



# Gesamtstellungnahme des WBQ zur NORAH-Studie - Akustik

Schriftleitung: Prof. Dr. Kerstin Giering, Dr. Georg Thomann

---

## Dokumentation zur Berechnung der akustischen Da- ten in NORAH

Autoren der Projektbearbeitung:

Ulrich Möhler Manfred Liepert Maximilian Mühlbacher Alfred Beronius Martin Nunberger	Möhler + Partner Ingenieure AG 80336 München
--	---

Gert Braunstein, Michael Gillé, Jochen Schaal	SoundPLAN GmbH 71522 Backnang
--	----------------------------------

Rüdiger Bartel	Avia Consult 15344 Strausberg
----------------	----------------------------------

---

# Inhalt

---

<b>1</b>	<b>Überblick über den Akustikbericht und Anhang</b>	<b>3</b>
1.1	Inhalt und Umfang des Akustikberichts	3
1.2	Die Elemente des Akustikberichts	3
1.3	Die Berichtskapitel im Detail	4
<b>2</b>	<b>Gesamteindruck</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>Einzelaspekte</b>	<b>17</b>
3.1	Aufbau und Gestaltung des Berichts, Leserführung	17
3.2	Nachvollziehbarkeit, Konsistenz und Methodenauswahl	18
3.3	Umgang mit Problemen	25
3.4	Prüfung und Bewertung der Vollständigkeit und Qualität	25
3.5	Einbettung ins bestehende Schrifttum	26
<b>4</b>	<b>Empfehlung des WBQ</b>	<b>27</b>

---

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.

# 1 Überblick über den Akustikbericht und Anhang

---

## 1.1 Inhalt und Umfang des Akustikberichts

---

Vorliegend wird der von Möhler + Partner Ingenieure AG aus München dem Umwelt- und Nachbarschaftshaus übergebene Band Nr. 2 zur NORAH-Studie beurteilt. Dieser ist datiert vom 18. September 2015. Er trägt den Titel „Erfassung der Verkehrsgeräuschexposition“ und dokumentiert die Berechnung der akustischen Daten in NORAH, welche von Möhler + Partner, SoundPLAN und Avia Consult durchgeführt wurden. Der Band umfasst 332 Seiten (inkl. Titelblatt, Impressum, Zusammenfassung, Verzeichnisse und Anhang). Er gliedert sich in einen Berichtteil von neun Kapiteln im Umfang von 173 Seiten (inkl. Glossar und den Verzeichnissen der verwendeten Literatur, Tabellen und Abbildungen) sowie einen Anhang mit 159 Seiten. Dem Berichtteil vorangestellt sind die Zusammenfassung in Deutsch und Englisch (im Umfang von je zwei Seiten) sowie das Inhaltsverzeichnis (im Umfang von 3 Seiten). Der Bericht wird nachfolgend als Akustikbericht bezeichnet.

## 1.2 Die Elemente des Akustikberichts

---

Der Berichtteil ist zweigeteilt. Der erste Teil mit den Kapiteln 1 bis 6 enthält die Aufgabenstellung, die Beschreibung der verwendeten Modelle, die methodischen Ansätze zur Berechnung der Verkehrsgeräusche, die Beschreibung der Datengrundlage, die Plausibilitätsprüfung sowie eine Abschätzung der Berechnungsunsicherheiten und deren Einfluss am Beispiel der Resultate von Modul 3 (NORAH-Band 1: Wirkungen chronischer Fluglärmbelastungen auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern). Der zweite Teil mit den Kapiteln 7, 8 und 9 beschreibt die in den jeweiligen Modulen der Studie speziell durchgeführten Berechnungen sowie die Resultate derselben in Form von ausgewählten relativen Pegelhäufigkeitsverteilungen. Am Schluss des Berichtteils folgen die Verzeichnisse der verwendeten Literatur, Tabellen und Abbildungen sowie das Glossar.

Der dem Berichtteil anschließende Anhang enthält detaillierte Ausführungen zu einzelnen Themenbereichen. Er umfasst 18 Elemente. Anhang 1 beschreibt die Methodik der Interpolation akustischer Kenngrößen. Die Anhänge 2 und 3 zeigen die Zuordnung der verschiedenen Flugzeugtypen zu den Luftfahrzeugklassen der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) sowie die Bewegungszahlen für das Jahr 2005 je Luftfahrzeugklasse. In den Anhängen 4 bis 6 wird die Berechnungsunsicherheit getrennt für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche hergeleitet. Die Anhänge 7, 9, 10, 13, 14 und 15 zeigen die Resultate der Berechnungen für die verschiedenen Module der NORAH-Studie in Form von prozentualen Pegelhäufigkeitsverteilungen. Sie ergänzen die Erläuterungen und Darstellungen in Kapitel 7 bis 9 des Be-

richtteils. Anhang 8 tabelliert die akustischen Kenngrößen, welche an den Vergleichsstandorten berechnet wurden. Die Anhänge 11 und 12 enthalten die Flugbewegungen je Monat getrennt nach Werktagen und Wochenenden inkl. Feiertagen zur Bestimmung individueller Jahrespegel für das Blutdruckmonitoring (Modul 2.2). In Anhang 16 werden sämtliche akustischen Kenngrößen gelistet, welche für die einzelnen Studienmodule berechnet wurden. Im nachfolgenden Anhang 17 wird dokumentiert, wie das Hörzentrum Oldenburg die Nachhallzeiten in den Klassenräumen für Modul 3 ermittelt hat. Der abschließende Anhang 18 enthält die technischen Dokumentationen von AVIA Consult zu den Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche an den Vergleichsstandorten Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld.

## 1.3 Die Berichtkapitel im Detail

---

### **Kapitel 1: Aufgabenstellung**

Der Berichtteil beginnt mit der Aufgabenstellung (Kapitel 1), welche in „Allgemeines“, „Bestimmung der Luftverkehrsgeräuschbelastung“ und „Bestimmung der Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschbelastung“ untergliedert ist. Unter „Allgemeines“ werden in knapper Form der Zweck des Berichts und die Aufgabenstellung wiedergegeben sowie die Gliederung des Berichts skizziert. Der Auftrag bestand darin, die Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschbelastungen entsprechend den Anforderungen der einzelnen Studienmodule in NORAH möglichst valide und umfassend zu ermitteln. Die Anforderungen werden nicht im Detail spezifiziert; hierzu wird auf die Kapitel 7 bis 9 verwiesen. Es wird jedoch versucht, in Kapitel 1 die Aufgabe räumlich, zeitlich und inhaltlich abzugrenzen, indem ein grober Überblick über die Untersuchungsräume und über die Anzahl Probandenadressen gegeben wird, für welche Außen- und je nach Fragestellung Innenpegel berechnet werden mussten.

### **Kapitel 2: Berechnungsmethodik**

In Kapitel 2 werden die modulübergreifend verwendeten Berechnungsmethoden getrennt für Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche erläutert. Akustische Modelle lassen sich klassischerweise dreiteilen: In einen Emissionsteil, welcher die Eigenschaften der Quelle beschreibt, einen Transmissionsteil, in welchem die Bedingungen auf dem Ausbreitungsweg modelliert werden und einen Immissionsteil, welcher die unmittelbare Umgebung beim Empfänger beschreibt. Die Erläuterungen zu den angewandten Berechnungsmethoden folgen dieser Dreiteilung. Sie wird auch genutzt, um die Standardunsicherheit der Berechnungen abzuschätzen (vgl. Kapitel 6).

Zu Beginn von Kapitel 2 wird erläutert, nach welchen Methoden Mittelungs- und Maximalpegel der Luftverkehrsgeräusche ermittelt wurden. Die Berechnung folgte dabei grundsätzlich den Vorschriften der „Bekanntmachung der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb

(AzD) und der Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB) vom 19. November 2008“. Ein Kernelement dieser Bekanntmachung ist die Beschreibung des Flugbetriebs in Form eines Datenerfassungssystems (DES).

Da in Frankfurt die Flugbahnen in den Datenerfassungssystemen zu kurz waren und für die Jahre 1996 bis 2010 keine Datenerfassungssysteme zur Verfügung standen, konnte der Flugbetrieb nur für die Vergleichsflughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld mittels Datenerfassungssystemen beschrieben werden. Für eine Nachbearbeitung resp. Neuerhebung der Datenerfassungssysteme für Frankfurt fehlte die Zeit. So wurde ein neues Verfahren entwickelt, welches Radarflugbahnen von Einzelfügen als direkte Eingabegrößen zur Berechnung der Luftverkehrsgeräusche nutzen kann. Dieses Verfahren wird zu Beginn von Kapitel 2.1.1 kurz beschrieben, wie auch das Standardverfahren nach AzB und AzD. Das neue Verfahren hat große Vorteile. So fließen dank der direkten Verwendung einer Vielzahl von Einzelflugbahnen auch in weiterer Entfernung zum Flughafen die realen Flugbahnverteilungen in die Berechnungen ein, und es können für jeden beliebigen Immissionsort realitätsnahe Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen berechnet werden.

Am Ende dieses Unterkapitels wird auf die „Berechnungsmethodik für Maximalpegel“ bei Luftverkehrsgeräuschen eingegangen. Dabei wird kurz erläutert, was die Autoren unter dem Begriff Maximalpegel verstehen. Sie definieren ihn als „[den] über die lautesten wiederkehrenden Ereignisse gemittelte Vorbeifahrt- resp. Vorbeiflugpegel“. Die AzB kennt keine Vorschriften zur Berechnung eines Maximalpegels nach dieser Definition. Zur Bestimmung des Maximalpegels wird eine Methode angewendet, welche sich gemäß Autoren an das NAT-Kriterium (NAT steht für Number Above Threshold) anlehnt. Dabei werden beim höchsten Wert der Maximalpegel-Häufigkeitsverteilung in Richtung tiefere Pegel hin die Anzahl Ereignisse solange aufsummiert, bis in der Summe sechs Ereignisse erreicht oder überschritten werden. Der Pegelwert, bei welchem dieses Kriterium erfüllt wird, wird als Maximalpegel ausgewiesen. In Abbildung 2-1 des Akustikberichts wird das Vorgehen dargestellt.

Die Mittelungspegel für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche werden nach den in Deutschland für die Lärmkartierung vorgeschriebenen Standardverfahren „Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch)“ resp. „Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS)“ ermittelt. In den beiden Regelwerken fehlen jedoch Verfahren zur Berechnung der Maximalpegel nach obiger Definition. Für diesen Zweck mussten neue Berechnungsalgorithmen entwickelt werden.

Die verwendeten Berechnungsmethoden für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche werden in je einem Unterkapitel kurz erläutert, wobei unterschieden wird in „Berechnungsmethodik für Mittelungspegel“ und „Berechnungsmethodik für Maximalpegel“. Im Falle der Mittelungspegel wird im Wesentlichen auf die Berechnungsmethoden der VBUSch und VBUS verwiesen. Bei der Methodik zur Ermittlung der Maximalpegel werden die verwendeten Berechnungsalgorithmen hergeleitet und mittels Formeln beschrieben. Bei Straßenverkehrsgeräuschen basiert der

ermittelte Maximalpegel auf einer Lkw-Vorbeifahrt, bei den Schienenverkehrsgeräuschen auf der lautesten Zugvorbeifahrt. Jede Linienquelle (Straße oder Schiene) liefert bei Anwendung der Berechnungsalgorithmen jeweils nur einen einzigen Maximalpegelwert pro Empfangspunkt.

