

Lärm gehört zu den größten Umwelt- und Gesundheitsproblemen unserer Zeit. Um gegen die Belästigung und Gesundheitsgefahr, die von Lärm ausgehen, anzukämpfen, sind seit dem Jahr 2002 alle fünf Jahre Lärmkarten von den EU-Staaten zu erstellen. Da es auf EU Ebene, sowie national, nur unzureichende Vorgaben zur kartografischen Gestaltung von Lärmkarten gibt, setzt sich diese Arbeit mit der Analyse und Verbesserung von Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung entsprechend der Umgebungs-lärmrichtlinie auseinander.

In einer qualitativen kartografischen Analyse wurde ein Überblick über kartografische Mängel von Lärmkarten gewonnen, welche in einer Bestandsanalyse der Lärmkarten der 27 deutschen Ballungsräume quantifiziert wurden. Eine Analyse der Handlungen, die Kartennutzer zur Erreichung des Nutzungsziels ausführen, schaffte, gemeinsam mit einer Anforderungsanalyse, die Grundlage für die Verbesserung ausgewählter kartografischer Elemente.

Da der Hauptbestandteil der Karten die Schallimmissionen sind, wurde in einem nutzerorientierten, iterativen Prozess ein Farbschema zur Darstellung des Schalldruckpegels entwickelt, dessen Eignung in vier Nutzerstudien nachgewiesen werden konnte. Die Eignung der Ergebnisse wurde in Hinblick auf die Verwendbarkeit in anderen EU-Staaten, sowie die Übertragbarkeit auf andere Lärmquellen und durch Crowdsourcing gewonnene Daten überprüft.

Doktorarbeit von Beate Weninger  
HafenCity Universität Hamburg (HCU), 2015  
Erstbetreuer: Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe  
Zweitbetreuerin: Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant



Beate Weninger

## Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung

Analyse und Verbesserung ausgewählter  
Aspekte der kartografischen Gestaltung



# **Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung - Analyse und Verbesserung ausgewählter Aspekte der kartografischen Gestaltung**

**Vorgelegt im Promotionsausschuss der  
HafenCity Universität Hamburg  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)  
Dissertation**

von

Mag. rer. nat. Beate Weninger

aus Graz

2015

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Schiewe
2. Gutachter: Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant

Tag der mündlichen Prüfung: 19.12.2014

**Impressum:**

Copyright: © 2015 Beate Weninger

Verlag: Hamburg, Univ., Diss., 2015  
Online veröffentlicht auf OPuS, dem Volltextserver der  
HafenCity Universität Hamburg

ISBN 978-3-941722-27-9

# Vorwort

**Wer immer tut, was er schon kann, bleibt immer das, was er schon ist.**  
(Henry Ford)

Der Grundstein für diese Dissertation wurde in meinem Auslandsjahr an der *University of Exeter* in Großbritannien gelegt. Für die dortigen Abschlussarbeiten grub ich mich durch diverse Bibliotheken und genoss die Abwechslung aus Recherchieren und Schreiben so sehr, dass ich beschloss, eine Dissertation zu verfassen.

Mit diesem Ziel vor Augen trat ich 2009 meine erste Stelle an der *HafenCity Universität Hamburg* an und setzte mich im Jahr 2011, in einem Forschungsprojekt für das *Umweltbundesamt*, erstmals mit dem Thema Lärmkarten auseinander. Nach genauerer Betrachtung erweckte das Thema mein Interesse, sodass ich im Jahr 2012 mit der Durchführung meines Dissertationsprojekts begann. Dieser Text stellt den Abschluss dieses Projekts dar, nicht jedoch zwingend das Ende meiner Forschung zu diesem Thema, das nicht zuletzt durch seine Aktualität und den Anwendungsbezug spannend und facettenreich bleibt.

Über die Jahre erhielt ich Unterstützung von vielen Seiten. Dank möchte ich besonders meinem Erstbetreuer Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe von der *HafenCity Universität Hamburg* aussprechen, der mich im Jahr 2011 in sein Team aufnahm und dessen ruhiges, professionelles und konstruktives Vorgehen ich mir zum Vorbild nehme. Vielmals danke ich meiner Zweitbetreuerin Prof. Dr. Sara Irina Fabrikant von der *Universität Zürich*, deren Arbeit, Kommentare und Kritik mich inspirieren.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen ehemaligen und aktuellen Kollegen im Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung der *HafenCity Universität Hamburg*: Christoph Kinkeldey, Anna-Lena Kornfeld, die das Thema „Sound“ in das Labor brachte, Tonio Fincke, Jörg Münchow und Johannes Kröger, sowie den ehemaligen Gastwissenschaftlerinnen Sarah Goodwin und Victoria Rautenbach. Danke an Dr.-Ing. Alexander Pohl für die Kommentare zu Kapitel 3 „Akustische Grundlagen von Lärm“.

Vielen Dank für die Zeit, die ich am *Chorley Institute* des *University College London* mit der *Extreme Citizen Science Research Group* verbringen durfte. Prof. Muki Haklay und seine Mitarbeiter haben mir nicht nur einen Schreibtisch zur Verfügung gestellt, sondern mich an ihren Aktivitäten teilnehmen lassen und mir somit eine großartige Zeit ermöglicht.

Praktischen Einblick in die Arbeit mit Lärmkarten erhielt ich durch die Mitarbeit im Projekt „OptiLAP - Evaluierung und Optimierung der Lärmaktionsplanung nach der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG“ und im „Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI“ zur

Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA).  
Beiden Gremium möchte ich hiermit danken.

Alle verwendeten Lärmdaten, die als Grundlage für die Grafiken dienten und auch in den Nutzerstudien verwendet wurden, entstammen dem Datensatz „Silent City“ des Umweltbundesamts, bei dem ich mich hiermit für die Unterstützung bedanke.

Der Weg bis zu einer Dissertation ist lang und kann streckenweise mühsam sein, vielen Dank an meine Freunde, Kollegen und Mitstreiter in alle Himmelrichtungen, besonders A.S., B.H., E.C., J.H., J.W., K.M., L.G., M.J., M.Sc., M.St., M.W., O.S., P.T. und S.K., für die Diskussionen bei Tee, Kaffee und anderen ermunternden Getränken sowie die Streifzüge durch Städte, Landschaften und Museen. Die Zeit mit euch war/ist für mich eine Quelle der Inspiration.

Vielen Dank meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und vorgelebt haben, wie man sich in fremden Ländern und Kulturen zurechtfindet, die mir aber trotzdem immer einen sicheren Heimathafen bieten. Vielen Dank meiner Schwester, für den Widerspruch, durch den ich wachse.

Danke P.!

# Zusammenfassung

Lärm gehört zu den größten Umwelt- und Gesundheitsproblemen unserer Zeit und folgt somit an zweiter Stelle nach der Luftverschmutzung. In der Europäischen Union (EU) sind rund 40 Prozent der Bevölkerung Lärm ausgesetzt, der die Grenze der Belästigung von 55 dB überschreitet. Die Motivation zu dieser Arbeit ist daher einerseits die hohe Dringlichkeit der Lärmbekämpfung aufgrund der großen Gesundheitsgefahr und andererseits die schlechte Qualität der Lärmkarten, die in der Praxis zur Information der breiten Öffentlichkeit verwendet werden. Diese sogenannten *strategischen* Lärmkarten müssen von den Kommunen entsprechend der EU-Umgebungslärmrichtlinie (END, RL 2002/49/EG) alle fünf Jahre erstellt werden. Sie bilden die Grundlage zur Bewertung von Umgebungslärm und für die Öffentlichkeitsbeteiligung, das heißt sie sind *das* Kommunikations- und Informationsmittel.

Hauptinhalt der Karten ist die Schallimmission, dargestellt anhand des Lärmindexes  $L_{den}$  für Straßen-, Schienen-, Flug- und Industrielärm, der jeweils einzeln in einer Karte darzustellen ist.  $L_{den}$  ist der gewichtete A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel für alle Tage eines Jahres. Er setzt sich aus dem zeitlichen Mittelwert  $L_{day}$ , für 6 bis 18h, dem  $L_{evening}$ , für 18 bis 22h und dem  $L_{night}$ , für 22 bis 6h, zusammen. Die sensiblen Abend- und Nachtzeiten werden extra um 5 dB bzw. 10 dB erhöht, wodurch er gewichtet wird.  $L_{den}$  wird anhand von farbigen Isophonen, das sind Linien gleicher Lärmbelastung, in 5-dB-Klassen dargestellt. Die zu verwendenden Farben sind in der 34. BImSchV, der Verordnung über die Lärmkartierung, festgeschrieben und in der DIN 18005-2:1991 definiert. Das vorgegebene Schema entspricht jedoch nicht dem aktuellen Forschungsstand der kartografischen Gestaltung. Bestehend aus einer Abfolge von Hellgrün, Mittelgrün, Dunkelgrün, Gelb, Ocker, Orange, Rot, Dunkelrot, Lila, Hellblau und Dunkelblau, ist es qualitativ und die Farben aufgrund des Fehlens einer systematischen Helligkeits- und Sättigungsverteilung nicht den ansteigenden Werten der dB-Skala zuzuordnen. Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, die Lärmkarten, wie sie entsprechend der END zur Öffentlichkeitsbeteiligung verwendet werden, zu analysieren und für den wichtigsten Karteninhalt, die Schallimmissionen, ein neues Farbschema zu entwickeln.

Neben einer qualitativen kartografischen Analyse, einer Bestandsanalyse der Lärmkarten der 27 deutschen Ballungsräume, die zur Lärmkartierung verpflichtet sind, und einer Task-Analyse, wurden in einer Anforderungsanalyse die Voraussetzungen für die Entwicklung des neuen Farbschemas bestimmt. Entsprechend der Anforderungen Unterscheidbarkeit, visuelle Zuordenbarkeit sowie sinngemäße Zuordnung der Farben zur Legende und Interpretation der Lärmsituation, wurde in einem nutzerorientierten, iterativen Prozess ein neues Farbschema zur Darstellung der Schallimmissionen entwickelt.

Die Erstellung eines Farbschemas mag in Anbetracht kartografischer Gestaltungsregeln und Bibliotheken wie *ColorBrewer* trivial erscheinen, bedingt durch die Farbwahrnehmung und bei genauerer Betrachtung des Anwendungsfalles, der Darstellung der Schallimmissionen, werden Herausforderungen durch spezielle Charakteristika klar. Die Schallimmissionen werden zwar in 5-dB-Klassen dargestellt, aber der zugrundeliegende Schalldruckpegel ist ein logarithmisches Maß, dadurch tragen höhere Werte stärker zu einem Mittelwert bei und die dargestellte Wertespanne ist sehr groß. Um eine sinngemäße Interpretation zu ermöglichen, müssen diese daher auch in der Darstellung stärker betont werden, was durch einen starken Anstieg der Sättigung der Farben für hohe Werte erreicht wurde.

