung 4-9 sind die Ergebnisse der Straßenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ zu den 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06-18 Uhr als Pegel-Häufigkeitsverteilung dargestellt. Die Breite der Pegelklassen beträgt 5 dB. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-18,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen von 35 dB bis 65 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 45 dB - 50 dB. Dies betrifft 35 Klassenräume. 5 Klassenräume weisen Außenpegel im Bereich ≤ 40 dB auf.

Die Pegel-Häufigkeitsverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,A}}$ erstreckt sich über die Pegelklassen von 35 dB bis 80 dB. Die Verteilung weist ein Maximum bei 45 dB - 50 dB auf. Dies betrifft 26 Klassenräume. An 2 Klassenräumen liegt der mittlere Maximalpegel bei ≤ 40 dB.

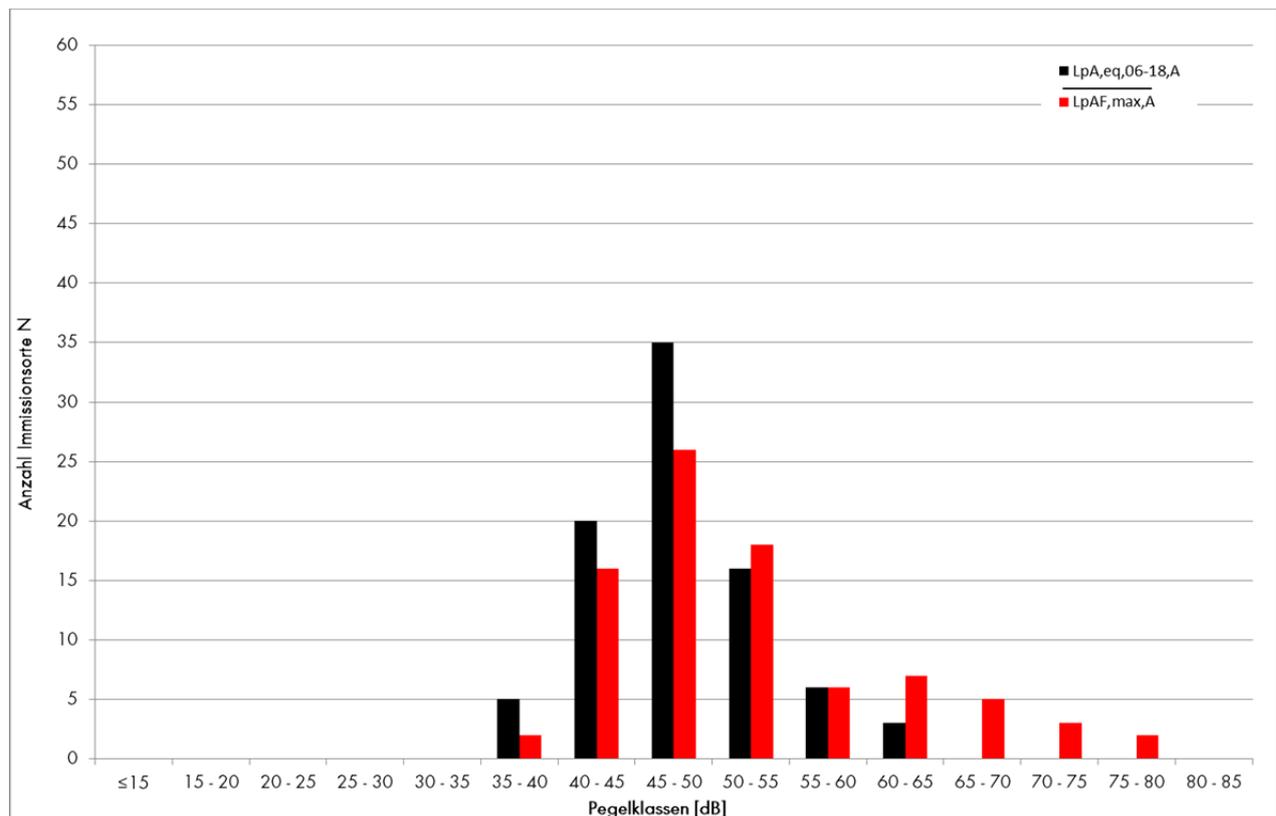


Abbildung 4-9: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr

In Abbildung 4-10 sind die Ergebnisse der Straßenverkehrsinnenpegel $L_{pA,eq,Ti,I}$ und $\overline{L_{pAF,max,I}}$ zu den 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06-18 Uhr als Pegel-Häufigkeitsverteilung in 5 dB Klassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-18,I}$ verteilt