Nach der Beschreibung, mit welchen Methoden die Emissionspegel der drei Verkehrsgeräusche ermittelt wurden, folgen die methodischen Erläuterungen zur Transmission (Kapitel 2.2). Sie gliedern sich in „Methodik der Ausbreitungsrechnung“, „Berücksichtigung von Gelände und Hindernissen“ und „Berücksichtigung der Gebäudegeometrie für die Hindernisberechnung“. Die Ausbreitungsrechnung enthält Elemente wie Luft-, Boden- und Meteorologiedämpfung. Diese Dämpfungsterme werden nach den Standardverfahren der AzB, der VBUSch resp. VBUS berechnet und in Kapitel 2.2.1 kurz beschrieben. Neben den oben erwähnten Phänomenen beeinflussen auch Topographie und Bebauung die Transmission resp. die Schallausbreitung. Gelände und (natürliche) Hindernisse entstammen dabei dem digitalen Geländemodell (DGM). Schallschutzschirme wie Wände und Wälle wurden den Daten zur Lärmkartierung entnommen bzw. sind teilweise auch im DGM enthalten. Sie wurden durch Unterlegen von Bildinformationen aus Google Earth verifiziert und ergänzt. Gebäudeumrisse wurden digital nachbearbeitet und bei fehlenden Angaben zur Gebäudehöhe in Abhängigkeit des Gebäudetyps mit pauschalen Höhenangaben versehen.

Das darauffolgende Kapitel zu den Immissionen (2.3) erläutert das Vorgehen bei der Eingrenzung der Untersuchungsgebiete, bei der Zuordnung der Probanden zu den Gebäuden, bei der Berechnung der verkehrsbedingten Außen- und Innenpegel, bei der Ermittlung der Geräuschbelastungen für die vor der Eröffnung der Nordwest-Landebahn liegenden Jahre sowie bei der Festlegung eines Abbruchkriteriums.

Die Berechnung der Außengeräusche des Luftverkehrs erfolgte in allen Studienmodulen direkt für die Gebäudeschwerpunkte (Flächenschwerpunkte der Gebäudeumrisse). Bei der Sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung (Modul 2.1) wurde wegen der sehr großen Anzahl an Probandenadressen (und der damit verbundenen Rechenzeit) von diesem Grundsatz abgewichen. Mittels Vergleichsrechnungen konnte gezeigt werden, dass in Pegelbereichen unter 55 dB Einzelpunktberechnungen von Interpolationswerten in einem Immissionsraster mit einer Maschengitterweite von 1.000 Metern um weniger als ein 1 dB voneinander abweichen. Entsprechend wurde das Untersuchungsgebiet zweigeteilt: in einen Bereich kleiner 55 dB und einen Bereich größer 55 dB. Innerhalb der 55-dB-Isolinie wurden Einzelpunktberechnungen für die Jahre 1996 bis 2010 durchgeführt, außerhalb dieser Linie wurde auf der Grundlage der Gitterpunktwerte interpoliert. Das entsprechende Interpolationsverfahren wird im Anhang 1 des Akustikberichts beschrieben.

Im Gegensatz zu den Außengeräuschen des Luftverkehrs wurden diejenigen des Schienen- und Straßenverkehrs grundsätzlich an allen Fassaden eines Gebäudes berechnet, in welchem Probanden wohnen (vgl. Kapitel 2.3.3.2). Die Aufteilung der Fassadenpunkte sowie die Festlegung der Berechnungshöhen (4 Meter über Gelände) erfolgten nach den Vorgaben der „Be-

kanntmachung der Vorläufigen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Belastungszahlen durch Umgebungslärm vom 9. Februar 2007 (VBEB)“. Die Auswahl des für die einzelnen Studienmodule maßgeblichen Berechnungspunktes richtete sich dann nach den jeweiligen Anforderungen (i.d.R. lauteste Fassade bzw. Fassadenauswahl entsprechend der Angaben in den Fragebögen).

Innenpegel wurden auf der Grundlage der Außenpegel bestimmt. Hierbei unterscheidet sich die Vorgehensweise: Im Rahmen des Blutdruckmonitorings (Modul 2.2) wurden Angaben zu den Außenbauteilen erhoben; für die Fallkontrollstudie (Modul 2.1) erfolgte die Ermittlung der Innenpegel aus den Angaben zur Ausrichtung der Fassade zur Quelle und zum Fensteröffnungsverhalten. Für die Außenbauteile wurden (bewertete) Schalldämm-Masse abgeschätzt und unter Berücksichtigung der verschiedenen Teilflächen die resultierenden Einfügungsdämpfungen mit den Außenpegeln verrechnet. Kapitel 2.3.4 enthält die Schalldämm-Maße für Fenster mit Einfachverglasungen. Die verwendeten Schalldämm-Maße der Außenwände fehlen. Sie sind in Kapitel 8.1.1 zu finden. Dort werden nochmals Schalldämm-Maße für Fenster aufgeführt, welche sich leicht von denen in Kapitel 2.3.4 unterscheiden. Ebenfalls in Kapitel 2.3.4 aufgeführt sind die zur Berechnung der Innenpegel verwendeten Korrektursummanden zur Berücksichtigung der unterschiedlichen spektralen Eigenschaften der drei Verkehrsgeräuschquellen.

Die Berechnung der Außenpegel für die Jahre 1996 bis 2010 konnte im Falle des Luftverkehrs dank der Verfügbarkeit von Radardaten jahresspezifisch erfolgen – mit Ausnahme des Jahres 1996, für welches keine Radardaten zur Verfügung standen. Für 1996 wurden diejenigen des Jahres 1997 übernommen. Im Gegensatz zum Luftverkehr wurden beim Schienenverkehr die Immissionen nur für die Jahre 2002, 2007 und 2010 und beim Straßenverkehr einzig für das Jahr 2005 auf der Basis vorliegender Verkehrsparameter ermittelt. Die übrigen Jahre wurden im Falle des Schienenverkehrs nach dem in Kapitel 2.3.5 dargestellten „Schlüssel“ den Jahren 2002 (1996 bis 2004), 2007 (2005 bis 2008) und 2010 (2009 und 2010) gleichgestellt. Im Falle des Straßenverkehrs wurden die Immissionen auf der Grundlage der mittleren durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) des gesamten Verkehrsnetzes skaliert, indem mittels des DTV-Verhältnisses zum Jahr 2005 ein Korrekturwert in dB ermittelt wurde. Die entsprechenden Werte bewegen sich im tiefen Zehntel-Dezibel-Bereich und liegen weit unterhalb der in Kapitel 6 abgeschätzten Unsicherheiten.

Die Berechnungen ergeben rechnerisch auch dann Pegelwerte, wenn aufgrund beispielsweise der Hintergrundgeräusche am Immissionsort keine Verkehrsgeräusche mehr wahrgenommen werden können. Daher wurde es als sinnvoll erachtet, Pegelwerte unterhalb einer definierten Grenze nicht zu verwenden. Das Abbruchkriterium wurde anhand von Messwerten an ausgewählten Monitoringstationen des Flughafens Frankfurt ermittelt. Kapitel 2.3.6 beschreibt das Vorgehen. Anhand der statistischen Analysen wurde ein generelles Abbruchkriterium für Außenpegel von 30 dB definiert.

Bei der Fallkontrollstudie (Modul 2.1) wurde dieser Wert um 10 dB angehoben. Gleichzeitig wurden Maximalpegelwerte von Luftverkehrsgeräuschen unter 50 dB und solche von Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen unter 40 dB gestrichen. Zudem wurden im Falle von „unplausiblen“ Differenzen zwischen Mittelungs- und Maximalpegeln die Maximalpegel in Abhängigkeit des Mittelungspegels auf einen „maximalen“ resp. „minimalen“ Wert gesetzt (vgl. dazu auch Kapitel 5 „Prüfung der Plausibilität der Berechnungsergebnisse“). Für Innenpegel wurde gestützt auf die VDI 4100 das Abbruchkriterium bei 15 dB festgelegt.

Alle akustischen Berechnungen erfolgten mit der Software SoundPLAN.

### **Kapitel 3: Datengrundlagen**

Kapitel 3 gibt einen detaillierten Einblick in die für die Berechnung der Immissionspegel notwendigen Datengrundlagen. Dabei wird unterschieden in Gelände- (Topographie), Gebäude- (Bebauung) und Verkehrsdaten sowie Daten zum aktiven Lärmschutz (Lärmschutzwände und -wälle). Es wird beschrieben, woher die Daten bezogen und wie sie nachbearbeitet wurden. Teilweise werden die Inhalte der Ausgangsdatenquellen beschrieben. Dabei wird jeweils die Region um den Flughafen Frankfurt separat von den Vergleichsstandorten behandelt.

Die Daten zu Topographie, Bebauung und aktivem Lärmschutz haben je nach Standort einen unterschiedlichen Stand; es wurden die zum Zeitpunkt der Berechnungen aktuellsten verfügbaren Daten verwendet. Zur Verringerung der Datenmenge wurden die Geländedaten gefiltert. Die Informationen zu Lage, Art und Eigenschaften von Lärmschutzwänden an Schienen und Straßen entstammten größtenteils den akustischen Rechenmodellen zur Lärmkartierung. Fehlende Lärmschutzwände wurden anhand von Luftbildaufnahmen nachdigitalisiert. Lärmschutzwände und Gebäude wurden auf ihre Höhenangaben überprüft. Gebäuden ohne Höhenangaben wurden, wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, Standardhöhen zugeordnet. Fehlende oder unwahrscheinliche Kantenhöhen von Lärmschutzwänden wurden ebenfalls pauschalisiert. Lärmschutzwände wurden generell zur Quelle hin als hochabsorbierend angenommen. In Gebieten, wo keine detaillierten Angaben zur Bebauung vorlagen, jedoch Pegel für Probanden ausgewiesen werden mussten, wurden für die Probanden Gebäude generiert und die entsprechenden Gebiete als „Dämpfungsgebiete“ mit einem Pegelabfall von 5 dB pro 100 Meter Bebauungstiefe definiert.

Bei den Verkehrsdaten wird unterschieden zwischen den Verkehrswegen, der Verkehrszusammensetzung und der Verkehrsmenge. Beim Luftverkehr sind all diese Informationen im DES umfassend und abschließend enthalten – sofern ein DES zur Verfügung steht. Datenerfassungssysteme waren für die Vergleichsflughäfen Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld verfüg- und nutzbar. Anhand ausgewählter Erhebungszeiten werden für diese drei Flughäfen in Kapitel 3.3 beispielhaft die Jahresflugbewegungszahlen je Luftfahrzeuggruppe gezeigt.