Da Lärmkarten die Lärmbelastung darstellen, ist es für eine verbesserte Interpretation sinnvoll, Farben zu wählen, die mit der Belastung assoziativ sind. Aus diesem Grund wurde von der kartografischen Konvention abgewichen und ein Schema mit zwei Farbtonübergängen gewählt. Insgesamt besteht das entwickelte Farbschema aus zehn Farben, die drei Wirkungsklassen bilden. Jeder Wirkungsklasse ist ein Farbton zugeordnet - Blaugrün, Orange und Lila - der assoziativ mit dem Grad der Belästigung und dem Gesundheitsrisiko ist und somit die Interpretation erleichtert. Da es pro Farbton somit nur drei bis vier Helligkeitsstufen gibt, werden die Unterscheidbarkeit und die Zuordnung der Farben zur Legende erleichtert. Durch die Vermeidung von Ampelrot und -grün konnte die Eignung für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeiten stark gesteigert werden.

Um die Farbtöne in eine visuelle Hierarchie zu bringen, wurden die Helligkeit und die Sättigung systematisch variiert. Die Helligkeit ist am größten bei der vierten Farbe und nimmt in Richtung beider Enden ab, die Sättigung hingegen nimmt v. a. zum unteren Ende der Skala, d. h. in Richtung der hohen Werte, stark zu. Durch dieses „bipolare“ Schema wird eine Betonung der Regionen erreicht, die von größtem Interesse sind: die positiven, ruhigeren Bereiche und die Bereiche hoher Belastung.

Das Schema wurde in vier Nutzerstudien evaluiert, die Ergebnisse flossen jeweils in die Weiterentwicklung ein. Die Ergebnisse der ersten Studie zeigten, dass es signifikante Einflüsse des Farbschemas auf die Interpretation der Lärmbelastung gibt. Weitere Studien ergaben, dass die verwendeten Farben unterscheidbar sowie assoziativ mit der Belastung sind und dass große Wertespannen besser anhand konträrer Farben, wie beispielsweise Komplementärfarben dargestellt werden, was sehr für das Farbschema mit Farbtonübergängen spricht. Es zeigt sich, dass die Farben auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unterscheidbar sind.

Der Anwendungsfall zur Entwicklung waren deutsche Straßenlärmkarten, daher wurden die Anwendbarkeit in anderen EU-Ländern und die Übertragbarkeit auf andere Lärmquellen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wohnort keinen Effekt auf die Farbassoziationen hat und somit das Farbschema auch in anderen Ländern verwendet werden kann. Zur Übertragbarkeit auf andere Lärmquellen sowie auf Daten aus Crowdsourcing müssen die Anforderungen und darauf aufbauend die Darstellung an die spezifischen Charakteristika der Werte angepasst werden, wie zum Beispiel die Wiederholungsrate, die Dauer, oder die Häufigkeit von Messungen.

Über das Farbschema hinaus ergab die Analyse u. a., dass zur Vermittlung einer wahrnehmungsgetreuen Lärminformation psychoakustische Aspekte der Wahrnehmung integriert werden müssen, denn physikalische Parameter, wie  $L_{den}$ , scheinen dafür nicht auszureichen und kein ausreichendes Bild einer tatsächlich wahrgenommenen Lärmsituation zu liefern.

# Abstract

Noise is one of the most serious environmental and health risks, a close runner-up to air pollution. Roughly 40 percent of the population in the European Union (EU) are exposed to a noise level of 55 dB, which is at the verge of annoyance. Therefore, the motivation for this research project was the acuteness for noise abatement due to high health risk, on the one hand, and the lack of quality that can be observed in noise maps used for public information on the other hand. These so-called strategic noise maps have to be drawn up every five years according to the EU Environmental Noise Directive (END, RL 2002/49/EG). They form the basis for noise assessment and public participation and, therefore, they are a major tool of communication and information.

The main map content is sound immission, presented by means of the noise index  $L_{den}$  for road traffic, train noise, airport noise, and industrial noise; each noise source has to be presented in a separate map.  $L_{den}$  is the A-weighted equivalent continuous sound level for all days of a year. It consists of the temporal mean  $L_{day}$ , for 6 am to 6 pm,  $L_{evening}$ , for 6 pm to 10 pm, and  $L_{night}$ , 10 pm to 6 am. An extra 5 dB and 10 dB, respectively, are added for the sensitive evening and night hours.  $L_{den}$  is represented by means of colored isophones, which are areas of equal noise pollution, in 5 dB steps. The colors that have to be used are established in the 34. BImSchV, the German regulation about noise mapping, and defined in the German standard DIN 18005-2:1991. However, this predefined color scheme does not conform to the latest standard in cartographic research and science. Being composed of a sequence from light green, green, dark green, yellow, light brown, orange, red, dark red, purple, light blue, and dark blue it is counterintuitive because a systematic change of lightness and saturation is missing. Also, the colors cannot be matched with the increasing values of the dB-scale. The aim of this research effort, therefore, is to analyze END-conform noise maps and to develop a color scheme for the most important map content, the sound immission.

Besides a qualitative, cartographic analysis the author undertook a status analysis of the maps published by the 27 agglomerations, which are legally obliged to draw up noise maps, an analysis of the tasks users carry out in accordance with their aims, and a requirements analysis for noise maps. The resulting requirements are distinguishability of colors, that colors in the map can be visually matched to colors in the map legend and that colors should be logically assignable to the characteristics of noise data. These requirements are the foundation for the user-centered and iterative color design process to develop a new color scheme for the presentation of noise immission.

Looking at the vast number of cartographic research on color-design the development of a color scheme might seem trivial. However, due to color perception and the specific case of application challenges become clear. Noise immission is presented in 5-dB-classes, but the underlying sound pressure is logarithmic. The effect is that higher values contribute more to the energetic mean value and the span between extreme values is big. To support that colors are logically assignable to the characteristics of noise data, higher values have to be highlighted. This is achieved by an increase of saturation for higher values.

To facilitate interpretation it makes sense to choose colors that are associative with the presented noise pollution. That was the reason for choosing a color scheme with two color transitions against cartographic custom. In total the color scheme consists of ten colors and three color hues – blue-green, orange, and purple. The color hues symbolize three levels of noise exposure as well as health risk and support recognition. For each hue there are only three to four lightness steps, which supports distinguishability and the matching of colors in the map with colors in the legend. Through avoidance of red and green the scheme’s suitability for people with color vision deficiencies was achieved. A systematic change of saturation and lightness supports a visual hierarchy of the presentation. The fourth color is the lightest while lightness decreases at both ends of the scale. Saturation, in contrast, increases for higher values. By means of this “bipolar“ scheme areas of interest are highlighted, which are quiet areas as well as highly polluted areas.

The scheme is evaluated in four user studies following an iterative design. Therefore results of the studies are considered for the further development of the scheme. Results of the first study show that color schemes have an influence on the interpretation of noise maps. The other studies prove that the colors of the scheme can be distinguished, also by users with color vision deficiencies, and are associative with the level of pollution. Studies also show that contrary colors with a high color or lightness contrast are appropriate to represent a big span between extreme values. This is the argument for the proposed scheme with two hue transitions.

The case of application for the development of this new color scheme were German traffic noise maps, therefore the adaptability of results for other EU member states and for other noise sources was evaluated. Results show that there is no effect between place of residence and color association. Consequently, the color scheme can also be used in countries other than Germany. To be used for other noise sources as well as data from crowdsourcing, requirements and presentation styles have to be adapted to the specific data characteristics, such as repetition rate, duration, or the frequency of metering.

Beyond insights for the color scheme the analysis revealed that the presentation of physical parameters like  $L_{den}$  is not sufficient to represent noise information that is in line with the individual perception of affected people. Therefore, psychoacoustic aspects have to be integrated to a greater degree.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>iii</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vi</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>xv</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>xvii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>xx</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Umgebungslärm und Lärmkartierung . . . . .	1
1.2 Lärmbelastung - Effekte von Umgebungslärm auf die Gesundheit . .	4
1.3 Forschungsrahmen . . . . .	8
<b>2 Lärmkarten und Öffentlichkeitsbeteiligung</b>	<b>11</b>
2.1 Öffentlichkeitsbeteiligung: Einführung und Definition . . . . .	11
2.2 Vorgaben zur Öffentlichkeitsbeteiligung . . . . .	14
2.2.1 Der Zugang zu Umweltinformation . . . . .	14
2.2.2 Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Umgebungslärm- richtlinie . . . . .	16
2.3 Karten zur Öffentlichkeitsbeteiligung . . . . .	17
2.3.1 Spezielle Gegebenheiten . . . . .	17
2.3.2 Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung . . . . .	21
2.3.3 Rechtsvorschriften zur Lärmkartierung und Gestaltung von Lärmkarten . . . . .	26
2.3.3.1 Rechtsgrundlagen in Deutschland und der Europäi- schen Union . . . . .	26
2.3.3.2 Deutsche und internationale Standards . . . . .	29
2.4 Zwischenresümee: Informationsbereitstellung vs. Zugang zum Inhalt schaffen . . . . .	30
<b>3 Akustische Grundlagen von Lärm</b>	<b>33</b>
3.1 Definition des Begriffs Lärm . . . . .	33

## Inhaltsverzeichnis

3.2	Akustische Grundlagen . . . . .	34
3.2.1	Schall . . . . .	34
3.2.2	Vom Schalldruck zum Schalldruckpegel . . . . .	36
3.2.3	Rechenoperationen mit dem logarithmischen Schalldruckpegel . . . . .	36
3.2.3.1	Pegeladdition . . . . .	36
3.2.3.2	Pegelsubtraktion . . . . .	39
3.2.3.3	Örtlicher Mittelwert . . . . .	39
3.2.3.4	Zeitlicher Mittelwert und Beurteilungspegel . . . . .	40
3.2.4	Lautstärke und empfundene Lautheit . . . . .	41
3.3	Akustische Kennwerte und Indikatoren zur Beschreibung von Umgebungs- lärm . . . . .	45
3.4	Zwischenresümee: „Scheinpräzisierung durch dB(A) oder das Dilemma“ . . . . .	46
<b>4</b>	<b>Theoretischer Hintergrund: Farben</b> . . . . .	<b>49</b>
4.1	Einführung . . . . .	49
4.2	Grundlagen der Farbsysteme . . . . .	50
4.3	Wahrnehmungsaspekte . . . . .	56
4.3.1	Die Effekte von perzeptuellen Farbparametern . . . . .	56
4.3.1.1	Der Effekt auf und durch die Objektgröße . . . . .	56
4.3.1.2	Die emotionale Komponente . . . . .	57
4.3.1.3	Farbsymbolik . . . . .	58
4.3.2	In der Kartografie relevante Farbempfindungen . . . . .	59
4.3.2.1	Farbkontrast . . . . .	59
4.3.2.2	Simultankontrast . . . . .	61
4.3.2.3	Die Tiefenwirkung von Farben . . . . .	62
4.3.2.4	Weber-Fechner-Gesetz . . . . .	64
4.3.2.5	Machsche Streifen . . . . .	64
4.3.3	Farbenfehlsichtigkeit . . . . .	65
4.4	Relevante Arbeiten in der Kartografie . . . . .	68
4.4.1	Kartografische Prinzipien zur Erstellung von Farbschemen . . . . .	68
4.4.2	Arten von Farbschemen . . . . .	70
4.4.3	Bibliotheken und Methoden zur automatischen Erstellung von Schemen . . . . .	71
4.5	Zwischenresümee: Die Herausforderung der Entwicklung eines Farb- schemas . . . . .	73
<b>5</b>	<b>Forschungsdesign</b> . . . . .	<b>77</b>
5.1	Forschungsmethode . . . . .	77
5.2	Forschungsziele . . . . .	79
5.3	Forschungsfragen und Hypothesen . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Systematische Analyse der Lärmkarten in Deutschland</b> . . . . .	<b>85</b>
6.1	Kartografische Analyse deutscher Lärmkarten. . . . .	85
6.2	Bestandsanalyse der Lärmkarten der 27 Ballungsräume . . . . .	89
6.3	<i>Tasks</i> zur explorativen Analyse von Lärmkarten . . . . .	91
6.3.1	Beschreibung der in Lärmkarten verwendeten Daten . . . . .	92
6.3.2	Die Bestimmung von <i>Tasks</i> zur Datenanalyse . . . . .	95
6.3.3	Aufstellung der <i>Tasks</i> zur explorativen Analyse von Lärmkar- ten durch betroffene Bürger . . . . .	97