sich von ≤ 15 dB bis 40 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei ≤ 15 dB. Dies betrifft 25 Klassenräume.

Die Pegel-Häufigkeitsverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,I}}$ erstreckt sich von ≤ 15 dB bis 55 dB. Die Verteilung weist ein Maximum bei 15 dB bis 20 dB auf. Dies betrifft 21 Klassenräume. An 11 Klassenräumen liegt der mittlere Maximalpegel bei ≤ 15 dB.

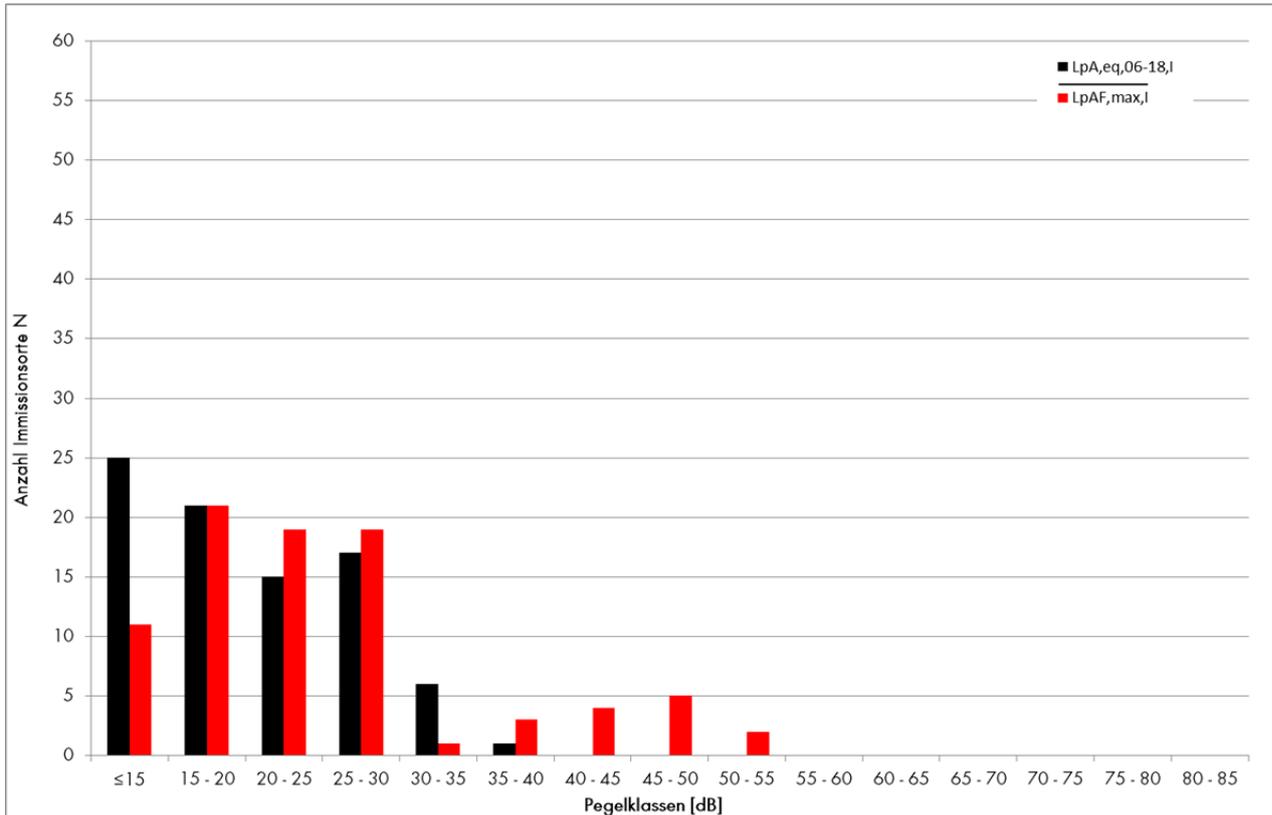


Abbildung 4-10: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Straßenverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr

4.2.3 Schienenverkehrsaußenpegel und -innenpegel

Die Ergebnisse der Schienenverkehrsaußenpegel $L_{pA,eq,Ti,A}$ und $\overline{L_{pAF,max,A}}$ zu den 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06-18 Uhr sind als Pegel-Häufigkeitsverteilung in Abbildung 4-11 dargestellt. Die Breite der Pegelklassen beträgt 5 dB. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-18,A}$ verteilt sich über die Pegelklassen von 25 dB bis 60 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei 45 dB - 50 dB. Dies betrifft 20 Klassenräume. 39 Klassenräume weisen Pegel im Bereich ≤ 40 dB auf. Davon haben 13 Klassenräume Pegelwerte ≤ 30 dB.

Die Pegel-Häufigkeitsverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,A}}$ erstreckt sich außen über die Pegelklassen von 25 dB bis 80 dB. Das Maximum liegt bei der Pegelklasse 60 dB - 65 dB. Dies betrifft 21 Klassenräume. An 7 Klassenräumen liegt der mittlere Maximalpegel bei ≤ 40 dB. 6 Klassenräume davon liegen bei ≤ 30 dB.

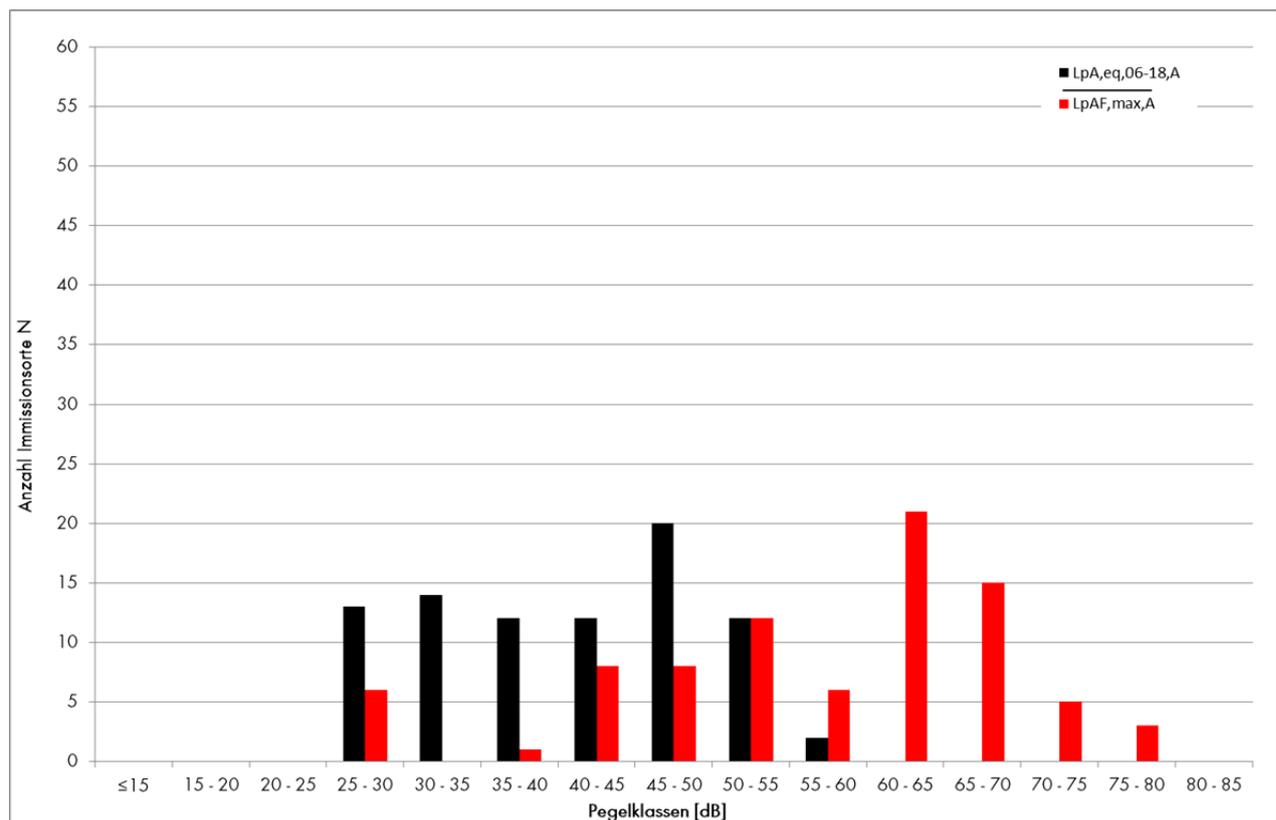


Abbildung 4-11: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsaußenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr

Die Ergebnisse der Schienenverkehrsinnenpegel $L_{pA,eq,Ti,I}$ und $\overline{L_{pAF,max,I}}$ zu den 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06-18 Uhr sind in Abbildung 4-12 als Pegel-Häufigkeitsverteilung in 5 dB Klassen dargestellt. Der Mittelungspegel $L_{pA,eq,06-18,I}$ verteilt

sich von ≤ 15 dB bis 40 dB. Das Maximum der Pegel-Häufigkeitsverteilung liegt bei ≤ 15 dB. Dies betrifft 53 Klassenräume.

Die Pegel-Häufigkeitsverteilung des mittleren Maximalpegels $\overline{L_{pAF,max,I}}$ erstreckt sich von ≤ 15 dB bis 50 dB. Die Verteilung weist ein Maximum bei 30 dB - 35 dB auf. Dies betrifft 23 Klassenräume. An 9 Klassenräumen liegt der mittlere Maximalpegel bei ≤ 15 dB.