Für den Flughafen Frankfurt konnten die verfügbaren Datenerfassungssysteme nicht verwendet werden, da, wie bereits erwähnt, die in den Datenerfassungssystemen vorhandenen Flugbahnen zu kurz und für die Jahre von 1996 bis 2010 keine Datenerfassungssysteme zur Verfügung standen. Deshalb wurden für Frankfurt direkt die Flugbahnen der Radaraufzeichnungen im akustischen Modell verarbeitet. Für die Befragungszeiträume von 2010 bis 2014 wurden Radaraufzeichnungen des Flight-Track- and Monitoringsystems (FANOMOS) verwendet. Für die Jahre von 1996 bis 2010 waren keine FANOMOS-Daten verfügbar; es musste auf die STANLY-Aufzeichnungen zurückgegriffen werden.

Sämtliche Radardatenaufzeichnungen wurden von der Deutschen Flugsicherung (DFS) geliefert. Die Aufzeichnungen unterscheiden sich in ihrer Abtastrate: Die Flugbahnpunkte aus FANOMOS weisen einen zeitlichen Abstand von rund 4 Sekunden, diejenigen aus STANLY von 60 Sekunden auf. Es konnten nicht sämtliche Radaraufzeichnungen verwendet werden, da gewisse Datensätze korrumpiert waren (vgl. dazu auch Kapitel 4.3 des Akustikberichts). Der Anteil der nicht verwendbaren Radarflugbahnen unterscheidet sich von Jahr zu Jahr und bewegt sich zwischen 0,2 und 8,7 Prozent. Die Ausfallraten sowie die Anzahl der verwendbaren Radarflugbahnen werden in Kapitel 3.3.1 des Akustikberichts in zwei Tabellen gelistet (je eine Tabelle für STANLY und FANOMOS).

Die Verarbeitung von einzelnen Radarflugbahnen verlangte eine direkte Zuordnung des Flugzeugtyps zur Luftfahrzeuggruppe, über welche die akustischen Eigenschaften des entsprechenden Flugzeugtyps definiert sind. Der Zuordnungsschlüssel findet sich in Tabelle 3-4 und in Anhang 2. Die Anzahl Flugbewegungen je Luftfahrzeuggruppe werden an einem ausgewählten Beispiel (Erhebungszeit vom Oktober 2010) in Tabelle 3-3 ausgewiesen.

Die Daten für die Berechnung der Straßenverkehrsgeräusche (Netz, Menge, Zusammensetzung) entstammen für die Vergleichsstandorte Köln/Bonn, Stuttgart und Berlin/Schönefeld der Lärmkartierung zweite Stufe mit Stand 2012 resp. 2013. Für den Untersuchungsraum Frankfurt wurden die Verkehrsdaten des Verkehrsmodells VISUM (für den Regierungsbezirk Darmstadt) resp. der Straßenverkehrszählung (für Rheinland-Pfalz (RLP)), jeweils mit Stand 2005 verwendet. Das VISUM-Modell enthält alle signifikanten Hauptstraßen der Ballungsräume Wiesbaden, Frankfurt und Darmstadt, wohingegen die Straßenverkehrszählung nur einen Bruchteil davon enthielt. In den Modellen enthalten sind die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), der Schwerverkehrsanteil (SV-Anteil) sowie die Straßengattung; zusätzlich enthält das VISUM-Modell auch Angaben zu den Geschwindigkeiten, die in der Bearbeitung vereinheitlicht wurden. Für RLP wurden die Geschwindigkeiten anhand der Straßengattung pauschal festgesetzt. Bei fehlenden Angaben zur Verteilung der DTV und der SV-Anteile auf die Zeitscheiben Tag, Abend und Nacht wurden die Standardfaktoren der VBUS verwendet. Steigungen wurden aus dem DGM abgeleitet, wobei solche über 10 % im Rechenkern auf 10 % begrenzt wurden. Bei Straßen mit zulässigen Geschwindigkeiten von 80 bzw. 100 km/h wurde eine Straßenoberflächenkorrektur von -2 dB angesetzt (unter der Annahme, dass ein Asphaltbeton 0/11 ohne Splitting

verbaut ist). Bei allen anderen Straßen (auch Autobahnen) wurde eine Straßenoberflächenkorrektur von 0 dB verwendet. Das Verkehrsmodell wurde auf Vollständigkeit sowie auf zeitliche Veränderungen der Verkehrssituation geprüft, indem die georeferenzierten digitalen Straßennetze und Verkehrszählungen der Jahre 1995, 2000, 2005 und 2010 mit den Modellangaben verglichen wurden. Es wurden vor allem Abweichungen in den SV-Anteilen korrigiert. Straßen mit Verkehrsstärken unter 500 Fahrzeuge pro 24 Stunden wurden aus den Berechnungen entfernt, wenn diese Gebäude schnitten oder andere Korrekturmaßnahmen erforderlich waren.

Zur Beschreibung des Schienenverkehrs wurden die Schienenstrecken aus der Lärmkartierung des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) mit Stand 2010 übernommen. Die detaillierten Zugmengerüste für den Istzustand 2010 (für den Regierungsbezirk Darmstadt und RLP) und 2012 (für die Vergleichsstandorte) wurden vom Bahnumweltzentrum (BUZ) bezogen. In den Ausgangsdaten sind die Streckennummern, die Anzahl Zugfahrten tags und nachts je Zuggattung, die Art der Züge, die Scheibenbremsanteile (SB-Anteile), die Höchstgeschwindigkeiten der Züge, die Zuglängen, Zuschläge für Zugarten sowie die örtlich zulässigen Streckengeschwindigkeiten mit georeferenzierten Stützpunktkoordinaten der Geschwindigkeitswechsel enthalten. Dieselben Daten waren auch für die Jahre 2002 und 2007 für die Hauptverkehrsstrecken verfügbar. Fehlende Schienenstrecken im Streckennetzmodell des EBA wurden entweder manuell nachmodelliert oder aus dem Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) übernommen; das Zugmengerüst für fehlende Strecken wurde aus den 2010er Daten des BUZ übernommen. Damit enthält das akustische Rechenmodell alle Schienenstrecken des DB-Netzes. Das Modell berücksichtigt keine Zugschläge für Kurvenradien und Bahnübergänge. Brücken werden, entsprechend den Vorgaben der VBUSch, mit einem pauschalen Zuschlag von +5 dB, der Gleisoberbau mit einem solchen von +2 dB versehen. Straßenbahnen wurden generell nicht berücksichtigt.

#### **Kapitel 4: Vergleich Radarbahnen und DES-Berechnung zu Messwerten**

In Kapitel 4 wird im Detail erläutert, warum für den Flughafen Frankfurt nicht die verfügbaren Datenerfassungssysteme verwendet werden konnten, welche Alternativen geprüft wurden und wie die Entscheidungsfindung erfolgte. Die Gründe für die Suche nach Alternativen zum Standardverfahren nach AzD wurden bereits oben ausgeführt. Sie werden zu Beginn von Kapitel 4 nochmals dargelegt. Danach wird das Untersuchungskonzept zur Festlegung einer Alternativvariante vorgestellt. Es sah folgende zwei Phasen vor: (1) Berechnung der Schallimmissionen auf der Grundlage der direkten Verwendung von Radarflugbahnen und Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Messergebnissen an den Messpunkten des Monitoringsystems des Flughafens Frankfurt; (2) Berechnung der Schallimmissionen auf der Grundlage von DES-Daten und Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Ergebnissen aus Phase 1. Für die Aufbereitung der Radardaten und die direkte Verwendung derselben für die Berechnungen musste ein neues Werkzeug entwickelt werden.

Das Untersuchungskonzept sah die Berechnung von acht unterschiedlichen Varianten zur Beschreibung der Flugwege vor. Die Varianten 1 bis 4 basieren auf einem DES ohne Streckenverlängerung (Variante 1), mit linearer Streckenverlängerung (Variante 2), mit Verlängerung der Flugspuren auf Basis von FANOMOS-Radaraufzeichnungen (Variante 3) und mit grundlegender Überarbeitung auf der Basis des Luftfahrthandbuches und von Radarspurauswertungen (Variante 4). Die vierte Variante wurde nicht weiter verfolgt, da die Neuerstellung eines DES als zu aufwändig eingestuft wurde.

Die Varianten 5 bis 8 basieren auf der direkten Verarbeitung einzelner Radarflugbahnaufzeichnungen, wobei der Spurverlauf (x- und y-Koordinate) immer aus den Radaraufzeichnungen stammte, Höhenverlauf (z-Koordinate) und Geschwindigkeitsprofil (v) dagegen je nach Variante entweder aus den Radaraufzeichnungen übernommen oder den Datenblättern der AzB entnommen wurden. Die Varianten 5 bis 8 wurden sowohl mit STANLY- als auch mit FANOMOS-Daten durchgerechnet.

Bevor die Ergebnisse der Variantenrechnungen mit den Messungen verglichen werden, wird in Kapitel 4 kurz die Vorgehensweise beim Import und der Aufbereitung der Radardaten erläutert (Kapitel 4.3). Dabei wird auf die Problematik der unterschiedlichen Abstraten eingegangen und der damit verbundenen Schwierigkeiten der korrekten Abbildung des Kurvenflugs und der Detektion der Zwischenanflughöhen wegen der gerade bei STANLY-Daten sehr weit voneinander entfernten Flugbahnpunkte. Die Wirkung der implementierten Lösungen (kubische Spline-Funktion zur Nachbildung des Kurvenflugs, nicht näher spezifizierter Algorithmus zur Detektion der Zwischenanflughöhen) wird anhand verschiedener grafischer Darstellungen präsentiert und diskutiert.

Kurvenflüge lassen sich mittels des gewählten Ansatzes befriedigend nachbilden (vgl. Abbildung 4-7). Zwischenanflughöhen werden dagegen nicht immer eindeutig und korrekt detektiert. Dies betrifft vor allem Höhenverläufe in größeren Entfernungen zum Aufsetzpunkt. Aufsetz- und Abhebe- und Landepunkte fehlen in den Rohdaten des Radars, denn die Flugbahnen enden generell nicht auf sondern vor den Pisten. Mit Hilfe eines (nicht näher spezifizierten) Verfahrens, welches zusätzliche Flugbahnpunkte generiert, konnte praktisch jeder Flugbahn eine Start- oder Landebahn zugeordnet werden. Flugbahnen, die mehr als 15 Kilometer vom Bahnbezugspunkt (BBP) entfernt endeten oder begannen, wurden generell verworfen resp. in den Berechnungen nicht verwendet.

Die Einzelflugvarianten 5 bis 8 zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Messungen an den Monitoringstationen. Die mittleren Abweichungen betragen zwischen -0,1 und 1,0 dB (Berechnung minus Messung). Das heißt, die Berechnung überschätzt im Mittel die Messung leicht, wobei unter Berücksichtigung der Standardabweichung sowohl Messung als auch Berechnung sowie die Berechnungsvarianten untereinander – unabhängig davon, ob STANLY- oder FANOMOS-Daten verwendet wurden – als (im statistischen Sinne) gleichwertig angesehen werden können. Dieselbe Schlussfolgerung kann gezogen werden beim Vergleich der DES-

Varianten mit den Messungen resp. mit den Einzelflugvarianten – mit zwei Ausnahmen: An den Anflug-Messstellen sind tags alle DES-Varianten lauter als die Messungen (und auch lauter als die Einzelflugvarianten), nachts dagegen leiser als die Messungen. Dieser Befund konnte nicht erklärt werden.