6.4	Anforderungsanalyse zur Erstellung von Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung . . . . .	101
6.4.1	Einleitung . . . . .	101
6.4.2	Vom Kartenentwurf zur kartografischen Projektplanung . . .	101
6.4.3	Verschiedene Ansätze zur Anforderungsanalyse . . . . .	103
6.4.4	Anforderungen an Lärmkarten in der Lärmaktionsplanung unter Berücksichtigung verschiedener Einsatzmöglichkeiten und Formate . . . . .	107
6.4.5	Beantwortung der Forschungsfrage 1 . . . . .	121
6.5	Zwischenresümee: Praktische Beispiele, <i>Tasks</i> und Anforderungen bilden die Problemstellung . . . . .	122
<b>7</b>	<b>Entwicklung und Evaluierung des Farbschemas</b>	<b>125</b>
7.1	Entwicklung eines neuen Farbschemas . . . . .	125
7.1.1	Methodisches Vorgehen . . . . .	127
7.1.2	Theoretische Grundlagen und praktisches Vorgehen . . . . .	127
7.1.3	Iterative Entwicklungsstufen . . . . .	131
7.1.3.1	Entwicklungsstufe I . . . . .	131
7.1.3.2	Entwicklungsstufe II . . . . .	132
7.1.3.3	Entwicklungsstufe III . . . . .	135
7.1.3.4	Entwicklungsstufe IV: Das finale Schema . . . . .	136
7.1.3.5	Die Eigenschaften des finalen Schemas . . . . .	137
7.1.3.6	Optimierung für den Druck . . . . .	142
7.1.4	Zwischenresümee: Die Erstellung eines Farbschemas ist nicht einfach nur „Farbenmischen“ . . . . .	143
7.2	Einfluss von Farbschemen auf die Interpretation der Lärmbelastung (Studie 1) . . . . .	145
7.2.1	Ziel und Forschungsfragen . . . . .	145
7.2.2	Methode und Aufbau des Experiments . . . . .	145
7.2.2.1	Faktor Farbschema . . . . .	146
7.2.2.2	Faktor Kartenausschnitt . . . . .	147
7.2.2.3	Faktor Einfärbung der niedrigsten Klasse . . . . .	149
7.2.2.4	Aufgaben . . . . .	149
7.2.3	Teilnehmer und Durchführung . . . . .	150
7.2.4	Interpretation der Ergebnisse . . . . .	151
7.2.4.1	Teilnehmer: Demografische Daten, Vorwissen und präferierte Farbschemen . . . . .	151
7.2.4.2	Methode der Auswertung . . . . .	152
7.2.4.3	Test der Innersubjekteffekte . . . . .	153
7.2.4.4	Vergleich der Einschätzung mit dem realen Mittelungspegel der Ausschnitte . . . . .	156
7.2.5	Zwischenresümee: Farbschemen haben einen Effekt auf die Interpretation . . . . .	159
7.3	Evaluation der Unterscheidbarkeit der Farben (Studie 2) . . . . .	160
7.3.1	Ziel und Forschungsfragen . . . . .	160
7.3.2	Methode und Aufbau des Experiments . . . . .	160
7.3.3	Teilnehmer und Durchführung . . . . .	162
7.3.4	Interpretation der Ergebnisse . . . . .	163
7.3.5	Zwischenresümee: Die Farben sind grundsätzlich zu unterscheiden . . . . .	165

## Inhaltsverzeichnis

7.4	Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben (Studie 3)	166
7.4.1	Ziel und Forschungsfragen	166
7.4.2	Methode und Aufbau der Studie	167
7.4.3	Teilnehmer und Durchführung	172
7.4.4	Interpretation der Ergebnisse	174
7.4.4.1	Teil 1: Zuordnung der Farbgruppen zu den Wirkungsklassen	174
7.4.4.2	Teil 2: Vergleich zweier Farbfelder	175
7.4.4.3	Teil 3 und 4: Zuordnung von Punkten einer Karte zu Wirkungsklassen	179
7.4.4.4	Teil 5: Auswahl der richtigen Reihung	181
7.4.4.5	Beantwortung der Forschungsfragen	182
7.4.5	Zwischenresümee: Konnotationen und Lage haben einen großen Einfluss auf die Interpretation	185
7.5	Evaluation der Erkennung von Hotspots (Studie 4)	187
7.5.1	Ziel und Forschungsfragen	187
7.5.2	Methode und Aufbau der Studie	188
7.5.3	Interpretation der Ergebnisse	191
7.5.4	Zwischenresümee: Nicht nur die Farben, sondern auch die räumliche Verteilung der Werte nehmen einen Einfluss auf die Interpretation	192
<b>8</b>	<b>Interpretation der Übertragbarkeit der Ergebnisse</b>	<b>197</b>
8.1	Einleitung	197
8.2	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere EU-Staaten	198
8.2.1	Anwendbarkeit der Farben	198
8.2.2	Weitere Aspekte der Übertragbarkeit	199
8.2.3	Beantwortung der Forschungsfrage 4.1	200
8.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Lärmquellen am Beispiel Fluglärm	200
8.3.1	Einleitung	200
8.3.2	Motivation, Ziel und Forschungsfragen	201
8.3.3	Methode und Aufbau	202
8.3.4	Teilnehmer und Durchführung	202
8.3.5	Ergebnisse: Wahrnehmung und Charakteristika von Fluglärm, die für die Visualisierung ausschlaggebend sind	203
8.3.5.1	Die Mängel bestehender Fluglärmkarten zur Beschreibung von Fluglärmsituationen	203
8.3.5.2	Besondere Charakteristika von Fluglärm im Vergleich zu Straßelärm	207
8.3.6	Kommentare zur Methode	209
8.3.7	Zwischenresümee	209
8.4	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Daten die durch Crowdsourcing gewonnen werden	210
8.4.1	Einleitung	210
8.4.2	Charakteristika der Daten	211
8.4.3	Zwischenresümee	214
<b>9</b>	<b>Schlussresümee</b>	<b>217</b>
9.1	Forschungsbeitrag	217
9.2	Zusammenfassende Beantwortung der Forschungsfragen	222

9.3	Diskussion und Ausblick . . . . .	224
9.4	Kritische Reflektion der Methode . . . . .	232
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>233</b>
A	Glossar . . . . .	233
B	Materialien zur Bestandsanalyse der Lärmkarten der Ballungsräume	236
	B.1 Fragenkatalog . . . . .	236
	B.2 Diagramme . . . . .	255
C	Fragebogen der Studie 1 über den Einfluss von Farbschemen auf die Interpretation der Lärmbelastung . . . . .	266
D	Fragebogen der Studie 2 über die Unterscheidbarkeit der Farben . .	299
E	Fragebogen der Studie 3 zur Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben zu den Werten . . . . .	333
F	Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hotspots	350
G	Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm . . . . .	361
	G.1 Interviewleitfaden für das Fokusgruppeninterview . . . . .	361
	G.2 Transkript des Interviews zur Übertragbarkeit der Ergebnisse	362
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>385</b>



# Tabellenverzeichnis

1.1	Die Zahl der Lärmbetroffenen in Europa . . . . .	2
1.2	Vergleich des Belästigungsgrades verschiedener Lärmquellen . . . . .	5
1.3	Die Effekte von Lärm auf die Gesundheit . . . . .	7
2.1	Überblick über die darzustellenden dB-Klassen laut Vorgaben . . . . .	27
2.2	Vorgaben zur Erstellung und zur grafischen Gestaltung von Lärmkarten . . . . .	28
2.3	Grenz- und Orientierungswerte für Verkehrslärm in dB . . . . .	29
4.1	Harmonische Komposition nach Itten . . . . .	61
5.1	Überblick darüber, anhand welcher Methode die einzelnen Forschungsfragen behandelt werden und wo sie beantwortet werden . . . . .	81
6.1	Überblick der Daten einer Lärmkarte . . . . .	94
6.2	<i>Tasks</i> zur Nutzung von Lärmkarten . . . . .	98
6.3	Methoden zur Datensammlung für eine Anforderungsanalyse . . . . .	105
6.4	Die praktischen Nutzer von Lärmkarten . . . . .	110
6.5	Input für und Output aus Lärmkarten . . . . .	113
7.1	Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas I . . . . .	132
7.2	Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas II . . . . .	133
7.3	Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas III . . . . .	136
7.4	Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas IV . . . . .	138
7.5	Überblick der CMYK-Farbwerte des Schemas IV . . . . .	142
7.6	Überblick der ausgewerteten Faktoren und Faktorlevels in Studie 1 . . . . .	146
7.7	Die Datenmatrix des 7x3x2 Designs der Studie 1 . . . . .	146
7.8	Vergleich der Einschätzung mit dem realen Mittelungspegel . . . . .	158
7.9	Überblick über die Mittelwerte der drei Kartenausschnitte . . . . .	158
7.10	Überblick des 3x2 Designs in Studie 2 . . . . .	162
7.11	Antwortmöglichkeiten in Teil 2 der Studie 3 . . . . .	169
7.12	Die unabhängige Variable in Studie 4 . . . . .	189
7.13	Kenntnisse akustischer Grundlagen . . . . .	191
8.1	Überblick der Variablen zur Überprüfung der Übertragbarkeit . . . . .	199