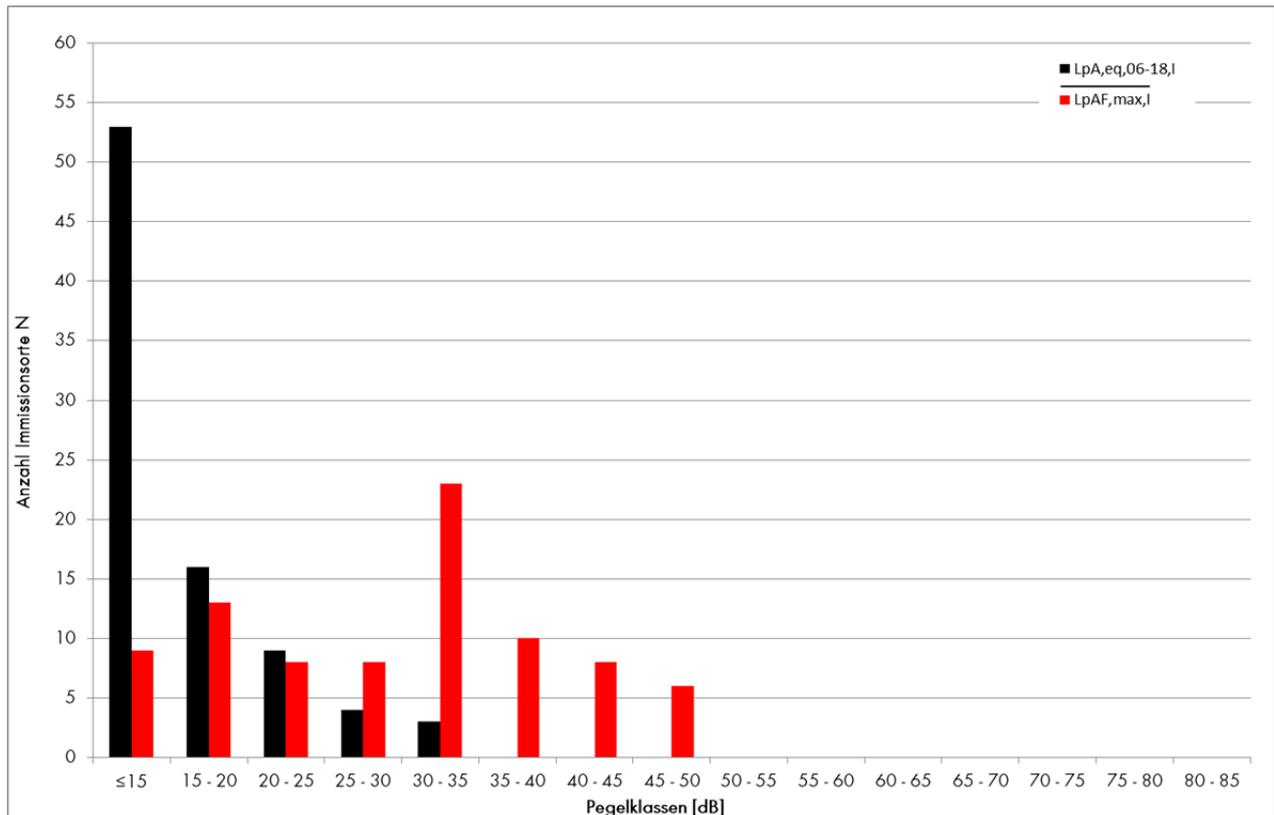


Abbildung 4-12: Pegel-Häufigkeitsverteilung der Schienenverkehrsinnenpegel an 85 Klassenräumen für die Mittelungszeit 06 - 18 Uhr

Literatur, Glossar

Literatur

- Bahn-Umweltzentrum Berlin BUZ (2011). Zugmengengerüst nach Schall03 für das Jahr 2010 (Umgriff RP-Darmstadt sowie vier Landkreise RLP), E-Mail vom 22.09.2011.
- Braunstein & Berndt GmbH (2013). Software für Lärm- und Schadstoffprognosen SoundPLAN Version 7.3, Stand 10.07.2013.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU und Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS (2007), Bekanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm VBEB, 09. Februar 2007.
- Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau BMVI (1990). Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90, Ausgabe 1990.
- DIN 1320: 2009-12: „Akustik - Begriffe“, Dezember 2009.
- DIN 45641: 1990-06: „Mittelung von Schallpegeln“, Juni 1990.
- DIN 45643: 2011-02: „Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen“, Februar 2011.
- DIN ISO 9613-2: 1996: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Oktober 1999.