In Ergänzung zu den Vergleichen mit Messungen werden am Schluss von Kapitel 4 des Akustikberichts kartografische Differenzdarstellungen zwischen DES- und Einzelflugvarianten gezeigt. Dabei wird deutlich, dass im Außenbereich des Untersuchungsgebietes auch im Falle von Streckenverlängerungen bei den DES-Varianten die Immissionspegel um mehr als 5 dB unterschätzt werden.

### **Kapitel 5: Prüfung der Plausibilität der Berechnungsergebnisse**

Alle Daten, die im Rahmen der NORAH-Studie erhoben und weiter verarbeitet wurden, wurden stichprobenartig mit verschiedenen Methoden auf Plausibilität überprüft. So wurden im akustischen Straßen- resp. Schienenverkehrsmodell Höhenlinien angezeigt oder die Straßen- und Schienenstreckenverläufe im Aufriss dargestellt, um Auffälligkeiten in den Höhen festzustellen. Die gewählte Vorgehensweise der Umsetzung der geometrischen Daten und der Verkehrsdaten in ein akustisches Modell wurde mittels Rasterberechnungen an einem Testgebiet überprüft. Anhand weiterer Rasterlärnkarten, die mittels freier Schall-Ausbreitung berechnet wurden, wurden die Emissionen im Nahbereich von Straßen und Schienen auf Auffälligkeiten geprüft. Zudem wurden in einer visuellen Prüfung alle Gebäude markiert, die zu nahe an den Emissionsbändern lagen. Die entsprechenden Straßen wurden auf der Basis von Google Earth verschoben oder deren Fahrbahnbreiten reduziert. Unplausible Steigungen ( $> 10\%$ ), die sich aus Unstetigkeiten im Geländemodell ergaben, wurden aus dem akustischen Modell eliminiert. Pegelwerte wurden auf ihre Plausibilität geprüft, indem beim Flugverkehr die Anzahl berechneter Maximalpegel je Probandenstandort ermittelt, beim Schienenverkehr die zeitliche Veränderung im Mittelungspegel dargestellt und beim Straßen- und Schienenverkehr die Differenzen zwischen Mittelungs- und Maximalpegel gebildet wurden. Überall, wo die Maximalpegel kleiner als die Mittelungspegel waren, wurden sie den Mittelungspegeln gleichgesetzt. Korrekturen waren im Falle des Straßenverkehrs an 17 %, im Falle des Schienenverkehrs an insgesamt 3,3 % aller Immissionsorte notwendig. Beim Luftverkehr wurden keine Korrekturen gemacht, denn die grafische Darstellung der Anzahl berechneter Maximalpegel je Probandenstandort zeigte das erwartete Verhalten: Die Anzahl nimmt wegen des Abbruchkriteriums mit der Distanz zum Flughafen kontinuierlich und stetig ab.

## **Kapitel 6: Ermittlung der Berechnungsunsicherheit**

Die Plausibilitätsprüfung in Kapitel 5 diente u.a. zur Lokalisierung grober Fehler. Falls solche auftraten resp. entdeckt wurden, wurden sie wie beschrieben korrigiert. Die Berechnungen enthalten jedoch noch mit großer Wahrscheinlichkeit „Fehler“, die unentdeckt blieben. Sie beeinflussen die Berechnungsergebnisse resp. deren Unsicherheit. Kapitel 6 beschäftigt sich mit der Berechnungsunsicherheit und deren Einfluss auf die Lage und den Verlauf einer Expositions-Wirkungs-Beziehung. Zu Beginn des Kapitels werden die Motivation und der Anlass, das Modell und die Methodik zur Ermittlung der Berechnungsunsicherheiten vorgestellt. In einem ersten Schritt galt es, die verschiedenen Einflussgrößen auf die Berechnungen zu identifizieren. Dabei wurden getrennt für die Wirkungsbereiche Emission, Transmission und Immission und getrennt nach den drei Verkehrsgeräuscharten insgesamt zwölf Einflussgrößen unterschieden. Ihre Unsicherheiten wurden danach in Abhängigkeit von der Distanz geschätzt und zu einer Gesamtunsicherheit zusammengefasst. (Die Herleitungen und die Ermittlung der Teilunsicherheiten finden sich in den Anhängen 4 bis 6 des Akustikberichts). Die ausgewiesenen Gesamtunsicherheiten (im Sinne einer Standardunsicherheit) bewegen sich je nach Verkehrsgeräuschart und Distanz (auf ganze Zahlen gerundet) zwischen 3 und 5 dB. Diese Unsicherheitsangaben beziehen sich auf die ermittelten Außenpegel. Die Unsicherheiten der Innenpegel liegen wesentlich höher. Sie werden wegen der Unsicherheiten der Lage des Wohnraums zur Verkehrslärmquelle, der Fensterstellungen und der Schalldämmung der Außenbauteile vorsichtig mit 5 bis 10 dB abgeschätzt.

Am Ende von Kapitel 6 wird der Einfluss der Unsicherheiten in den Pegelwerten am Beispiel zweier Expositions-Wirkungs-Beziehungen aus der Kinderstudie (Modul 3) gezeigt. Dabei wurden die Unsicherheiten der Exposition in die aggregierten T-Werte je Pegelklasse aus der Kinderstudie eingerechnet. Dafür musste zuerst die distanzabhängige Standardunsicherheit in eine pegelhöhenabhängige Standardunsicherheit umgerechnet werden. Das Vorgehen wird in Kapitel 6.6 erläutert, bevor in Kapitel 6.7 die Ergebnisse der Wirkungsanalyse (Wirkung der Unsicherheit der akustischen Größen auf Lage und Verlauf der Expositions-Wirkungs-Geraden) präsentiert werden. Durch Einrechnen der Unsicherheit der Pegelwerte werden im Wesentlichen die Unsicherheiten der Parameter Steigung und Achsenabschnitt des Geradenfits beeinflusst resp. erhöht sowie der Vertrauensbereich vergrößert. Der Einfluss auf Lage und Verlauf der Geraden ist jedoch vernachlässigbar gering, wie die Quantifizierungen und grafischen Darstellungen zum Schluss von Kapitel 6 zeigen.

## **Kapitel 7, 8 und 9: Modulspezifische Berechnungen**

In den Kapiteln 7 bis 9 werden die Berechnungen erläutert, welche spezifisch für die einzelnen Module durchgeführt wurden. Zu Beginn der einzelnen Kapitel wird jeweils ein Überblick über den Umfang (Art der akustischen Parameter) und die zeitliche sowie räumliche Ausdehnung der

durchgeführten Berechnungen gegeben. Danach werden die Berechnungsergebnisse anhand ausgewählter Beispiele grafisch dargestellt. Aus den Darstellungen ist recht gut ersichtlich, wie viele Probanden welcher Geräuschbelastung ausgesetzt sind und welche Unterschiede diesbezüglich zwischen Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen bestehen. In den Anhängen 7, 10, 13, 14 und 15 sind weitere Darstellungen zu finden.

In Modul 1 „Belästigung und Lebensqualität“ wurden Berechnungen im Bereich des Flughafens Frankfurt je nach Erhebungswelle für bis zu 11.000 Probandenadressen durchgeführt. In Berlin/Schönefeld waren es rund 5.800, in Köln/Bonn 8.000 und in Stuttgart knapp 8.400 Adressen. Bei den akustischen Kenngrößen handelt es sich um Dauerschallpegel ( $L_{pA,eq}$ ) für unterschiedliche Erhebungs- und Teilzeiten, um einen Beurteilungspegel ( $L_{DEN}$ ), um mittlere Maximalpegel ( $L_{pAS,max}$  resp.  $L_{pAF,max}$ ) und um die Anzahl Maximalpegel in Klassen von 1 resp. 5 dB (Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen  $H(L_{pAS,max})$ ). Insgesamt wurden in Frankfurt für jede Adresse über 100 verschiedene akustische Kenngrößen (davon je 7 für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche und 8 für Gesamtgeräusche) ausgewiesen – die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen, Erhebungs- und Kennzeichnungszeiten nicht mitgezählt. Würde man diese noch berücksichtigen, so wären es knapp 500 resp. rund 6.500 verschiedene Kenngrößen. Bei den Vergleichsstandorten waren es ohne Berücksichtigung der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen und Zeiten zwischen 85 und 90 Kenngrößen (davon auch hier je 7 für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche).

Im Modul 2.2 (Blutdruckmonitoring) mussten akustische Kenngrößen für die drei Verkehrsgeschlechtern im Umfeld des Flughafens Frankfurt für verschiedene Beobachtungsperioden verteilt über die Jahre 2011 bis 2014 berechnet werden (ca. 40 Kenngrößen für knapp 1.400 Probandenadressen – ohne Berücksichtigung der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen, Erhebungs- und Kennzeichnungszeiten). Da die Probandenauswahl des Blutdruckmonitorings auch Probanden des Moduls 2.3 (Schlafstudie) enthielt, wurden die Berechnungen auch für die Probanden dieser Teilstudie durchgeführt (ca. 40 Adressen). In Modul 2.1 (Sekundärdatenbasierte Fallkontrollstudie mit vertiefender Befragung) waren es über 863.000 Gebäude mit über einer Million Probandenadressen, für welche innerhalb des Regierungsbezirks Darmstadt und von Rheinhessen von 1996 bis 2010 Außengeräuschpegel ermittelt werden mussten (ca. 35 verschiedene akustische Kenngrößen, ohne Berücksichtigung der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen, Erhebungs- und Kennzeichnungszeiten).

Im Modul 3 („Wirkungen chronischer Fluglärmbelastung auf kognitive Leistungen und Lebensqualität bei Grundschulkindern“) wurden akustische Kenngrößen an 85 Grundschulen und 1.300 Probandenadressen für die Erhebungszeit vom 16.05.2011 bis 15.05.2012 berechnet. Zusätzlich mussten die Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche für das Jahr 2012 ermittelt werden. Im Rahmen einer Vergleichsuntersuchung musste zudem die akustische Belastung durch Luftverkehrsgeräusche an den Grundschulen für die Erhebungszeit vom 16.05.2013 bis 15.05.2014 bestimmt werden. Insgesamt wurden für die verschiedenen Erhebungszeiten ca. 30

unterschiedliche akustische Kenngrößen ausgewiesen – die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen und die Innenpegel nicht mitgezählt.

Zusätzlich zu den Außenpegeln wurden für ausgewählte Adressen des Blutdruckmonitorings und der Fallkontrollstudie sowie für die Kinderstudie Innenpegel berechnet. Sie wurden ermittelt, indem der Außenpegel in Abhängigkeit der Lage der Schlaf- und Wohnräume zu den jeweiligen Verkehrsgeräuschquellen, der Fensterstellungen und der akustischen Dämmeigenschaften der Außenbauteile (im Falle des Blutdruckmonitorings und der Kinderstudie) korrigiert wurde.

### **Verzeichnisse und Glossar**

Das Kapitel „Verzeichnisse“ enthält das Tabellen-, Abbildungs- und Literaturverzeichnis. Das anschließende Glossar beginnt mit Erläuterungen zu den gewählten Schallpegelbezeichnungen. Danach folgt eine Auflistung der verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen. Zusätzlich werden in der Liste verwendete Begriffe erklärt, was aus der Kapitelüberschrift nicht hervorgeht.