# Abbildungsverzeichnis

1.1	Farben nach DIN 18005-2:1991 . . . . .	5
1.2	Die Auswirkungen der Lärmbelastung . . . . .	6
2.1	Arten der Öffentlichkeitsbeteiligung . . . . .	12
2.2	Die Herangehensweise im Mitwirkungsprozess in Norderstedt . . . . .	13
2.3	Karten als Diskussionsgrundlage . . . . .	14
2.4	Karte zur Beteiligung in Nürnberg . . . . .	22
2.5	Karte zur Beteiligung in Köln . . . . .	23
2.6	Die Beschreibung verschiedener Lärmlevel . . . . .	25
3.1	Kohärente und inkohärente Signale . . . . .	35
3.2	Das logarithmische Maßsystem . . . . .	37
3.3	Der Schalldruckpegel mit korrespondierendem Schalldruck . . . . .	38
3.4	Das Verhältnis zwischen Schalldruck und Schalldruckpegel . . . . .	38
3.5	Die Schalldruckpegeladdition grafisch dargestellt . . . . .	39
3.6	Die Schalldruckpegelsubtraktion grafisch dargestellt . . . . .	40
3.7	Die Schalleinwirkung und Verarbeitung im Ohr . . . . .	41
3.8	Kurven gleicher Lautstärke . . . . .	42
3.9	Die lineare Einheit <i>sones</i> . . . . .	43
3.10	Level- und Lautheits-Thermometer . . . . .	44
3.11	Die Wahrnehmung von Änderungen des Schalldruckpegels . . . . .	45
4.1	Die genormte CIE-XYZ Farbsohle und der Farbenberg Röschs . . . . .	52
4.2	Das RGB- und das CMY Farbmodell dargestellt im Farbwürfel . . . . .	52
4.3	Die Abweichung der Empfindung der Zapfen vom Modell . . . . .	53
4.4	Der dreidimensionale $L^*a^*b$ -Farbraum . . . . .	54
4.5	Das Munsell-Farbsystem . . . . .	55
4.6	Komplementärfarben . . . . .	60
4.7	Der Simultankontrast beispielhaft dargestellt . . . . .	62
4.8	Die Besonderheit der Farbe Gelb . . . . .	63
4.9	Die Tiefenwirkung von Farben . . . . .	63
4.10	Machsche Streifen . . . . .	64
4.11	Gezeigte Ishihara Farbtafeln mit den Nummern 5, 74 und 29 . . . . .	66
4.12	Die Verwechslungsgeraden für Protanope, Deuteranope und Tritanope . . . . .	66

## Abbildungsverzeichnis

5.1	Das Forschungsdesign . . . . .	78
5.2	Der iterative Prozess der Farbschemenentwicklung . . . . .	80
6.1	Mögliche Kartentypen auf Basis verschiedener Datenformate . . . . .	86
6.2	Ausschnitt aus Hamburgs Verkehrslärmkarte für das Jahr 2007 . . . . .	87
6.3	Beispiel einer Grundkarte . . . . .	88
6.4	Phasen der Einbindung der Öffentlichkeit . . . . .	89
6.5	Beispiele für farbige Grundkarten . . . . .	92
6.6	In Deutschland verwendete Farben nach DIN 18005-Teil 2 . . . . .	92
6.7	In Deutschland verwendete Farben . . . . .	93
7.1	Iteratives Vorgehen bei der Farbschemenentwicklung . . . . .	126
7.2	Alternative Farbschemen aus der Literatur . . . . .	129
7.3	Die von Alberts und Alferéz (2012) vorgeschlagenen Farben . . . . .	129
7.4	Erhöhung des Blauanteils führt zu erhöhter Unterscheidbarkeit . . . . .	130
7.5	Farbschemen der Entwicklungsstufe I . . . . .	131
7.6	Farbschemen der Entwicklungsstufe II . . . . .	133
7.7	Farbschema der Entwicklungsstufe II bei Farbenfehlsichtigkeit . . . . .	134
7.8	Vertikale Ansicht des Farbschemas II im Munsell-Farbsystem . . . . .	134
7.9	Sättigungsverteilung des Farbschemas II im Munsell-Farbsystem . . . . .	135
7.10	Farbschema der Entwicklungsstufe III mit angepasster Sättigung. . . . .	136
7.11	Sättigungsverteilung des Farbschemas III im Munsell-Farbsystem . . . . .	137
7.12	Vertikale Ansicht des Farbschemas III im Munsell-Farbsystem . . . . .	137
7.13	Farbschemen der Entwicklungsstufe III bei Farbenfehlsichtigkeit . . . . .	138
7.14	Farbschema der Entwicklungsstufe IV . . . . .	138
7.15	Vertikale Ansicht des Farbschemas IV im Munsell-Farbsystem . . . . .	139
7.16	Sättigungsverteilung des Farbschemas IV im Munsell-Farbsystem . . . . .	139
7.17	Farbschema der Stufe IV im Vergleich zum DIN-Schema . . . . .	140
7.18	Farbschema der Stufe IV bei Farbenfehlsichtigkeit . . . . .	141
7.19	Finales Farbschema und DIN-Schema bei Farbenfehlsichtigkeit . . . . .	141
7.20	Darstellung verschiedener Farbmodi am iPad Mini . . . . .	144
7.21	Gezeigte Farbschemen im Experiment 1 . . . . .	147
7.22	Gezeigte Kartenausschnitte im Experiment 1 . . . . .	148
7.23	Gezeigter Kartenausschnitt im Experiment 1 . . . . .	148
7.24	Gezeigte Kartenausschnitte mit farbloser niedrigster Klasse . . . . .	149
7.25	Erklärung zur Interpretation der Lärmbelastung . . . . .	150
7.26	Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Farbschemen . . . . .	155
7.27	Die zwei resultierenden Farbgruppen . . . . .	156
7.28	Boxplot der Einschätzung der Lärmbelastung . . . . .	157
7.29	Die Aufgabe der Studie 2 . . . . .	161
7.30	Die drei getesteten Farbschemen in Experiment 2 . . . . .	162
7.31	Der Box-Plot der Accuracy Rate für die Farbschemen . . . . .	164
7.32	Die Accuracy Rate für die einzelnen Farben . . . . .	164
7.33	Der Box-Plot der Accuracy Rate für die einzelnen Farben . . . . .	165
7.34	Zuordnung von Farbgruppen zu den Wirkungsklassen . . . . .	168
7.35	Beispiel eines Farbfeldpaares . . . . .	169
7.36	Überblick über die gezeigten Farbfeldkombinationen . . . . .	169
7.37	Die zwei in Teil 3 gezeigten Kartenausschnitte . . . . .	170
7.38	Die gezeigten Kartenausschnitte mit Straßen und Gebäuden . . . . .	171
7.39	Ergebnisse der Frage nach dem „sinnvollsten“ Schema . . . . .	171

7.40	Ergebnisse einer analogen <i>Card Sorting Task</i> . . . . .	172
7.41	Einschlägige Kenntnisse der Teilnehmer der Studie 3. . . . .	173
7.42	Die Altersverteilung der Teilnehmer der Studie 3 . . . . .	174
7.43	Grüntöne werden zur Darstellung der niedrigsten Pegel gewählt . . . . .	175
7.44	Rot ordneten die Teilnehmer den höchsten Pegeln zu . . . . .	175
7.45	Ergebnisse der Zuordnung zu den Wirkungsklassen . . . . .	176
7.46	Überblick über die Ergebnisse zur Einschätzung der Veränderung . . . . .	177
7.47	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	178
7.48	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	178
7.49	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	179
7.50	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	179
7.51	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	180
7.52	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	180
7.53	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	181
7.54	Diagramm des Farbfeldvergleichs . . . . .	181
7.55	Zuordnen von Farben zu den Wirkungsklassen . . . . .	182
7.56	Zuordnen von Farben zu den Wirkungsklassen . . . . .	182
7.57	Zuordnen von Farben zu den Wirkungsklassen . . . . .	183
7.58	Zuordnen von Farben zu den Wirkungsklassen . . . . .	183
7.59	Antworten zur Reihung der Farben . . . . .	184
7.60	Die Karte C wie sie gezeigt wurde . . . . .	190
7.61	Hotspotkarte A . . . . .	194
7.62	Hotspotkarte B . . . . .	195
7.63	Hotspotkarte C . . . . .	196
8.1	Die offizielle Lärmkarte für den Flughafen <i>London Heathrow</i> 2012 . . . . .	204
8.2	Radar Flight Tracks für <i>London Heathrow</i> im Jahr 2012 . . . . .	205
8.3	Ankünfte am Flughafen <i>London Heathrow</i> im Jahr 2012 . . . . .	206
8.4	Die Karte des Projektes <i>WideNoise</i> . . . . .	212
8.5	Die Karte des Projektes <i>da_sense</i> . . . . .	213
9.1	Finales Farbschema . . . . .	218
B.1	Bietet das Bundesland Lärminformation in einem Web-GIS an? . . . . .	255
B.2	In welchem Format werden die Karten angeboten? . . . . .	255
B.3	Gibt es einen aussagekräftigen Kartentitel? . . . . .	255
B.4	Gibt es eine vollständige Legende? . . . . .	256
B.5	Wenn es eine Legende gibt, wie wird sie dargestellt? . . . . .	256
B.6	Gibt es qualitative, erklärende Ergänzungen zur Legende? . . . . .	256
B.7	Wird ein Maßstab angegeben? . . . . .	257
B.8	Wird der Herausgeber der Karte angegeben? . . . . .	257
B.9	Werden Hinweise auf das Quellenmaterial gegeben? . . . . .	257
B.10	Ist das Datum der Erhebung gut sichtbar angegeben? . . . . .	258
B.11	Wird eine Möglichkeit zur Kontaktaufnahme geboten? . . . . .	258
B.14	Gibt es eine Überblickskarte? . . . . .	258
B.12	Gibt es einen Begleittext zur dargestellten Information? . . . . .	259
B.13	Gibt es einen Begleittext über Lärmkartierung? . . . . .	259
B.15	Sind in der Karte Landmarks dargestellt? . . . . .	259
B.16	Werden topographische Zusatzinformationen gegeben? . . . . .	260
B.17	Kartendarstellung in schwarz-weiß oder Farbe? . . . . .	260

## Abbildungsverzeichnis

B.18	Wird die Darstellung an die Zoomstufen angepasst? . . . . .	260
B.19	Wie ist die grafische Qualität der Grundkarte? . . . . .	261
B.20	Welche Grundkarte wird verwendet? . . . . .	261
B.21	Gibt es eine Kartenbeschriftung? . . . . .	261
B.22	Welcher Layer wird beim Start angezeigt? . . . . .	262
B.23	Gibt es im Web-GIS einen Layer mit dem Differenzpegel? . . . . .	262
B.24	Gibt es im Web-GIS einen Layer mit dem Fassadenpegel? . . . . .	262
B.25	Welchem Typ entspricht die Karte? . . . . .	263
B.26	Darstellung der niedrigsten Klasse . . . . .	263
B.27	Vollständigkeit der Angaben in der Legende . . . . .	263
B.28	Klassen für $L_{den}$ werden nach angegebenen Vorgaben gebildet . . .	264
B.29	Ist das Berechnungsgebiet explizit eingezeichnet? . . . . .	264
B.30	Wie ist die grafische Qualität der dargestellten Lärmpegel? . . . . .	264
B.31	Welche GIS-Funktionen werden angeboten? . . . . .	265