- DIN 4109: 1989-11: „Schallschutz im Hochbau Anforderungen und Nachweise“, November 1989.
- DIN 4109: 1989-11: Beiblatt 1: „Schallschutz im Hochbau Ausführungsbeispiele und Rechenverfahren“, November 1989.
- DIN 18041: 2004-05: „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, Mai 2004.
- Deutsche Flugsicherung GmbH DFS (2013). FANOMOS Radarspuren für den Flughafen Frankfurt am Main EDDF in 65 km Radius um den Flughafenbezugspunkt, Erhebungszeit 01.10.2010 - 30.09.2011, E-Mail der DFS vom 13.03.2013.
- Deutsche Flugsicherung GmbH DFS (2013). FANOMOS Radarspuren für den Flughafen Frankfurt am Main EDDF in 65 km Radius um den Flughafenbezugspunkt, Erhebungszeit 01.10.2011 - 30.09.2012, E-Mail der DFS vom 13.03.2013.
- Eisenbahn-Bundesamt EBA (2010). Ergebnisdaten aus der EU-Lärmkartierung für die Lärmaktionsplanung zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, Strand 23.03.2010.
- Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV); Ausfertigungsdatum: 27.12.2008.
- Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV), Anlage 1: Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD); Ausfertigungsdatum: 27.12.2008.

- Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm (Verordnung über die Datenerfassung und das Berechnungsverfahren für die Festsetzung von Lärmschutzbereichen - 1. FlugLSV), Anlage 2: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB); Ausfertigungsdatum: 27.12.2008.
- Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH UNH (2012). Digitales Geländemodell mit Kachelgröße 50 m x 50 m DGM 50 für das Regierungspräsidium Darmstadt sowie vier Landkreise in Rheinland-Pfalz, Nach Nutzungsvereinbarung vom 06.07.2012.
- Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH UNH (2013). Rohdaten aus Schallmessungen am Frankfurter Flughafen zwischen 00:00 bis 04:00 Uhr für die Erhebungszeit 09.2013 und 11.2013, E-Mail vom 17.12.2013.
- Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm FlulärmG (1971). In der Fassung der Bekanntmachung vom 31. Oktober 2007 (BGBl. I S.2550); Ausfertigungsdatum: 30.03.1971.
- Google Earth (2005). Luftbildaufnahmen zur Überprüfung fehlender Daten, Stand 2005, www.google.de.
- Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation HVBG (2012). Digitales Geländemodell mit Kachelgröße 10 m x 10 m und Gebäudeumringe des DLM aus dem ATKIS des Regierungsbezirks Darmstadt, erhalten 04.01.2012.
- Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen HLSV (2011). Visum Modell 2005 der Straßenbauverwaltung für das RP-Darmstadt im Shape-File-Format, E-Mail vom 09.08.2011.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie HLUG (2011). Zentrale Geodatenbank für Lärm zur Umsetzung der Richtlinie 2002/49/EG über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm Hessen, Aktiver Schallschutz mit Stand 2007 für den Regierungsbezirk Darmstadt, nach Nutzungsvereinbarung vom 15.12.2011.
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (2012). Verkehrsmengen und Zählstellen der SVZ in Hessen im Shape-File-Format (Zählstellenpunkte sowie -vernetzung). E-Mail vom 25.07.2012.
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (2012). Ergebnistabellen der Straßenverkehrszählung 1995, 2000, 2005 und 2010 im Excel-Format, E-Mail vom 22.06.2012.
- Hessen Mobil Straßen- und Verkehrsmanagement (2010). „Straßenverkehrszählung 2010: Was ist los auf Hessens Straßen?“, Ausgabe 2010, www.mobil.hessen.de/Downloads&Formulare.
- Hörzentrum Oldenburg HÖRZ (2012). Ergebnisse der Erhebungen zum passiven Schallschutz bei 29 Schulen, Stand 21.06.2012.
- Hörzentrum Oldenburg HÖRZ (2013). Besprechungsprotokoll zur Festlegung der benötigten akustischen Daten für Modul 3 „Kognitive Leistung von Kindern“ sowie zur Berechnung benötigte Nachhallzeiten der 29 Schulen mit Stand 27.06.2013, E-Mail vom 01. Juli 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, Ausgabe 2004, Seite 21 - 26.
- Möhler, Ulrich (1990). Spitzenpegel beim Schienenverkehrslärm. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 37, Ausgabe 1990.

Möhler + Partner Ingenieure AG MOPA (2010). Programm zur Berechnung des passiven Schallschutzes an Verkehrswegen nach Akustik 23 PASCHA 2010 Version 1.1.3, Stand 2010.

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm; 25. Juni 2002.

VDI 2719: 1987-08: „Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen“, August 1987.

VDI 4100: 2012-10: „Schallschutz im Hochbau - Wohnungen - Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. Oktober 2012

Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung)(34. BImSchV); Ausfertigungsdatum: 06.03.2006.

Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung)(34. BImSchV), Anlage 2: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen VBUSch; Ausfertigungsdatum: 06.03.2006.

Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung)(34. BImSchV), Anlage 3: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen VBUS; Ausfertigungsdatum: 06.03.2006.

Zeus GmbH (2014), NORAH - unteres akustisches Abschneidekriterium für die Nachtzeit, Schriftverkehr zur Wahl des Abschneidekriteriums, Stand 08.05.2014.

Glossar, Abkürzungsverzeichnis

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 Angabe Schalldruckpegel

A Frequenzbewertung mit A-Bewertungsfilter

F Zeitbewertung steht hier für „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 T_K) 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 nach 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, die viel größer sind als die Zeitkonstante der Zeitbewertungen.