## **2 Gesamteindruck**

---

Der von Möhler + Partner Ingenieure AG aus München vorgelegte Bericht dokumentiert ausführlich die Arbeiten zur Akustik innerhalb der NORAH-Studie. Es wird sehr detailliert und in den Grundzügen nachvollziehbar beschrieben, welche akustischen Größen für die einzelnen Studienmodule berechnet wurden, welche Daten zur Berechnung dieser Größen notwendig waren und woher sie stammen, welche akustischen Modelle und methodischen Ansätze den Berechnungen zugrunde liegen, wo Vereinfachungen und Annahmen getroffen wurden und mit welchen Unsicherheiten die berechneten Pegelwerte behaftet sind. Der Akustikbericht dient in dieser Form einerseits der Spurensicherung und der Darstellung der ermittelten Verkehrsgeräuschexpositionen. Andererseits ist er auch ein Referenzband und Nachschlagewerk. Denn sämtliche Studienmodule in NORAH benutzen die von Möhler + Partner, von SoundPLAN und Avia Consult berechneten akustischen Kenngrößen.

Das Anforderungsprofil an die Akustik war sehr hoch. So mussten für alle Module zum Herleiten von Expositions-Wirkungsbeziehungen adressgenau akustische Kenngrößen sowohl für Luft- als auch für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche bestimmt werden. Dabei galt es, vier verschiedene Untersuchungsgebiete zu bearbeiten: Regierungsbezirk Darmstadt mit dem Flughafen Frankfurt und die Vergleichsstandorte in der Umgebung der Flughäfen Stuttgart, Köln/Bonn sowie Berlin/Schönefeld. Für alle drei Verkehrsgeräuscharten mussten je nach Modul mehrere dutzend bis tausende verschiedene Außengeräuschpegel für viele verschiedene

Erhebungs- und Teilzeiten an zwischen 1.300 und 863.000 Probandenadressen berechnet werden. Ferner mussten Innenraumpegel auf der Basis von Erhebungen zu den Eigenschaften der Außenbauteile, zur Ausrichtung der Wohn- und Schlafräume zu den Verkehrsgeräuschquellen Straße und Schiene sowie zum Fensteröffnungsverhalten abgeleitet werden.

Diese komplexe Aufgabenstellung resp. das komplexe Anforderungsprofil und der riesige Datenumfang waren die Hauptherausforderungen im Akustikmodul. Die unterschiedliche Qualität und Aktualität der Eingangsdaten für die akustischen Berechnungen war eine zusätzliche Herausforderung, ebenso das Fehlen von etablierten Methoden zur Berechnung der Maximalpegel von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen. Eine weitere, nicht zu unterschätzende Herausforderung war der Aufbau geeigneter Datenbankstrukturen für das Verwalten und den Austausch der zahlreichen Pegelgrößen. Gerade diese enorme Arbeit wird bei der Lektüre des Akustikberichts nur zwischen den Zeilen sichtbar. Bei all diesen gut gemeisterten Herausforderungen darf jedoch ein mit Bravour gelöstes Problem nicht vergessen werden: Die Berechnung der Luftverkehrsgeräusche unter direkter Verwendung von Radardaten. Zu Beginn der Studie wurde in kürzester Zeit ein Verfahren entwickelt, welches das Problem der zu kurzen Flughäfen im Datenerfassungssystem des Flughafens Frankfurt und das Problem der fehlenden Datenerfassungssysteme für die Jahre von 1996 bis 2010 elegant löste. Ohne diese große Anstrengung wären Daten zu Luftverkehrsgeräuschen nur in stark reduziertem Umfang verfügbar und praktisch alle Studienmodule wären ihrer akustischen Grundlagen beraubt gewesen.

Ein weiteres Lob muss den Akustikern für die Ermittlung der Berechnungsunsicherheiten gemacht werden. Die systematische Auseinandersetzung mit diesem Thema und die unbeschönigte Darstellung und Quantifizierung der unvermeidlichen Unsicherheiten ist einmalig und hat Vorbildcharakter. Eine weitere Stärke ist die akribische Darstellung und Beschreibung der angewandten Methoden und der erhaltenen Ergebnisse. Beim Lesen ist man beeindruckt vom Umfang der durchgeführten Arbeiten. Dass dabei nicht jeder Handgriff, jede Annahme und jedes aufgetauchte Problem im Detail beschrieben werden kann, liegt in der Natur der Sache und ist dem Zeitdruck geschuldet, unter welchem die Akustiker permanent standen.

Alles in Allem erfüllt der Bericht die in ihn gesteckten Erwartungen: Er dokumentiert die im Rahmen von NORAH durchgeführten akustischen Berechnungen in einer transparenten Art und Weise, so dass jederzeit die akustischen Grundlagen zu den Wirkungsanalysen nachgelesen resp. nachgeschlagen werden können.



## 3 Einzelaspekte

---

Nachfolgend werden einzelne Aspekte des Akustikberichts näher beleuchtet. Zu Beginn werden der Aufbau sowie die Gestaltung des Berichts kurz gewürdigt. Dabei wird auch die Leserführung thematisiert. Nach dieser rein strukturellen folgt die inhaltliche Beurteilung. Dabei geht es um die Nachvollziehbarkeit und Konsistenz der Ausführungen sowie um die Wahl der Methoden. Es werden acht verschiedene Themenbereiche diskutiert. Im Anschluss an diese Ausführungen wird kurz auf die Fragen eingegangen, wie mit Problemen umgegangen wurde und wie sich der Akustikbericht in das bestehende Schrifttum einbetten lässt.

### 3.1 Aufbau und Gestaltung des Berichts, Leserführung

---

Die gewählte Berichtstruktur ist logisch und sinnvoll. Hinter der Zweiteilung des Berichtsteils steckt die Idee, zu Beginn die Methoden sowie die durchgeführten Berechnungen zu beschreiben, welche alle Module betreffen, um danach auf die modulspezifischen Methoden und Berechnungen einzugehen. Verwendete Begriffe, Pegelwerte und Abkürzungen werden im Glossar erläutert, damit im Bericht auf diese Definitionen verwiesen werden kann. Der Anhang dient dazu, Grafiken, Tabellen und Diagramme aufzunehmen, welche den In- und Output der Berechnungen festhalten und dokumentieren.

Dieses Konzept wird teilweise durchbrochen. Es gibt einige Wiederholungen, die es dem Leser nicht einfach machen, herauszufinden, wie jetzt genau vorgegangen wurde. Beispielsweise bei der Beschreibung der Zuweisung der Flugbewegungen auf die verschiedenen Zeitscheiben, bei der Beschreibung der Ermittlung der Außen- und Innenpegel oder der Schalldämmmaße für Fenster finden sich im Text teilweise voneinander abweichende Angaben. Diese Verwirrungen hätte man vermeiden können, wenn in einem jeweils separaten Anhang das entsprechende Vorgehen, die gewählten Zuordnungen oder verwendeten Maße in einer generell gültigen Übersicht analog der Beschreibung der Interpolation im Immissionsraster dargestellt worden wären.

Als Leser hätte man sich gewünscht, dass zu Beginn des Berichts die Aufgabenstellung sowie die Systemabgrenzung etwas ausführlicher ausgefallen wäre. Das erste Kapitel des Akustikberichts trägt zwar die Überschrift „Aufgabenstellung“. Die Beschreibung der Aufgabenstellung ist leider sehr kurz gehalten. Der Leser wird zwar über die Struktur und den Inhalt des Berichts sowie das Umfeld, in welchem der Bericht erstellt wurde, orientiert. Ein wichtiges Element dieser Orientierung wäre eine umfassende Systemabgrenzung. Sie wird üblicherweise unterteilt in eine inhaltliche, räumliche und zeitliche Dimension. Da bei der Systemabgrenzung (sowohl inhaltlich, räumlich als auch zeitlich) zwischen den Modulen Unterschiede bestehen, wäre es sinnvoll gewesen, in der Aufgabenstellung die Inhalte der einzelnen Studien kurz vorzustellen, bevor die eigentliche Systemabgrenzung erfolgt.

Der Bericht enthält im Einführungskapitel zwar eine räumliche Darstellung der Untersuchungsgebiete sowie eine nach den einzelnen Modulen unterteilte Übersicht der Anzahl Probandenadressen, für welche akustische Kenngrößen ermittelt werden mussten. Die zeitliche Dimension, das heißt in welchem Modul welche tageszeitlichen Belastungen über welche Tage, Monate und Jahre zu berechnen waren, wie auch der Umfang (Anzahl und Art) der zu ermittelnden Kenngrößen wird einleitend zu wenig sichtbar. Zudem hätte eine über den gesamten Bericht konsistente Bezeichnung und Schreibweise der Untersuchungsräume die Orientierung wesentlich erleichtert.

## 3.2 Nachvollziehbarkeit, Konsistenz und Methodenauswahl

---

Bezüglich Nachvollziehbarkeit, Konsistenz und Methodenwahl werden folgende acht Themenbereiche näher betrachtet: Ermittlung der Verkehrsgeräusche außen (getrennt nach Luft-, Schienen- und Straßenverkehr), die Ermittlung der Innenpegel, die Ermittlung der Maximalpegel, die Zuordnung der Adresskoordinaten zu Einwohnerdaten, das Datenmanagement und die Ermittlung der Berechnungsunsicherheit.

### **Ermittlung der Luftverkehrsgeräusche außen**

Die Berechnung der Luftverkehrsgeräusche im Falle der Vergleichsflughäfen nach AzB und AzD ist etabliert. Der den Berechnungen zugrunde liegende Flugbetrieb wird mittels Datenerfassungssystemen im Detail beschrieben. Die entsprechenden Dokumentationen sind dem Akustikbericht angefügt (Anhang 18). Sie sind etwas knapp ausgefallen, reichen jedoch aus, die durchgeführten Berechnungen nachzuvollziehen.

Im Falle von Frankfurt konnten jedoch keine Datenerfassungssysteme verwendet werden. Für die Berechnungen wurden direkt die Einzelflüge aus Radaraufzeichnungen verarbeitet. Die Methode ist für Deutschland neu. Deshalb fehlen auch entsprechende technische Dokumentationen, welche das Verfahren resp. die Radardatenaufbereitung zur direkten Verwendung im akustischen Modell im Detail beschreiben (beispielsweise kubische Spline-Funktion zur Nachbildung des Kurvenflugs, Algorithmus zur Detektion der Zwischenanflughöhen, Methode des „Zwingens“ der Flugbahnen auf die Pisten). Diese Aufgabe musste der Akustikbericht übernehmen, was eine ziemliche Herausforderung darstellte.