## Abkürzungsverzeichnis

<b>BImSchG</b>	Bundes-Immissionsschutzgesetz
<b>BImSchV</b>	Bundesimmissionsschutzverordnung
<b>BMVBS</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
<b>CMYK</b>	Cyan, Magenta, Yellow, Key (für Schwarz)
<b>dB</b>	Dezibel
<b>DIN</b>	Deutsche Industrienorm
<b>END</b>	Environmental Noise Directive, dt. Umgebungslärmrichtlinie
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>GIS</b>	Geographisches Informationssystem
<b>HSV</b>	Hue, Saturation, Value
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>LAI</b>	Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
<b>NPR</b>	Noise Preferential Route
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development, dt. Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
<b>RGB</b>	Red, Green, Blue
<b>UCD</b>	User-centered Design, dt. nutzerorientiertes Design
<b>W3C</b>	World Wide Web Consortium
<b>WHO</b>	World Health Organization, dt. Weltgesundheitsorganisation



# 1

## Einleitung

### 1.1 Umgebungslärm und Lärmkartierung

Lärm gehört zu den größten Umwelt- und Gesundheitsproblemen unserer Zeit und folgt somit an zweiter Stelle nach der Luftverschmutzung, „but [it is] potentially becoming more relevant, if no action will be taken“ (Europäische Kommission, 2014). Daher ist „[d]ie Lärmbekämpfung [...] neben der Luftreinhaltung zu einem zentralen Gegenstand der europäischen Umweltpolitik geworden“ (Halama und Berkemann, 2009, S. 291). Rund 40 Prozent der EU-Bevölkerung sind Lärm ausgesetzt, der die Grenze der Belästigung von 55 dB überschreitet. 20 Prozent müssen sogar den gesundheitlich bedenklichen Wert von 65 dB tagsüber ertragen und mehr als jeder dritte Bürger wird nachts von über 55 dB belästigt, was etwas unter einem „normalen Gespräch“ liegt (WHO, 2014). Diese Werte führen nicht nur zu Belästigung, sondern bei dauerhafter Belastung auch zu gesundheitlichen Schäden.

Die Dosis-Wirkungs Beziehung zwischen dem Schalldruckpegel und der Belästigung wurde bereits 1978 beschrieben (Schultz, 1978). 1999 wurde durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) veröffentlicht, dass ein Dauerschallpegel von 50 dB<sup>1</sup> über 16 Stunden zu moderater und 55 dB zu beträchtlicher Belästigung führen (WHO, 1999). Das Risiko von Bluthochdruck und Herzinfarkt steigt bereits bei einer Langzeiteinwirkung von über 55 dB, obwohl 50 dB lediglich leiser Radiomusik entsprechen und 60 dB einem „normalen“ Gespräch. Anhand dieser Beschreibungen lässt sich erkennen, wie sensibel Menschen auf Lärm reagieren. Als Konsequenz legte die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) den Grenzwert für Belästigung am Tag bei 55 bis 60 dB fest und gibt bekannt, dass über 65 dB Verhaltensmuster gestört werden und ein hohes Gesundheitsrisiko besteht: „human behaviour patterns are constrained and symptoms of serious health

<sup>1</sup> dB (Dezibel) ist die Einheit, in der Schallpegel beschrieben werden (siehe Kap. 3).

**Tabelle 1.1:** Die Zahl der Lärmbetroffenen in Europa zeigt, dass vor allem Straßenlärm ein massives Problem ist (Europäische Kommission, 2011, S. 6-7).

Bereich	Anzahl der Personen, die Lärm > 55 dB ( $L_{den}$ *) ausgesetzt sind (Millionen)	Anzahl der Personen, die Lärm > 50 dB ( $L_{night}$ **) ausgesetzt sind (Millionen)
In Ballungsräumen (163 Ballungsräume in der EU haben > 250 000 Einwohner)		
Alle Straßen	55,8	40,1
Alle Eisenbahnen	6,3	4,5
Alle Flughäfen	3,3	1,8
Industriegelände	0,8	0,5
Bedeutende Infrastrukturen, außerhalb von Ballungsräumen		
Hauptverkehrsstraßen	34	25,4
Haupteisenbahnstrecken	5,4	4,5
Großflughäfen	1	0,3

\*  $L_{den}$  ist der Lärmindex für alle Tage eines Jahres und setzt sich aus der 12 h Tageszeit ( $L_{day}$ , 6 bis 18 Uhr), der 4 h Abendzeit ( $L_{evening}$ , 18 bis 22 Uhr) und der 8 h Nachtzeit ( $L_{night}$ , 22 bis 6h) zusammen. Die sensiblen Abend- und Nachtzeiten werden extra mit 5 dB bzw. 10 dB bezuschlagt.

\*\*  $L_{night}$  ist der  $L_{eq}$  für die 8 h Nachtzeit und wird nicht zusätzlich gewichtet.

Für genauere Erläuterungen siehe Kapitel 3.3.

damage arise“ (Stevens, 2012, S. 92). Neben der Belästigung und den gesundheitlichen Risiken (Kap. 1.2) lässt sich die Lärmbelastung auch aus finanzieller Sicht beleuchten: „external costs of noise in the EU amount to at least 0,35% of its GDP, but much higher values may be found as new findings become available“ (Europäische Kommission, 2014). Lärm hat somit aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet hohe Relevanz.

Umgebungslärm, die Lärmquelle mit der sich diese Arbeit befasst, beschreibt „unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeiten [...] ausgeht“ (RL 2002/49/EG, 2002, Art. 3, Abs. a). Unter allen Lärmquellen wird Fluglärm zwar als am belästigendsten empfunden (Barbot et al., 2008, S. 1003), aber zahlenmäßig sind am meisten Menschen von Verkehrslärm betroffen: laut dem Deutschen Umweltbundesamt fühlen sich 2/3 der Bundesbürger durch Straßenlärm belästigt, 22 Prozent sogar stark (siehe Tab. 1.1). Verglichen mit anderen Lärmquellen belästigt Verkehrslärm auf ungefähr 90 Prozent des Lärms in Städten (Butler, 2004, S. 480). Zusammengesetzt ist er unter anderem aus dem Antriebsgeräusch, Rollgeräusch und Windgeräusch, wobei Lkws sechs Mal mehr Schalleistung haben als Pkws (Müller und Möser, 2004, S. 475).

Um die schädlichen Effekte von Umgebungslärm zu bekämpfen, hat das Europäische Parlament und der Europäische Rat die Umgebungslärmrichtlinie RL 2002/49/EG (END<sup>2</sup>) verabschiedet. Sie hat das Ziel die Lärmbelastung zu evaluieren und schlägt ein für die EU einheitliches Vorgehen zur Lärmvermeidung und -bekämpfung vor. Zur Überwachung und Überprüfung der Lärmbelastung in Städten sind die EU-Staaten angehalten

<sup>2</sup> für Environmental Noise Directive.

- ab 2007 alle fünf Jahre strategische Lärmkarten mit den Lärmindikatoren  $L_{den}^3$  (Tag-Abend-Nacht Pegel) und  $L_{night}$  (Nacht-Pegel) für Hauptstraßen, Schienen, Flughäfen und Ballungsräume zu erstellen;
- die Öffentlichkeit über die Lärmbelastung, die Auswirkungen und Maßnahmen in Konformität mit der Aarhus Konvention (siehe Kap. 2.2.1) über Öffentlichkeitsbeteiligung zu informieren und zu konsultieren;
- Lärmaktionspläne zur Lärmreduzierung aufzustellen - Grenz- und Auslösewerte sind dabei nicht vordefiniert, sondern liegen im Ermessen der zuständigen Behörde;
- eine langfristige EU-weite Strategie zu entwickeln, um die Zahl der von Lärm Betroffenen zu reduzieren.

Lärmkarten sind in diesem Vorhaben *das* Mittel um Lärm in Städten zu evaluieren, die Öffentlichkeit zu informieren und Lärmaktionspläne aufzustellen. Sie stellen mittels Lärmindikatoren die *Lärmimmissionen* dar, d. h. die Menge an Lärm, die auf Mensch und Umwelt *einwirkt*. Sie werden zum Teil als mächtige Hoffnungsträger bezeichnet: „For city dwellers, maps of noise pollution are a good example of what science can do to improve quality of life.[...] They are a powerful way for politicians and the public to better understand noise, and to participate more meaningfully in urban-development and noise-action schemes that were previously limited to experts. [...] Where anecdotal evidence and parochial complaints once reigned, the public can now both better argue its own particular gripes and be convinced at a glance of the broader benefits of unpopular controls, such as stricter traffic speed limits“ (Nature Editorial, 2004).

Diese große Hoffnung wird in der Praxis leider größtenteils nicht erfüllt. Auch wenn Karten grundsätzlich ein adäquates Mittel zur Darstellung dieses räumlichen Phänomens sind, ist Lärm leider alles andere als ein „einfaches“ Phänomen, das unmissverständlich in Karten dargestellt werden kann. Lärm ist vielmehr hochkomplex: “The study of noise, as distinct from acoustics, is not an exact science. Although less technical in nature, the treatment of noise must allow for the unquantifiable and widely varying effects of human perception. While the generation and propagation of noise may be repeatable throughout a range of conditions, the perception of all acoustic phenomena is inherently subjective, and none more so than noise. The level of annoyance caused by environmental noise from any particular source can vary from person to person and can depend largely on the listener’s environment and attitudes to noise. Consequently, the tasks of quantifying noise annoyance and relating this information in an impartial manner becomes a complex problem“ (McDonald, 2013, S. 340). Diese genannten Eigenschaften von Lärm, die v. a. durch die Diskrepanz von physikalischer Messung des zur Bewertung herangezogenen Schalldruckpegels und tatsächlicher *subjektiver* Wahrnehmung bestimmt sind, machen die grafische Darstellung zur wahren Herausforderung, die darin besteht, die verschiedenen Aspekte einzufangen und in *einer* grafischen Sprache zu übersetzen. Das ist schwer, denn die Werte der dargestellten Lärmindizes sind für Laien schon kaum nachvollziehbar, zumal der Schalldruckpegel ein logarithmisches Maß ist und die Wahrnehmung der Lautstärke ebenso nicht linear ist (siehe Kap. 3.2).

Die klare und verständliche Darstellung und Zugänglichkeit ist nicht nur ein offensichtliches Interesse der Öffentlichkeit, die die Hauptzielgruppe der Karten im

---

<sup>3</sup> Definitionen der nachfolgenden Indikatoren befinden sich in Anhang A und werden in Kapitel 3.3 beschrieben.