Bei der Berechnung der mittleren Maximalpegel kann davon ausgegangen werden, dass das Rechenmodell „Fast“ bzw. „Slow“ bewertete mittlere Maximalpegel prognostiziert, da wie

in den Abschnitten 2.2.3 - 2.2.5 erläutert, die mittleren Maximalpegel aus einzelnen Vorbeifahrten bzw. Vorbeiflügen gebildet werden.

Demnach gilt:

1. L_{pA,eq,T_i} Mittelungspegel aus Luftverkehr für verschiedene Mittelungszeiten T_i
2. $\overline{L_{pAS,max,T_i}}$ mittlere Maximalpegel aus Luftverkehr für verschiedene Mittelungszeiten T_i
3. L_{pA,eq,T_i} Mittelungspegel aus Straßen- oder Schienenverkehr für verschiedene Mittelungszeiten T_i
4. $\overline{L_{pAF,max}}$ mittlere Maximalpegel aus Straßen- oder Schienenverkehr

Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
A	m ²	Äquivalente Absorptionsfläche des Raumes
A	dB	Frequenzbewertung mit A-Bewertungsfilter
ARP		Airport Reference Point (Flugplatzbezugspunkt)
ATKIS		Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem
AzB		Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen
AzD		Anleitung zur Datenerfassung für den Flugbetrieb
34. BImSchV		Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMU		Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVBS		Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI		Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau
BUZ		Bahn-Umweltzentrum-Berlin
DB		Deutsche Bahn
DES		Datenerfassungssystem
DFS		Deutsche Flugsicherung GmbH
DGM		Digitales Geländemodell
DIN		Deutsches Institut für Normung e. V.
DLM		Digitales Liegenschaftsmodell
DTV	Kfz/24h	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
EBA		Eisenbahnbundesamt
EG / EU		Europäische Gemeinschaft bzw. Europäische Union
eq		Angabe der Energieäquivalenz (energetische Mittelung)
1. FlugLSV		Erste Verordnung zur Durchführung des Gesetzes zur Schutz gegen Fluglärm
FluLärmG		Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm
F bzw. S	s	Zeitbewertungsfilter (F = Fast = 0,125 s; S = Slow = 1 s)
FANOMOS		Flight Track and Noise Monitoring System
GIS		Geoinformationssystem
H	m	Höhe der Luftfahrzeuge aus den Radarspuren
Hessen Mobil		Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement
HLSV		Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen
HLUG		Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
HÖRZ		Hörzentrum Oldenburg
HVBG		Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation
ISO		International Organisation for Standardization
IO		Immissionsort
K	dB	Korrektursummand, der sich aus dem Spektrum des Außengeräusches und der Frequenzabhängigkeit der Schalldämm-Maße von Fenstern ergibt
l	m	Länge der Schallquelle
L _a	dB	maßgeblicher A-bewerteter Außenschallpegel
LAP		Lärmaktionsplanung
L _{den} / L _{DEN}	dB	Beurteilungspegel über Tag-Abend-Nacht (6.00-18.00 Uhr /