Aus den Erläuterungen im Bericht wird leider nicht ganz klar, wie die Luftverkehrsgeräusche in Frankfurt resp. die Mittelungspegel und mittleren Maximalpegel für die einzelnen Tageszeiten resp. Wochentag, Monate und Jahre ermittelt wurden. Die Information über die Einzelflugsimulation reicht nicht aus, um diese Frage schlüssig zu klären. Beispielsweise könnte man den Ein-Stunden-Mittelungspegel von 5 bis 6 Uhr morgens für die Werktage eines Kalenderjahres – vereinfacht gesagt – berechnen, indem man alle Einzelflüge in dieser Zeit übers Jahr markiert,

an den Immissionsorten die Schallenergien berechnet, diese aufsummiert und durch die Anzahl Tage teilt. Oder aber man könnte, für jede Flugzeugklasse einen akustischen Fußabdruck („Footprint“) für die gewählte Zeitperiode rechnen und diese „Footprints“ entsprechend dem mittleren Verkehrsaufkommen im betrachteten Zeitabschnitt aus der Flugbewegungsstatistik gewichtet aufsummieren. Beide Methoden haben ihre Berechtigung resp. ihre Vor- und Nachteile. Die Resultate können wegen der unterschiedlichen Gewichtung der Flugbewegungen (Methode 1 setzt die verfügbaren Radarflugbahnen den Bewegungen gleich, wohingegen Methode 2 die offizielle Statistik des Flughafens verwendet) geringfügig voneinander abweichen.

Aus den Erläuterungen des Berichts kann man annehmen, dass die erste Methode umgesetzt wurde. Dies führt dazu, dass wegen des Wegfalls korrumpierter Radarflugbahndaten nicht alle am Flughafen registrierten Flugbewegungen in die Berechnungen eingehen. Die "Ausfallquote" wird im Bericht gesamthaft angegeben und im Rahmen der Unsicherheitsabschätzung berücksichtigt. Aus Transparenzgründen wäre es jedoch nützlich gewesen, wenn dargelegt worden wäre, welche Flugzeugklassen auf welchen Routen von diesen Ausfällen in welchem Masse betroffen waren. Diese Art der Darstellung entspricht in ihrer Form der so genannten Bewegungsstatistik. Sie zeigt auf, wie viele Flugzeuge welchen Typs auf welchen Routen verkehren – oder vereinfacht – welche Pisten benutzt wurden. Derartige Darstellungen würden beispielsweise einen Vergleich mit den offiziellen Statistiken ermöglichen.

Das neue Verfahren wurde mit dem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren mittels Messungen an den Monitoringstationen verglichen. Hierbei wurde als „Vergleichsgröße“ der Mittelungspegel verwendet. Dabei wird nicht ganz klar, welche Messwerte herangezogen wurden: Handelte es sich um Mittelungspegel, welche nur Messwerte enthalten oder um Mittelungspegel, welche neben den Messwerten auch Standardpegel für nicht detektierte Flugereignisse enthalten? Im ersten Fall müssten je nach Erfassungsrate die Berechnungen tendenziell über den Messungen liegen. Im zweiten Fall müssten Messungen und Berechnungen gut übereinstimmen, was sie von folgenden zwei Ausnahmen abgesehen auch tun: An den Anflug-Messstellen sind tags alle DES-Varianten lauter als die Messungen (und auch lauter als die Einzelflugvarianten), nachts dagegen leiser als die Messungen. Dieser Befund ist erstaunlich und müsste unbedingt näher untersucht werden.

Die im statistischen Sinn nicht signifikanten Abweichungen zu den Messungen an den Monitoringstationen und der Befund, dass keine systematischen Abweichungen im gesetzlichen relevanten Bereich zu dem Standardverfahren mit DES zu erwarten sind, kann als erster Hinweis darauf dienen, dass das Verfahren der direkten Verwendung von Einzelflugaufzeichnungen aus Radardaten methodisch korrekt implementiert wurde.

### **Ermittlung der Schienenverkehrsgeräusche außen**

Das Verfahren zur Berechnung der Mittelungspegel der Schienenverkehrsgeräusche nach VBUSch auf der Basis der dazu erforderlichen Daten ist ein Standardverfahren. Die Herausforderung lag hierbei aufgrund der Größe der Untersuchungsgebiete in der Datenmenge und dem mit deren Aufarbeitung verbundenen Zeitaufwand. Für eine Einordnung des Bearbeitungsumfanges wäre es jedoch wünschenswert gewesen, Angaben über die je Untersuchungsstandort betrachteten Kilometer Schienenstrecke zu finden, gern auch verbunden mit einer grafischen Darstellung. Die Berechnung der Schienenverkehrsgeräusche basiert bei gegebenen Zugmengerüsten auf den Vorgaben der VBUSch. Die hierin aufgeführten Zuschläge für Kurvenradien und Bahnübergänge werden nicht gesetzt, was bei ersterem dem Stand der Technik entspricht und bei Bahnübergängen gerechtfertigt ist, da nur lokale Auswirkungen resultieren. Es wird davon ausgegangen, dass örtlich zulässige Streckengeschwindigkeiten anstelle der pauschalen Höchstgeschwindigkeiten der Züge umgesetzt wurden. Für den Istzustand 2010 kann davon ausgegangen werden, dass im Untersuchungsraum Frankfurt das komplette Schienennetz berücksichtigt wurde. Neben dem Mittelungspegel wurde hier erstmals auch ein Maximalpegel berechnet (siehe unten).

### **Ermittlung der Straßenverkehrsgeräusche außen**

Das Verfahren zur Berechnung der Mittelungspegel der Straßenverkehrsgeräusche nach VBUS auf der Basis der dazu erforderlichen Daten ist ein Standardverfahren. Die Herausforderung lag hierbei aufgrund der Größe der Untersuchungsgebiete in der Datenmenge und dem mit deren Aufarbeitung verbundenen Zeitaufwand. Die Berechnung der Straßenverkehrsgeräusche basiert auf den Vorgaben der VBUS. Bei fehlenden Daten wurden Pauschalisierungen getroffen; diese sind plausibel. Bei den Pauschalisierungen für die Geschwindigkeiten in RLP wird davon ausgegangen, dass dafür eine Unterscheidung in Ortsdurchfahrt und freie Strecke getroffen wurde, was leider im Bericht nicht aufgeführt wird. Inwiefern das betrachtete Straßennetz „vollständig“ ist, ist schwer zu beurteilen. Für Hessen wurde auf das detaillierte VISUM-Modell zurückgegriffen. Ein Abbruchkriterium (minimale DTV) wird dazu, wie auch für die Daten der Straßenverkehrszählung RLP sowie die Vergleichsstandorte, nicht angegeben. Während das Verfahren der Historisierung für Hessen beschrieben wird, fehlen solche Aussagen für das Straßennetz in RLP. Warum eine Historisierung (Skalierung der Pegelwerte) trotz der von vornherein zu erwartenden geringen Pegelunterschiede durchgeführt wurde, ist nicht völlig verständlich. Neben dem Mittelungspegel wurde hier erstmals auch ein Maximalpegel berechnet (siehe unten.).

## **Ermittlung der Innenpegel**

Die Berechnungsmethodik für die Innenpegel aus den Außenpegeln wurde bereits oben (Abschnitt 1.3) beschrieben. Die erforderlichen Angaben zu den Schalldämmmaßen fußen auf der DIN 4109 und der VDI 2719. Da mit den Fragebögen zum Blutdruckmonitoring keine Aussagen zur Ausrichtung des Raumes zur Schallquelle erhoben wurden, ist davon auszugehen, dass der Innenpegel hier auf der Basis des Außenpegels der lautesten Fassade bestimmt wurde. Für die Bestimmung der Innenpegel im Rahmen der Sekundärdatenbasierten Fallkontrollstudie mit vertiefter Befragung (Modul 2.1) wurden bei fehlenden Angaben in den Fragebögen zum Fensteröffnungsverhalten und zur Ausrichtung der Fassade zur Schiene bzw. Straße Annahmen getroffen (Ausrichtung nach VDI 2571), die in einigen Fällen zu einer deutlichen Überschätzung der Innenpegel führen können. Die getroffenen Annahmen bei fehlenden Angaben zur Fensteröffnung würden einer – zugegebenermaßen schwer realisierbaren – Überprüfung bedürfen. Insgesamt ist das beschriebene Vorgehen zur Bestimmung der Innenpegel etwas widersprüchlich. Denn bei der Berechnung der Außenpegel für die maßgebliche Fassade wird in Kapitel 2.3.3.2 ausgeführt, dass jede Fassade berechnet wurde. In der Fallkontrollstudie werden jedoch pauschale Außenpegelkorrekturen aufgrund der Lage eines Raumes zur Straße resp. zur Schiene angewendet (Tab. 8-6 und Tab. 8-7). Ergänzende Erläuterungen oder Rechenbeispiele hätten diesbezüglich mehr Klarheit geschaffen.

## **Ermittlung der Maximalpegel außen**

Die AzB als Standardverfahren zur Berechnung von Luftverkehrsgeräuschen enthält Vorschriften zur Berechnung von Pegelhäufigkeiten, so dass für die Flughäfen an den Vergleichsstandorten Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen angegeben werden konnten. Dank der Methode der Einzelflugsimulation konnten an den Probandenstandorten um den Flughafen Frankfurt direkt Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen berechnet werden.

Dies ist für Straßen- und Schienenverkehr nicht möglich, da die verwendeten akustischen Modelle keine direkte Berechnung von Maximalpegeln zulassen. Es mussten Näherungsverfahren hergeleitet und angewendet werden. Sie werden in den Kapiteln 2.1.2.2 und 2.1.3.2 des Akustikberichts beschrieben. Die Beschreibungen sind in den Grundzügen nachvollziehbar und plausibel. Methodisch bedingt kann mit den angegebenen Formeln jedoch nur ein „mittlerer“ oder „maximaler“ Maximalpegel bestimmt werden, denn das akustische Modell liefert pro Probandenadresse nur einen einzigen Wert und nicht wie beim Luftverkehr entsprechend der Anzahl Vorbeiflüge eine Vielzahl von Maximalpegeln.

Damit quasi „mit gleichen Ellen“ gemessen wird, das heißt, dass für Luftverkehrsgeräusche wie bei den Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen nur ein einziger Maximalpegel pro Probandenadresse ausgewiesen werden konnte, wurde beim Luftverkehr ein spezielles Vorgehen angewendet (vgl. Kapitel 2.1.1.2). Dieses wird von den Autoren des Akustikberichts als „in An-

Lehnung an das sog. Number-Above-Threshold- Kriterium“ bezeichnet und liefert aus den Maximalpegel-Häufigkeitsverteilungen (gemäß Autoren) einen „mittleren“ Maximalpegel.

Das NAT-Kriterium zählt eigentlich die Anzahl auftretender Maximalpegel über einem vorgegebenen Schwellenwert in Dezibel. Im vorliegenden Fall orientiert sich die Ermittlung des Maximalpegels bei den Luftverkehrsgeräuschen jedoch nicht an einem Schwellenwert, sondern an einer Anzahl Maximalpegel, die an einem Probandenstandort auftreten. Genau genommen werden die sechs Ereignisse mit den lautesten Maximalpegeln bestimmt. Der tiefste Maximalpegel dieser Ereignisse wird als „mittlerer“ Maximalpegel bezeichnet. Das Vorgehen ist eine reine Setzung und hat im Grunde genommen nichts mit einem NAT-Kriterium oder einem mittleren Maximalpegel im statistischen Sinne zu tun, sondern erinnert eher an ein Percentil-Kriterium.