Rahmen der RL 2002/49/EG darstellt, sie ist auch vorschriftsmäßig festgehalten. Nachteilig ist, dass es außer dieser Forderung keine einheitlichen Vorgaben gibt, wann diese Anforderungen erfüllt sind. Vor allem bei der Vorgabe zur grafischen Darstellung hält sich die Richtlinie RL 2002/49/EG zurück. Die konkrete Darstellung obliegt somit den Staaten und zuständigen Behörden, die wiederum selbst zumeist nur sehr spärliche Leitfäden entwickelt haben. So gibt es EU-weit und teilweise auch für einzelne Länder eine Vielfalt verschiedener Präsentationen (siehe Kap. 6.2).

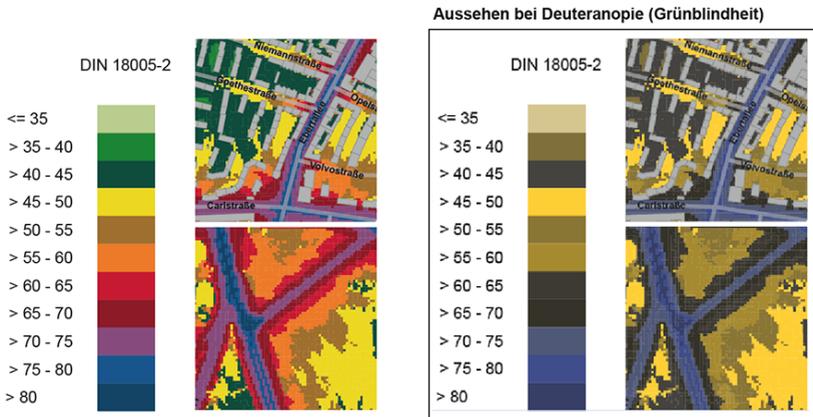
Nachdem die Darstellung der Schallimmissionen bandartig, als Flächen gleicher Pegel, erfolgen soll und sich das auch in der Praxis durchgesetzt hat, ist *der* Darstellungsaspekt, der veränderbar und diskutabel ist, das Farbschema. Das Farbschema, das zurzeit in Deutschland lt. 34. Bundesimmissionsschutzverordnung (34. BImSchV) festgelegt ist (Abb. 1.1), entstammt der ISO 1996-2:1987 (1996) und wurde bei der Neuauflage dieser weggelassen. In der Praxis und in Deutschland jedoch, hat es noch immer Bestand. Die Farbabfolge entspricht nicht der kartografischen Lehre, da die einzelnen Farben nicht der Helligkeit entsprechend den Werten zugeordnet werden können und die Sättigung nicht ausbalanciert ist. Zusätzlich werden Rot und Grün gemeinsam verwendet, was eine Unterscheidung für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unmöglich macht. Nachdem das Farbschema als wichtiger Aspekt von Lärmkarten erachtet wird, ist es Ziel dieser Arbeit, eine Alternative zum bestehenden Schema anzubieten.<sup>4</sup> Bevor der Forschungsrahmen und die Gliederung präsentiert werden, wird als Teil der Motivation zuerst auf die Effekte von Lärm auf die Gesundheit eingegangen.

## 1.2 Lärmbelastung - Effekte von Umgebungslärm auf die Gesundheit

Dass Lärm ein Gesundheitsrisiko darstellt, ist heute unumstritten. Gesundheit wird in diesem Kontext als physisches, mentales und soziales Wohlbefinden beschrieben, nicht als bloßes Nichtvorhandensein einer Krankheit (European Environmental Agency, 2010, S. 5, nach WHO, 1946). „Als gesundheitliche Beeinträchtigung in diesem Sinne ist Lärm schon dann zu bezeichnen, wenn er die Kommunikation im weitesten Sinne stört, den Erholungswert der Wohnung und ihres Umfeldes herabsetzt, Konzentration und Aufmerksamkeit mindert, Nervosität und Irritationsgefühle verursacht sowie Erschrecken, Verärgerung und Furchtassoziationen auslöst“ (Mazur et al., 2007, S. 11).

„Für die Bewertung der Auswirkungen von Lärm auf die Bevölkerung sollten Dosis-Wirkungs-Relationen verwendet werden“ (RL 2002/49/EG, 2002, Anhang III). Ausschlaggebend dafür sind „die Relation zwischen Belästigung und  $L_{den}$ “ sowie „die Relation zwischen Schlafstörung und  $L_{night}$ “ (ebd.). Schultz (1978) beschrieb als Erster die Dosis-Wirkungs-Beziehung für den Prozentsatz stark Belästigter in Abhängigkeit vom Tag-Nacht Pegel. Er stellte fest, dass Pegel, die während des Tages unter 50 dB liegen, wenig oder keine schwerwiegende Belästigung darstellen. Belästigung (engl. annoyance) ist der Indikator, der am häufigsten zur Evaluation des Effektes von Lärm auf Betroffene verwendet wird. Belästigung stellt sich ein, wenn sich Betroffene in ihrem täglichen Leben gestört fühlen, zum Beispiel

<sup>4</sup> Das im Rahmen dieser Arbeit entstandene Farbschema wurde dem „Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI“, in dem die Autorin mitarbeitete, zur Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA) vorgelegt.



**Abbildung 1.1:** Die Farben, wie sie nach DIN 18005-2:1991 empfohlen sind und nach der 34. BImSchV in Deutschland vorgeschrieben sind. Die rechte Seite zeigt wie das Farbschema bei Deuteranopie (Grünschwäche) wirkt. Das Rot ist hier nicht vom Grün zu unterscheiden (Konvertierung mit der Software Eye.syde). Die oberen Karten sind jeweils mit Straßen, Beschriftung und Gebäuden, die unteren ohne Topografie; auf die Unterscheidung von Rot und Grün nimmt das keinen Einfluss.

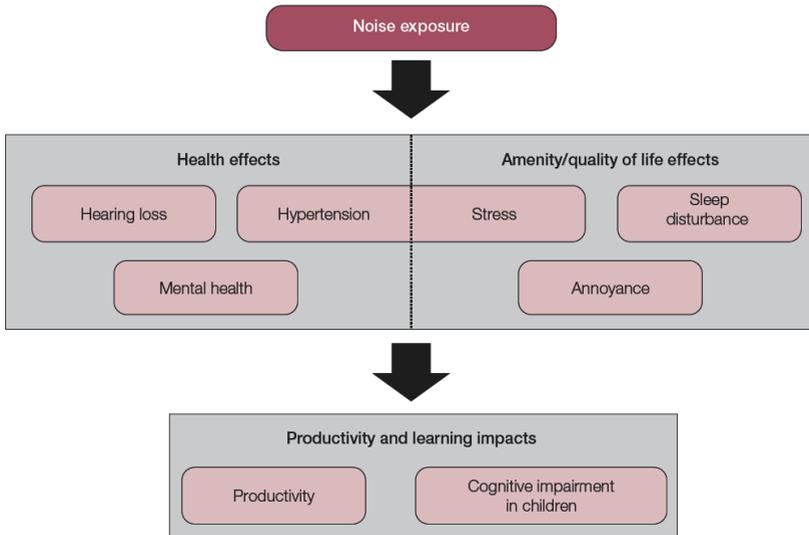
**Tabelle 1.2:** Vergleich des Grades der Belästigung in Abhängigkeit von der Lärmquelle. Die Prozentsätze geben die Zahl stark Belästigter („highly annoyed“) an (European Environmental Agency, 2010, S. 24).

$L_{den}$	Straße	Schiene	Flugzeug	Industrie	Windturbinen
55 dB	6 %	4 %	27 %	5 %	26 %
50 dB	4 %	2 %	18 %	3 %	13 %
45 dB	1 %	0 %	12 %	1 %	6 %

weil Konversationen unterbrochen werden, oder Lärm in Entspannungsphasen ablenkend wirkt. Belästigung wird, da es ein umfangreiches psychologisches Konzept ist, heute zumeist anhand des in der ISO/TS 15666:2003 definierten Fragebogens bestimmt. Dieser evaluiert ein Lärmereignis auf einer numerischen Skala in elf Stufen, beginnend mit „keine Belästigung“ bis zu „extreme Belästigung“. Generell haben ein Anstieg der Lärmbelastung, Veränderungen der Tonhöhe der Geräusche oder die Periodizität von Lärmereignissen Einfluss auf den Grad der Belästigung (Airports Commission, 2013). Die Europäische Umweltagentur (European Environmental Agency, 2010) fand heraus, dass sich z. B. 27 Prozent der Betroffenen bei Fluglärm von 55 dB ( $L_{den}$ ) stark belästigt („highly annoyed“) fühlen, aber nur sechs Prozent bei Straßenverkehrslärm desselben Pegels (Tab. 1.2).

Abbildung 1.2 gibt einen Überblick über mögliche Effekte durch Lärmbelastung, ausgehend von beeinträchtigter Lebensqualität bis hin zu Gesundheitsrisiken und kognitiven Einschränkungen. Einen umfangreichen Überblick über die Effekte von Umgebungslärm auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die kognitive Entwicklung von

Kindern, Schlafstörungen, Tinnitus und Belästigung gibt eine WHO Publikation von 2011 (WHO Regional Office for Europe, 2011).



Source: Airports Commission adapted using WHO (2011) and Moorhouse (2009)

**Abbildung 1.2:** Lärmbelastung beeinträchtigt die Gesundheit und die Lebensqualität, wodurch auch Auswirkungen auf die Produktivität und das Lernen auftreten können (Airports Commission, 2013, S. 10).

Bei einer Langzeitbelastung von durchschnittlich über 55 dB („longterm average exposure“) steigt das Risiko von Bluthochdruck und Herzinfarkt. Laut WHO (1999) führt ein  $L_{Aeq}$ <sup>5</sup> über 50 dB zu moderater Belastung und über 55 dB zu erheblicher Belastung, wenn ihm die Betroffenen über mindestens 16 Stunden ausgesetzt sind. Über 70  $L_{Aeq}$  kann es bei Dauerbelastung in Industriegebieten, kommerziellen Bereichen und Verkehrslagen zu Gehörschädigung kommen. Die OECD setzt die Grenze für starke Beeinträchtigung und schwerwiegende Gesundheitsprobleme bei 65 dB fest und begründet das wie folgt: „human behaviour patterns are constrained and symptoms of serious health damage arise“ (Stevens, 2012, S. 92). Im Jahr 2009 wurden ausführliche „Night Noise Guidelines for Europe“ veröffentlicht (WHO, 2009), die eine Grenze der durchschnittlichen nächtlichen Belastung im Freien bei 40 dB empfehlen. In Deutschland hat das Umweltbundesamt 65 dB tags und 55 dB nachts in der 1. Phase bzw. 60/50 dB in der 2. Phase<sup>6</sup> als gesundheitsrelevante Schwellenwerte bei einer Belastung über 24h vorgeschlagen (Umweltbundesamt, 2006). Allgemeingültige Schwellenwerte und damit Auslösewerte für lärmindernde Maßnahmen gibt es weder innerhalb Deutschlands noch für die EU (vergl. Kap. 2.3.3.1).