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
		18.00-22.00 Uhr / 22.00-6.00 Uhr)
L_{eq}	dB	Mittelungspegel
L_i	dB	A-bewerteter Innenschallpegel
L_{Lkw}	dB	Mittelungspegel für 1 Lkw / h
$L_{m,E}$	dB	Emissionspegel
L_{night}	dB	Mittelungspegel für die Mittelungszeit Nacht (22 - 06 Uhr)
L_p	dB	Schalldruckpegel
L_{pA,eq,T_i}	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe)
$L_{pA,eq,T_i,A}$	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe) Außenpegel
$L_{pA,eq,T_i,I}$	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe) Innenpegel
$L_{pAF,eq,T}$	dB	Mittelungsschalldruckpegel / äquivalenter Dauerschallpegel
$\overline{L_{pAF,max}}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel
$\overline{L_{pAF,max,A}}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel Außenpegel
$\overline{L_{pAF,max,I}}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel Innenpegel
$\overline{L_{pAF,max,Zug}}$	dB	A(F)-bewerteter mittlerer Maximalpegel eines vorbeifahrenden Zuges
$L_{pA,95,TM}$	dB	A-bewerteter 95 % - Perzentilpegel, der in 95 % der Messzeit überschritten wird
$L_{pA,eq,1s}(t)$	dB	A-bewerteter Kurzzeit-Mittelungspegel
L_{pA,eq,T_i}	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe)
$L_{pA,eq,T_i,A}$	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe) Außenpegel
$L_{pA,eq,T_i,I}$	dB	A-bewerteter Mittelungspegel zu einer Mittelungszeit T_i (Zeitscheibe) Innenpegel
$\overline{L_{pAS,max}}$	dB	AS-bewerteter mittlerer Maximalpegel
$L_{pAS,max,i}$	dB	AS-bewerteter Maximalpegel des i-ten Einzelereignisses
$\overline{L_{pAS,max,T_1}}$	dB	AS-bewerteter mittlerer Maximalpegel zu einer Mittelungszeit T_1 (Zeitscheibe)
$\overline{L_{pAS,max,T_1,A}}$	dB	AS-bewerteter mittlerer Maximalpegel zu einer Mittelungszeit T_1 (Zeitscheibe) Außenpegel
$\overline{L_{pAS,max,T_1,I}}$	dB	AS-bewerteter mittlerer Maximalschallpegel zu einer Mittelungszeit T_1 (Zeitscheibe) Innenpegel
L_{WA}	dB	A-bewerteter Schalleistungspegel
L_{WA}'	dB	Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung
l_{Zug}	m	Zuglänge
Maximalpegel		mittlerer Maximalschalldruckpegel
Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung		Maximalschalldruckpegel-Häufigkeitsverteilung
Mittelungspegel		Lanzzeitmittelungsschalldruckpegel (Dauerschallpegel)
MTOM	t	Höchststartmasse
n	1 / h	Anzahl an Zugfahrten pro Stunde
NAT6		Überschreitungsanzahl zur Definition des mittleren Maximalpegels bei Luftverkehrsgeräuschen
p_{Lkw} / SV-Anteil	%	Maßgebender prozentualer Schwerlastverkehrsanteil
$Q_{\sigma,k}$		Luftfahrzeugklassen spezifische Standardunsicherheit
RLS90		Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen

Formelzeichen und Abkürzungen	Einheit	Bedeutung
$R_{w,i}$	dB	Schalldämm-Maße der Teilaußenflächen
$R'_{w,i}$	dB	vorhandenes Schalldämm-Maß der Teilaußenflächen
$R_{w,res}$	dB	resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtaußenfläche
$R'_{w,res}$	dB	vorhandenes resultierendes bewertetes Schalldämm-Maß der Gesamtaußenfläche
s	m	Abstand zwischen Luftfahrzeugklasse und Immissionsort
S_g	m ²	Gesamtaußenfläche, die sich aus allen Teilaußenflächen zusammensetzt
S_i	m ²	Teilaußenflächen
$S_1 - S_n$	m ²	Teilaußenflächen
SV	km/h	Geschwindigkeit des Schwerverkehrs
SVZ		Straßenverkehrszählung
T_i	h	Mittelungszeit (Zeitscheibe)
T_B	h	Bezugszeit
T_E	Tage	Erhebungszeit
T_K	Tage	Kennzeichnungszeit (Zeitintervall der zur Berechnung verwendeten Radardaten)
T_M	h	Messzeit
T	s	Nachhallzeit
T	s	Zeitintervall der Mittelung
TUKL		Technische Universität Kaiserslautern
UNH		Forum Flughafen & Region Gemeinnütziges Umwelt- und Nachbarschaftshaus GmbH
v	km/h	Geschwindigkeit
v_{Lkw}	km/h	Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Lkw
v_{Zug}	km/h	Geschwindigkeit eines vorbeifahrenden Zuges
V	m ³	Raumvolumen
V	km/h	Geschwindigkeit der Luftfahrzeuge aus den Radardaten
VBEB		Vorläufige Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm
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 e. V.
VISUM		Software für Verkehrsanalysen, Verkehrsprognosen und GIS-orientierte Datenverwaltung
W	dB	Winkelkorrektur