Es stehen somit jeweils pro Probandenstandort ein Maximalpegel für Luft-, Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche zur Verfügung – sofern der entsprechende Standort durch die entsprechenden Verkehrsträger belastet wird. Streng genommen handelt es sich dabei eigentlich um einen „maximalen“ Maximalpegel. Denn beim Straßenverkehr wird der ausgewiesene Wert auf der Grundlage einer Lkw-Vorbeifahrt und beim Schienenverkehr mittels des jeweils höchsten Emissionspegels nach VBUSch der auf der entsprechenden Strecke verkehrenden Zuggattung berechnet. Beim Luftverkehr ist dagegen nicht ganz klar, was für ein Wert eigentlich als Maximalpegel ausgewiesen wird. Es dürfte sich um einen „annähernd maximalen“ Maximalpegel handeln.

Eine saubere Definition wäre im Zusammenhang mit den Maximalpegeln wünschenswert. Zudem muss die Frage erlaubt sein, ob es sinnvoll ist, dass beim Straßenverkehr in jedem Fall ein Maximalpegel ausgewiesen wird. Denn mit zunehmender DTV können Einzelgeräusche nicht mehr unterschieden werden und allfällige Maximalpegel verschwinden im Geräuschkontext der Straße. Dieser Sachverhalt wird leider im Akustikbericht nicht thematisiert.

### **Zuordnung der Adresskoordinaten zu Einwohnerdaten**

Im Akustikbericht wird das Vorgehen der Zuordnung der Adresskoordinaten zu den Einwohnerdaten für Hessen beschrieben, nicht aber für Rheinland-Pfalz, obwohl angemerkt wird, dass sich die Ausgangsdaten in beiden Ländern unterscheiden. Das beschriebene Verfahren des Verschneidens scheint zu einer relativ hohen „Verlustquote“ (vgl. Abbildung 2-8) zu führen. Leider fehlt eine Angabe zum Prozentsatz nicht zuordenbarer Adressen. Zudem wird ein ggf. erfolgtes Verfahren der Nachbearbeitung nicht beschrieben. Es wäre auch wünschenswert gewesen, die Bereiche zu benennen, in denen Gebäudehöhen pauschalisiert wurden, wenn keine Gebäudehöhen („Klötzchenmodell“) bzw. kein digitales Oberflächenmodell (DOM) vorlagen. Die angegebenen Pauschalisierungen für die Höhen sind dagegen plausibel.

## **Datenmanagement**

Der Akustikbericht geht sehr detailliert auf die Datengrundlagen ein. Für den Leser ist es jedoch schwierig, ja fast unmöglich, die Unterschiede zwischen den einzelnen Standorten zu erfassen. Es wäre deshalb wünschenswert gewesen, wenn zumindest im Anhang die verfügbaren und verwendeten Datengrundlagen in tabellarischer Form zusammengestellt worden wären. Eine solche Tabelle könnte dabei nach Bundesland bzw. Standort aufgeschlüsselt folgende Angaben enthalten: Art der Daten (DGM, Gebäude, Adressen, Straße, Schiene, Lärmschutzwände), Datenlieferant, Datum der Datenlieferung, Stand resp. Aktualität der entsprechenden Daten, gelieferte Datenformate (bspw. txt, shape, etc.) und Dateninhalte (Attribute). In Ergänzung dazu wäre angesichts der enormen Datenmenge, welche erzeugt, verwaltet und transferiert werden musste, eine Beschreibung der technischen Mittel und der verwendeten Formate zur Verwaltung und Übermittlung der Daten sehr nützlich gewesen. Zudem bleibt ungeklärt, wie sichergestellt wurde, dass auch alle involvierten Personen dasselbe unter den übermittelten Daten verstanden und die richtigen Kenngrößen weiterverarbeiteten.

## **Ermittlung der Berechnungsunsicherheiten**

Sowohl gemessene als auch berechnete Resultate weisen Unsicherheiten und Fehler auf. Ein Resultat ohne Angabe einer Unsicherheit ist daher nur mit Einschränkungen brauchbar. Leider ist es in der Akustik (noch) nicht üblich Unsicherheiten anzugeben, obwohl diese Angaben für nachfolgende Nutzer wichtige Informationen über die Güte und Qualität der verwendeten Daten liefern würden. Die Auseinandersetzung mit den Berechnungsunsicherheiten ist damit ein Muss für eine Studie wie NORAH, die hohe Qualitätsansprüche an ihre Resultate stellt.

Die Unsicherheitsberechnung ist auch eine logische Folge der Plausibilitätsprüfung von Kapitel 5 des Akustikberichts. Da in dieser nicht alle Fehler entdeckt werden können, ist es methodisch richtig, neben den rein zufälligen und modellbedingten Unsicherheiten auch die potenziellen resp. unentdeckten Fehler als Unsicherheiten zu behandeln. Als ein Beispiel hierfür kann die Unsicherheit aufgrund der unterschiedlichen Bebauungssituation in den Jahren 1996 bis 2014 angeführt werden.

Im Kapitel 6 sowie in den Anhängen 4, 5 und 6 des Akustikberichts wird erläutert, wie die Unsicherheit der berechneten Immissionspegel getrennt für Luft-, Straßen- und Schienenverkehr ermittelt wird. Dabei wird nachvollziehbar und konsistent nach den in der Literatur verfügbaren Konzepten vorgegangen. Es wird zwischen der Unsicherheit der Beschreibung der Quelle (Emission), der Unsicherheit der Effekte auf dem Ausbreitungsweg (Transmission) und der Unsicherheit allfälliger Effekte beim Empfangspunkt (Immission) unterschieden. Insgesamt werden zwölf verschiedene Einflussgrößen diskutiert. Zwei wichtige Größen fehlen jedoch: Die Unsicherheit in der Beschreibung der akustischen Straßenbelageigenschaften und die Unsicherheit aufgrund der unterschiedlichen Gleiszustände.

Die ermittelten Unsicherheiten werden als Standardunsicherheiten bezeichnet. Dieser Begriff wird nicht näher erläutert, ist aber in der einschlägigen Literatur geläufig. In Abweichung zum „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)“ wird jedoch nicht zwischen Standardunsicherheiten des Typs A und solchen des Typs B unterschieden. Die beiden Typen definieren die Methode, nach welcher die Standardunsicherheiten ermittelt werden: Beim Typ A führen statistische Analysen von Messreihen, beim Typ B analytische Überlegungen zur Abschätzung der Standardunsicherheiten.

Mit Ausnahme der Standardunsicherheiten der Emissionswerte, welche teilweise mit Hilfe von Messungen abgeschätzt wurden, wurde bei der Ermittlung der restlichen Unsicherheitskomponenten vornehmlich nach der Methode B vorgegangen. Dabei wurde jeweils ein unterer und oberer Wert berechnet, den ein Pegel annehmen kann, wenn die betrachtete Einflussgröße entsprechend ihres Toleranzbereichs variiert wird. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten wird als Wertebereich interpretiert, in welchem die erhaltenen Pegelwerte gleich wahrscheinlich resp. rechteckverteilt sind. Korrekterweise hätte die Annahme der Rechteckverteilung beim Output geprüft werden müssen. Denn man kann nicht a priori davon ausgehen, dass, wenn der Toleranzbereich der Eingabegröße einer Rechteckverteilung folgt, die Ausgabegröße dies auch tut.

Das gewählte Vorgehen mag zwar zweckmäßig sein, unterschlägt aber die Tatsache, dass die verwendeten Algorithmen vereinfachte Modelle der realen Welt sind. Zudem werden dadurch systematische Effekte nicht erfasst. Beispielsweise die sogenannte Historisierung der Straßenverkehrsgeräusche mittels Skalierungswerten oder die Ermittlung der Innenpegel enthalten mit größter Wahrscheinlichkeit lokal hohe systematische Fehler. Aus diesem Grund dürften auch die angegebenen Standardunsicherheiten der Innenpegel eher bei 10 als bei 5 dB liegen.

Trotz all dieser diskutablen Punkte gilt es festzuhalten, dass die Unsicherheitsabschätzung sorgfältig und nachvollziehbar und methodisch korrekt durchgeführt wurde. Die erhaltenen Resultate entsprechen den Erfahrungen und sind konsistent. Die angegebenen Standardunsicherheiten dürften jedoch im Falle der Luftverkehrsgeräusche etwas zu hoch ausgefallen sein, denn sie beziehen sich auf Einzelereignisse. Bei der Berechnung von Mittelungspegeln heben sich aber gewisse Effekte gegenseitig auf, was die Gesamtunsicherheit reduziert. Dies gilt nicht für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche, denn dort fehlen Unsicherheitskomponenten (Straßenbelag, Gleiszustand), welche die Gesamtunsicherheit tendenziell erhöhen.

Die Überschätzung der Unsicherheiten bei den Luftverkehrsgeräuschen hat den positiven Effekt, dass im Rahmen der Wirkungsanalyse (Einfluss der Unsicherheit der akustischen Pegelwerte auf die Ergebnisse der Expositions-Wirkungs-Geraden der Module 1 bis 3) im Prinzip der schlechteste Fall angeschaut wird. Zeigen die Unsicherheiten keine oder nur eine geringe Wirkung – wie im Akustikbericht anhand zweier Beispiele aus Modul 3 gezeigt werden konnte – so liegt man mit diesem Befund quasi auf der sicheren Seite.



### 3.3 Umgang mit Problemen

---

Es mussten einige Probleme bewältigt resp. gelöst werden. In diesem Zusammenhang zu erwähnen sind die zu kurzen Flugbahnen in den Datenerfassungssystemen des Flughafens Frankfurt, die fehlenden Datenerfassungssysteme zur Berechnung der akustischen Kenngrößen beim Flughafen Frankfurt für die Jahre 1996 bis 2010, die fehlenden Verfahren zur Berechnung der Maximalpegel für Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche, fehlende oder bezüglich Qualität ungenügende Daten zur Erstellung des akustischen Modells, die Abschätzung der Berechnungsunsicherheiten und das Datenmanagement. Die Bereitschaft, diese Probleme sachgerecht und in der vorgegebenen Frist anzugehen und auch zu plausibilisieren, war sehr groß, was das Beispiel der Implementierung und Plausibilisierung des neuen Verfahrens der direkten Verwendung von Radardaten bei der Berechnung von Luftverkehrsgeräuschen zeigt.

Dank der durchgeführten Vergleiche und der erhaltenen Ergebnisse konnte transparent und plausibel aufgezeigt werden, dass die Berechnungen der Luftverkehrsgeräusche im Raum Frankfurt nach der Methode der Einzelflugsimulation unter Verwendung der STANLY- resp. FANOMOS-Flugbahnen machbar ist und die einzige, in der vorgegebenen Frist realisierbare Möglichkeit darstellt, die Luftfahrzeuggeräusche im gesamten Untersuchungsraum sachgerecht abzubilden. Zudem konnte aufgezeigt werden, dass keine systematischen Abweichungen zu den gesetzlich vorgeschriebenen DES-Berechnungen (und zu den Messungen) zu erwarten sind – mit Ausnahme des oben geschilderten Sachverhalts bei den Anflugmessstellen. Aufgrund dieser Befunde wurde nach Rücksprache mit dem WBQ denn auch entschieden, die Methode der Einzelflugsimulation nach der Variante 8 (x, y, z und v aus Radarzeichnung) für die Berechnung der Luftverkehrsgeräusche im Umfeld des Flughafens Frankfurt zu verwenden.