<sup>5</sup> Ist der energieäquivalente Dauerschallpegel, auch  $L_{eq}$  (Erläuterung in Kapl. 3.2.3.4).

<sup>6</sup> Es bleibt unklar, ob mit diesen Phasen die Phasen der Lärmkartierung gemeint sind, für die 2007 andere Kriterien bestanden als 2012 (vergl. Kap. 2.3.3).

**Tabelle 1.3:** Nachgewiesene Effekte von Lärm auf die Gesundheit und das Wohlbefinden (European Environmental Agency, 2010, S. 8).

Effekte	Dimension	Indikator	Grenzwert	Zeithorizont
Belästigung, Störung	Psychosozial, Lebensqualität	$L_{den}$	42	chronisch
selbst berichtete Schlafstörungen	Lebensqualität, körperliche Gesundheit	$L_{night}$	42	chronisch
Lernen, Gedächtnis	Leistung	$L_{Aeq}$	50	akut, chronisch
Stresshormone	Stress Indikator	$L_{max}$ $L_{eq}$	NA	akut, chronisch
Schlaf (polysomnografisch)	Erregung, Motilität, Schlafqualität	$L_{max,indoors}$	32	akut, chronisch
selbst berichtetes Aufwachen	Schlaf	$SEL_{indoors}$	53	akut
selbst berichtete Gesundheit	Wohlbefinden, klinische Gesundheit	$L_{den}$	50	chronisch
Bluthochdruck	Physiologie, körperliche Gesundheit	$L_{den}$	50	chronisch
Ischämische Herzerkrankung	Klinische Gesundheit	$L_{den}$	60	chronisch

Tabelle 1.3 gibt einen Überblick darüber, welche Auswirkungen selbst relativ geringe Pegel bei einer dauerhaften Einwirkung haben, wobei zu beachten ist, dass die Grenzwerte vom verwendeten Indikator abhängen, was einen Vergleich erschwert. Ein erhöhtes Herzinfarktisiko für Frauen bedingt durch Lärmbelastung wurde in einer bundesweiten Studie nachgewiesen. Ebenso besteht für Männer und Frauen ein erhöhtes Risiko bei Belastung durch Umgebungslärm (Willich et al., 2006). Die Autoren fassen zusammen, dass ein Anstieg des Risikos eher durch den Schallpegel als durch subjektive Belästigung bedingt ist. Ähnliche Ergebnisse zeigte auch eine aktuelle Studie Fluglärm betroffener in London (Hansell et al., 2013). Die Auswertung der Daten von 3,6 Millionen Londonern im Einzugsgebiet des Flughafens *London Heathrow* für den Zeitraum 2001 bis 2005 zeigte statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen  $L_{Aeq,16h}$  bzw.  $L_{night}$  für den Fluglärm und die Krankenhauseinweisungen bzw. Todesfällen durch Schlaganfall, koronare Herzerkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

Diese Ausführungen machen klar, dass Lärm nicht nur störend ist, sondern ein wahres Risiko für die urbane Bevölkerung darstellt. Lärmkarten sind ein Instrument dieses Problem fassbar zu machen und somit in Angriff zu nehmen.

### 1.3 Forschungsrahmen

Wie oben beschrieben stellt Umgebungslärm in Städten ein großes Gesundheitsproblem dar. Zur Minderung der Gesundheitsgefahr sind Lärmkarten im Rahmen der Lärmaktionsplanung, in welcher die Lärmsituation evaluiert wird und Maßnahmen zur Minderung geplant werden, für die Analyse und Kommunikation unabdingbar. Da bisherige Lärmkarten in Deutschland oft das Ziel verfehlen, für die breite Öffentlichkeit klar, verständlich und zugänglich zu sein, sind die **Ziele** dieser Arbeit (siehe auch Kap. 5):

- Die Interpretation von Lärmkarten, wie sie zur Öffentlichkeitsbeteiligung verwendet werden, durch die Entwicklung eines neuen Farbschemas zu verbessern. (Ziel 1)
- Einen Anforderungskatalog für Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung, der die Bedürfnisse von Interessenseignern berücksichtigt, geltendes Recht integriert, sowie eine Vielzahl nicht-funktionaler Anforderungen, die die Darstellung betreffen, zu entwickeln. (Ziel 2)
- Ein geeignetes, alternatives Farbschema zur DIN 18005-2:1991 zu schaffen. (Ziel 3)
- Ergebnisse zu erlangen, die auf andere EU Staaten übertragbar sind. (Ziel 4)

Diese Arbeit verfolgt den **transdisziplinären Ansatz**, gesellschaftlichen Problemen mit wissenschaftlicher Forschung zu begegnen. Die Problemstellung ist klar aus der praktischen Verwendung der Karten, dem Status-Quo der kartografischen Darstellung und den Herausforderungen das komplexe Phänomen Lärm anhand von Farben darzustellen, abgeleitet.

Im Zuge dieses Vorhabens werden folgende Schwerpunkte gesetzt: Im Fokus stehen

- Karten für die Öffentlichkeitsbeteiligung, also für eine breite Zielgruppe;
- Lärmkarten nach der Umgebungslärmrichtlinie (RL 2002/49/EG) und
- Karten, die eine Verkehrslärmsituation darstellen.

Das heißt, dass alle Empfehlungen auf den einen Zweck bezogen sind, die breite Öffentlichkeit durch die Kommunikation von Lärminformation entsprechend der RL 2002/49/EG über eine Lärmsituation zu informieren. Die Zielgruppe der Karten sind somit vor allem Laien, was in der Wahl der kartografischen Darstellungsweisen berücksichtigt wird.

Bei der kartografischen Darstellung wurde der Fokus auf die digitale Verwendung gelegt, denn Stand der Technik ist die digitale Zurverfügungstellung von Informationen und Karten. Daher wurde das Farbschema für die Darstellung am Bildschirm entwickelt und in Onlinestudien evaluiert.

Trotz des großen Bogens, den diese Arbeit spannt, wurde sie als kartografische Arbeit aus kartografischer Perspektive erstellt. Andere Forschungsbereiche, die angeschnitten werden, oder angrenzen, sind die Stadtplanung, in deren Rahmen die Lärmaktionsplanung stattfindet, die Akustik, die sich mit der Modellierung der Schallpegel befasst, die Soundscapeforschung, die sich mit der Beziehung zwischen Hörraum und Lebenswelt befasst (Schulte-Fortkamp, 2012) und die Psychoakustik, die das objektiv beschreibbare akustische Signal, das im Ohr auftritt mit der subjektiven Wahrnehmung desselben in Beziehung setzt (Gunther, 2011).

## Begriffsbestimmung und Schreibweisen

Wie soeben beschrieben, ist der Rahmen dieser Arbeit sehr breit und erstreckt sich über verschiedene Disziplinen. Daher sind sämtliche Begriffe vielfältig verwendet. Während sie in ihrer Disziplin klar definiert sind, werden sie oftmals in anderen Disziplinen oder umgangssprachlich breiter definiert.

Der Begriff Lärmkartierung beispielsweise, ist aus kartografischer Sicht das Erstellen von grafischen Lärmkarten. Im Kontext der Umgebungslärmrichtlinie wird der Begriff Kartierung aber im Sinne des englischen „mapping“ wesentlich breiter gefasst und umfasst nicht zwangsläufig ein grafisches Endprodukt. Vielmehr ist damit v. a. die *Erfassung* von lärmrelevanten Kenngrößen, die Umwelt betreffend, gemeint. Die Weitergabe der Daten kann danach auch in Tabellen erfolgen und muss nicht zwangsläufig räumlichen Bezug aufweisen. In dieser Arbeit werden die Begriffe Lärmkarte und Lärmkartierung im kartografischen Sinn verwendet und beziehen sich auf die grafische, räumliche Darstellung von lärmrelevanten Kenngrößen und Informationen, sowie die Erfassung mit dem Ziel der grafischen Darstellung.

Umgangssprachlich wird oft vom Lärmpegel gesprochen, um Lärm zu beschreiben. Dieser Begriff ist physikalisch allerdings nicht definiert. Der korrekte Begriff für den dB-Wert ist Schalldruckpegel (Kap. 3.2.2). Ein weiterer Begriff in diesem Kontext ist Schallpegel. Dieser ist ein Überbegriff für die Schallintensität, den Schallintensitätspegel, die Schalleistung, den Schalleistungspegel, den Schalldruck, den Schalldruckpegel, den Spitzenwertpegel und den Maximalpegel (Maute, 2006, S. 32 ff.). Im Weiteren wird außer in Ausnahmen nur auf den Schalldruckpegel eingegangen, da dieser im Rahmen der END-Lärmkartierung von Interesse ist.

Für den verwendeten Begriff Farbschema gibt es auch den Ausdruck Farbskala. Ein Farbschema umfasst alle in einer Karte verwendeten Farben, unter anderem, die zur Darstellung quantitativer Information. Der Ausdruck Farbskala ist eher zur Verwendung von Farben zur Darstellung geordneter Werte, also einer Werteskala, geeignet. Der Begriff ist problematisch, da er im Englischen als *color scale* leicht mit dem Maßstab, englisch ebenso *scale*, zu verwechseln ist.

Für gängige englische Begriffe, wie *user-centered design* wurde das deutsche Pendant verwendet, sofern es einen deutschen Begriff gibt, der genau dasselbe Konzept beschreibt. Der englische Begriff *Task*, der als zum Ziel führende Handlungen umschrieben werden kann, wurde beibehalten, da es in der Fachsprache der gängige Begriff ist und deutsche Bezeichnungen nicht eindeutig sind.

In der Praxis finden sich unterschiedliche Schreibweisen von Lärmindikatoren. In dieser Arbeit wurden durchwegs die Schreibweisen der Europäischen Union verwendet, die zum Teil von jenen der Bundesrepublik Deutschland abweichen. Die 34. BImSchV beispielsweise verwendet die Schreibweise  $L_{DEN}$  während in der Umgebungslärmrichtlinie  $L_{den}$  geschrieben wird. Laut EU und WHO Konvention wird „dB“ geschrieben, anstatt, wie in Deutschland geläufig, „dB(A)“.