### 3.4 Prüfung und Bewertung der Vollständigkeit und Qualität

---

Die akustischen Berechnungen liefern die Basis zur Entwicklung der Expositions-Wirkungs-Beziehungen in den Modulen 1 bis 3. Demzufolge wurden die Anforderungen an die Akustik (Art und Umfang der erforderlichen akustischen Parameter) aus den einzelnen Modulen heraus formuliert. Diesen verschiedenen Anforderungsprofilen sind die Akustiker im vollen Umfang nachgekommen.

Die Qualität der akustischen Daten für Straße und Schiene wurde durch den WBQ an einem Testdatensatz geprüft. Auf dabei aufgefallene Unstimmigkeiten wurde hingewiesen. Diese wurden korrigiert oder im Rahmen der Unsicherheitsbetrachtung in ihren Auswirkungen untersucht.

Auf die Schwächen bezüglich Lesbarkeit des Berichts wurde bereits oben (Abschnitt 3.1) hingewiesen. Insgesamt wird jedoch eingeschätzt, dass der Bericht Datengrundlage, Methodik und Ergebnisse der akustischen Berechnungen gut beschreibt und dabei auf die Spezifika der ver-

schiedenen Module und der verschiedenen Standorte in nachvollziehbarer und genügender Form eingeht.

### 3.5 Einbettung ins bestehende Schrifttum, Vergleich mit laufenden Studien

---

Im Vergleich zu den anderen Berichtsteilen der NORAH-Studie ist der Akustikbericht im strengen Sinne kein Forschungsbericht, in welchem beispielsweise eine bestimmte Hypothese geprüft wird. Im Wesentlichen werden bestehende Verfahren beschrieben, welche zur Ermittlung der erforderlichen akustischen Parameter benutzt wurden. Neuland wird mit der Ermittlung der Luftverkehrsgeräusche unter direkter Verwendung von Radardaten und der Bestimmung von Maximalpegeln betreten. Das Literaturverzeichnis enthält folgerichtig die für die Berechnungen und getroffenen Annahmen sowie Abschätzungen relevanten Quellen.

Ein Blick über die Grenzen und auf andere, vergleichbare Studien zeigt, dass es leider nicht üblich ist, die Ermittlung der akustischen Kenngrößen in der vorliegenden, detaillierten Form zu dokumentieren. Dies wäre jedoch nötig, um „für die Nachwelt“ festzuhalten, wie die Expositionen zum Zweck von Wirkungsanalysen ermittelt wurden und welche Methoden, Annahmen und Vereinfachungen diesen zugrunde liegen. Eine Ausnahme diesbezüglich bildet das vom Schweizerischen Nationalfonds geförderte Forschungsprojekt SiRENE (Short and Long Term Effects of Transportation Noise Exposure), welches 2013 gestartet wurde und 2017 abgeschlossen werden soll.

Das Hauptziel von SiRENE ist wie bei NORAH die Untersuchung von akuten, kurz- und langfristigen Auswirkungen von Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen auf die Belästigung, den Schlaf und die kardiometabolische Gesundheit. Die SiRENE-Akustiker müssen ebenfalls Maximalpegel, Mittelungspegel für verschieden Tageszeiten, für Wochentage und Wochenenden sowie für verschiedene Jahre berechnen. Der Untersuchungsperimeter der SiRENE-Studie umfasst dabei die gesamte Schweiz. Darin eingeschlossen sind drei zivile Flughäfen und ein Militärflugplatz. Zur Berechnung der Verkehrsgeräusche werden die in der Schweiz üblichen akustischen Modelle verwendet: FLULA2, SonROAD und SonRAIL. Die Modelle sind vergleichbar mit den in NORAH angewendeten Verfahren.

Die SiRENE-Forscher kämpfen mit denselben Problemen wie die Akustiker in NORAH. Die gefundenen Lösungen sind vergleichbar – mit einer Ausnahme: Bei der Historisierung der Straßenverkehrsgeräusche wird auf eine globale Skalierung auf der Basis der "mittleren Netz-DTV" verzichtet. Dafür wird für zwei unterschiedliche Jahre (2011 und 2001) auf der Grundlage eines Verkehrsmodells die Belastung im gesamten Untersuchungsraum neu gerechnet.

## 4 Empfehlung des WBQ

---

Je nach physikalischen Eigenschaften aber auch individueller Dispositionen und Einstellungen werden Schallwellen als angenehm, unangenehm oder gar lästig empfunden. Ist der wahrgenommene Schall unerwünscht, spricht man von Lärm. Lärm stört oder kann auch krank machen. Es ist Aufgabe der NORAH-Module 1 bis 3 herauszufinden, wie hoch diese Störung oder eine allfällige Schädigung in Abhängigkeit von der Höhe der Exposition ist.

Mit Exposition ist die physikalische Schalleinwirkung gemeint. In NORAH geht es nicht um kurzzeitige (Sekunden, Minuten, Stunden, einzelne Tage oder Wochen), sondern langzeitige Schalleinwirkungen des Luft-, Schienen- und Straßenverkehrs (ein Monat oder mehrere Monate eines Jahres, oder ein Kalenderjahr; vgl. Angebot S.38). Die Schalleinwirkungen werden entsprechend der Verkehrsarten als Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche bezeichnet und in Form von Langzeitmittelungspegeln ausgewiesen. Die Ermittlung dieser Pegelwerte ist Aufgabe der Akustiker.

Ohne diese Werte können keine Wirkungsanalysen durchgeführt werden. Die Wirkungsforscher der Module 1 bis 3 sind somit auf die Ergebnisse der akustischen Berechnungen oder Messungen angewiesen. Unter diesem Aspekt könnte man die Akustik als eigentliches Kernmodul von NORAH bezeichnen. Dieser Umstand verpflichtet in besonderer Weise. So mussten die Akustiker getrennt nach Verkehrsgeräuschen fristgerecht dutzende bis hunderte unterschiedliche Schallpegelmasse für hunderttausende von Probandenadressen und verschiedene Erhebungszeiten liefern. Gleichzeitig galt es, die durchgeführten Berechnungen so detailgetreu wie nur möglich zu dokumentieren und in Berichtform festzuhalten, damit zumindest ein Fachmann nachvollziehen kann, wie die akustischen Pegelwerte entstanden sind resp. ermittelt wurden.

Dies kommt einer Herkulesarbeit gleich, wenn man die räumliche und zeitliche Ausdehnung sowie die inhaltlichen Anforderungen der durchgeführten Berechnungen betrachtet. Auch wenn die Akustiker auf Softwarepakete und bewährte Akustikmodelle für Luft-, Schienen- und Straßenverkehrsgeräusche zurückgreifen konnten, ist das Berechnen von punktgenauen Immissionspegeln vielmehr als nur das Starten eines Computerprogramms. Bevor überhaupt gerechnet werden kann, gilt es Betriebsdaten auszuwerten und ein akustisches Modell zu entwerfen sowie aufzusetzen. Dieses besteht aus geographischen Daten, Gebäude-, Verkehrsnetz- sowie Verkehrsmengendaten. Je größer die räumliche Ausdehnung, umso aufwändiger wird das Modell. Da die Fluglärmrechnungen ursprünglich nicht durch die Akustiker des Konsortiums durchgeführt, sondern vom Umwelt- und Nachbarschaftshaus (UNH) geliefert werden sollten, war der Luftverkehr anfänglich nicht Bestandteil dieses Modells. Es war jedoch geplant, die Ergebnisse der Fluglärmrechnungen in das Modell zu integrieren.

Leider konnte letztlich das UNH wegen der zu kurzen Flugbahnen und der fehlenden Datenerfassungssysteme für die Jahre 1996 bis 2010 die erforderlichen Berechnungen nicht zur Verfügung stellen. NORAH wurde beinahe ihrer wichtigsten Exposition „beraubt“. Die Akustiker

machten jedoch aus der Not eine Tugend und entwickelten in kürzester Zeit ein Verfahren, mit welchem unter direkter Verwendung von Radarflugbahnen die Luftverkehrsgeräusche an den Probandenadressen berechnet werden konnten (nachfolgend als Einzelflugsimulation bezeichnet).

Das Verfahren ist zwar nicht neu und wird seit über fünfzehn Jahren in der Schweiz angewendet. Es stellt jedoch für Deutschland ein Novum dar und ist eine Abkehr von der standardisierten Beschreibung des Flugbetriebs mittels Datenerfassungssystemen (AzD mit DES). Die Verifizierung mittels Messungen an Monitoringstationen zeigte, dass die beiden Verfahren (Einzelflugsimulation, AzD) im gesetzlich relevanten Pegelbereich als gleichwertig angesehen werden können. Das Einzelflugsimulationsverfahren hat aber den Vorteil, dass man durch entsprechende Auswahl der Radarflugbahnen rasch und unkompliziert verschiedene Zeitfenster berechnen kann.

Die Entwicklung des Einzelflugsimulationsverfahrens und die Implementierung in das Schallberechnungsprogramm SoundPLAN waren sehr aufwändig, so dass kaum Zeit blieb, das Verfahren im Detail zu dokumentieren. Trotzdem wäre es wünschenswert, wenn das neue Verfahren im Akustikbericht etwas ausführlicher beschrieben würde oder zumindest auf eine technische Dokumentation verwiesen werden könnte. Zudem wird der Flugbetrieb, welcher den einzelnen Belastungsrechnungen zugrunde liegt, ungenügend dokumentiert. Beispielsweise fehlen Bewegungsstatistiken oder Darstellungen der Flugspuren und Flugprofile. Eine derartige Dokumentation würde jedoch angesichts der unzähligen Varianten, die berechnet wurden, hunderte Seiten füllen und den Rahmen des Akustikberichts sprengen. Aus Sicht des WBQ kann deshalb darauf verzichtet werden. Im Sinne der Spurensicherung empfiehlt der WBQ jedoch, dass die verwendeten Flugbetriebsdatenbanken sowie Auswahl- und Aufbereitungswerkzeuge dem Auftraggeber zusammen mit einer technischen Dokumentation innert einer Frist von einem halben Jahr übergeben werden.

Zusammenfassend kann aus akustischer Sicht festgestellt werden, dass die angewandten und entwickelten Methoden nicht nur dem Stand der Technik entsprechen, sondern sogar über diesen hinausgehen. Die Berechnungen wurden mit großer Sorgfalt ausgeführt, so dass für die Wirkungsanalysen gesicherte Expositionsdaten verschiedener Verkehrsgeräuscharten zur Verfügung stehen.

Der WBQ bescheinigt der Akustik-Arbeitsgruppe, dass sie den Zielen und den Anforderungen des Gesamtprojektes gerecht wurde und empfiehlt einstimmig die Freigabe von Band 2 „Dokumentation zur Berechnung der akustischen Daten in NORAH“.