### Gliederung

Als erster Schritt der Arbeit wurde eine kartografische Analyse der Lärmkarten in Deutschland (Kap. 6.1) sowie eine Bestandsanalyse der Karten der 27 Ballungsräume durchgeführt (Kap. 6.2). Diese beiden Teile schaffen gemeinsam mit dem Theoriekapitel „Lärmkarten und Öffentlichkeitsbeteiligung“ (Kap. 2), dem Kapitel „Akustische Grundlagen von Lärm“ (Kap. 3) und dem theoretischen Hintergrund zum Thema Farben (Kap. 4) die Problemstellung, da sie die Herausforderungen bei der visuellen Darstellung von Lärm offenbaren. Als Basis für die Aufstellung von Anforderungen und die nachfolgende Entwicklung des Farbschemas wurden die Nutzer-Tasks für die explorative Analyse von Lärmkarten bestimmt (Kap. 6.3), anhand derer eine zielorientierte Betrachtung möglich ist. Die gelisteten Anforderungen (Kap. 6.4) schaffen einen Rahmen zur Erstellung von Lärmkarten und spezifizieren Aspekte wie Projekttrandbedingungen (Ziele, Interessenseigner, rechtliche Rahmenbedingungen etc.), funktionale Anforderungen, sowie nicht-funktionale Anforderungen, wie die kartografische Darstellung. Das Kapitel „Entwicklung und Evaluierung des Farbschemas“ (Kap. 7) ist der empirische Kern der Arbeit. In diesem Kapitel werden, aufbauend auf den Grundlagen der vorangegangenen Kapitel, die iterative Entwicklung des Farbschemas und die Evaluation in vier Nutzerstudien beschrieben. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse wird im nachfolgenden Kapitel im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf andere EU-Staaten (Kap. 8.2), auf andere Lärmquellen am Beispiel Fluglärm (Kap. 8.3) und auf Lärmkarten aus Crowdsourcing (Kap. 8.4) behandelt. Abschließend wird ein Überblick über die Forschungsergebnisse (Kap. 9.1) präsentiert und ein Ausblick (Kap. 9.3) in weitere Forschungsfelder, die aus der Arbeit abgeleitet werden können, beschrieben.

### Hinweise zum Lesen

Das Farbschema wurde für die Darstellung am Bildschirm entwickelt. Ebenso wurden die Abbildungen dieser digitalen Version für die digitale Ausgabe optimiert. Wird dieses Dokument gedruckt, erscheinen die Farben daher anders als bei Darstellung am Bildschirm. Bitte beachten Sie das bei der Betrachtung und Interpretation des Dargestellten!

Die verwendeten Farbbezeichnungen sind subjektiv, für die getesteten Farbschemen wurden daher die RGB-Werte bereitgestellt, um die Nachvollziehbarkeit zu steigern.

# 2

## Lärmkarten und Öffentlichkeitsbeteiligung

### 2.1 Öffentlichkeitsbeteiligung: Einführung und Definition

Der Begriff Öffentlichkeitsbeteiligung (nachfolgend ÖB, engl. public participation) löst den Begriff Bürgerbeteiligung ab, da der Begriff „Bürger“ nur mit Bürgerrechten ausgestattete Einwohner einer Kommune umfasst und damit z. B. Jugendliche, Einpendler und Migranten ausschließt. Öffentlichkeit, hingegen, umfasst neben einzelnen Personen auch juristische Personen und Vereinigungen, wie Umweltverbände. Der Begriff wird definiert als das Miteinbeziehen der Öffentlichkeit in die Themenfindung, Entscheidungsfindung und Politikgestaltung von Organisationen und Institutionen, die sich mit der Entwicklung politischer Maßnahmen befassen (Rowe und Frewer, 2005, S. 253). Diese allgemeine Definition lässt sehr viel Interpretationsspielraum, wie die Öffentlichkeit beteiligt wird und auf welchen Ebenen.

Die bekannteste Typologie der Öffentlichkeitsbeteiligung ist die Leiter von Arnstein (1969, S. 217). Die untersten Ebenen der ÖB, die als „nonparticipation“ zusammengefasst werden, sind „manipulation“ und „therapy“. Als „degrees of tokenism“ sieht sie „informing“, „consultation“ und „placation“, die zur höchsten Stufe überleiten, ihrerseits „degrees of citizen power“, „partnership“, „power delegation“ and „citizen control“. Spätere Typologien bauen auf dieses Schema auf. Als grundlegende Stufen wurden von der OECD (2001b) „information“, „consultation“ und „active participation“ bezeichnet (Abb. 2.1). Information ist eine einfachgerichtete Beziehung, sie wird den Bürgern von der Regierung zur Verfügung gestellt. Bei der Konsultation geben die Bürger Feedback zu einem Anliegen, dass von der Regierung definiert wurde. Vorangegangene Information der Bürger ist die Grundvoraussetzung dafür. Bei der aktiven Partizipation nehmen Bürger aktiv an der Politikgestaltung teil (OECD, 2001b). Diese oberste Stufe lässt noch einige Möglichkeit zur Ausgestaltung. So gibt es die Möglichkeiten des „deliberative involvements“,

wo die Regierung die Öffentlichkeit konsolidiert, der „government-led active participation“, wo die Beteiligung von der Regierung eingeleitet wird, diese sich aber das Recht zur Entscheidung einbehält und die „citizen-led active participation“, wo die Öffentlichkeit aktiv in die Entscheidungsfindung miteinbezogen wird (OECD, 2001a). Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung nennt die letzte Stufe „Kooperation“, da die Beteiligten Mitsprache gewähren, während die Beteiligten tatsächlich mitsprechen (BMVBS, 2007, S. 13).



**Abbildung 2.1:** Die OECD beschreibt die Beziehung zwischen Regierung und Bürgern anhand der Stufen *information*, *consultation* und *active participation* (OECD, 2001b, S. 2).

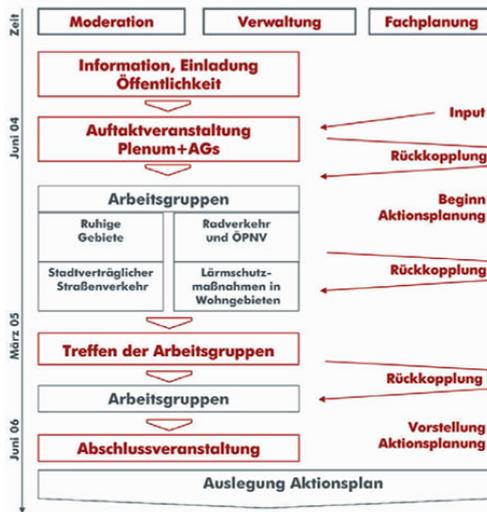
Mit Fokus auf die Bereitstellung von Umweltinformation definiert Haklay (2014) drei Ären: „Environmental Information by Experts, for Experts“ (1969 bis 1992), „Environmental Information by Experts, for Experts and the Public“ (1992 bis 2011), und „Environmental Information by Experts and the Public, for Experts and the Public“ (ab 2011). Die zuvor beschriebenen Stufen der Öffentlichkeitsbeteiligung fallen in die erste und zweite Ära, ebenso wie die Aarhus-Konvention (1998, für Inhalte vergl. Kap. 2.2.1). Die dritte Ära ist die Ära der *Citizen Science*. Sie nahm ihren Anfang, als Prof. Jacqueline McGlade (Executive Director EEA) den Aufruf zu einem „Global Citizens Observatory for Environmental Change“ startete, 2008, zehn Jahre nach Unterzeichnung der Aarhus Konvention. Sie stellte folgendes fest: „Often the best information comes from those who are closest to it“ (Haklay, 2014). Seither ist das Interesse an Bürgern als Datensammler und -erzeuger immer weiter angewachsen und hat auch die Lärmkartierung nicht ausgelassen (vergl. Kap. 8.4).

Der Zweck der klassischen, formellen Öffentlichkeitsbeteiligung, wie sie z.B. in Gesetzen festgeschrieben ist, ist generell:

- die Integration der Bürger, die nach Information die Planungsprozesse beeinflussen können;
- die Legitimation von Vorhaben;
- die Öffnung von Raum für Belange, Ideen und Einsprüche;
- Konfliktvermeidung und
- Schaffung von Transparenz und Akzeptanz zur Nachvollziehbarkeit von Verfahren. (BMVBS, 2007)

Die Zahl der möglichen Mechanismen zur Beteiligung ist groß und je nach Ziel und Zweck zu wählen. Rowe und Frewer (2005) stellen eine umfangreiche Liste bereit, die Mechanismen wie *Action Planning*, *Citizen Advocacy*, *Citizens’ Panels*, *Community Forum*, *Drop-In Centers*, *Hotlines*, *Opinion Polls* und viele andere beinhaltet. Diese Mechanismen sind jeweils wieder entsprechend der drei genannten Stufen zu gliedern.

Einen Überblick darüber, wie der Prozess der Öffentlichkeitsbeteiligung in der Lärmaktionsplanung aussehen kann, gibt die konsalt GmbH (2007) (Abb. 2.2). Das mehrstufige Verfahren beginnt mit der Information über gesetzliche Rahmenbedingungen und Ziele des Verfahrens, für die klassische Verbreitungswege, wie Tagesmedien und Webseiten, genutzt wurden. Auch die Mitwirkung an den Aktionsplänen erfolgt in mehreren Stufen aus großen Auftaktveranstaltungen und Arbeitsgruppen im kleinen Kreis. Gutachter sind von Beginn an integriert und arbeiten in den themenspezifischen Arbeitsgruppen mit, somit erfolgt die nötige Rückkoppelung zwischen Bürgern und Experten, von der beide Seiten und die Ausarbeitung des Lärmaktionsplans (LAP) profitiert. Dieses Beispiel zeigt klar die vielfältige Struktur eines Beteiligungsprozesses, der an jede Stufe angepasste Information benötigt. Karten spielen bei diesem räumlichen Thema natürlich eine große Rolle, wie in Abbildung 2.3 zu sehen ist.



**Abbildung 2.2:** Die Herangehensweise im Mitwirkungsprozess in Norderstedt (konsalt GmbH, 2007, S. 8).

Mittlerweile erfolgen große Teile eines Beteiligungsprozesses über das Internet. Das Internet wird auch als *die* erste Wahl an Möglichkeiten charakterisiert: „The internet is the medium of choice for all OECD member countries when providing citizens with an unprecedented degree of access to government information“ (OECD, 2003, S. 4) und: „Die Verbreitung von Umweltinformationen soll [...] in leicht zugänglichen Formaten erfolgen. Hierzu sollen, soweit vorhanden, elektronische Kommunikationsmittel verwendet werden“ (UIG, § 10, Art. 3). Das Argument, dass im Internet angebotene Information immer noch einer großen Gruppe an Menschen verwehrt bleibt, ist im Jahr 2014 nicht mehr anwendbar: „Eine aktuelle Umfrage des TNS-EMNID-Instituts im Auftrag der Bertelsmann-Stiftung aus dem Jahr 2012 ergab, dass etwa drei Viertel der Bevölkerung Online-Informationen zu geplanten Projekten nutzen bzw. nutzen würden“ (BMVBS, 2012, S. 89). Dennoch ist neben



**Abbildung 2.3:** Im Hintergrund sind deutlich verschiedene Karten zu sehen, die zur Information und als Diskussionsgrundlage bei Veranstaltungen dienen (konsalt GmbH, 2007, S. 13, Personen unkenntlich gemacht).

dem Zugang zu Information auch die Zugänglichkeit im Sinne der Verständlichkeit sicherzustellen. Die OECD (2003, S. 5) unterscheidet zwischen „access“ und „accessibility“, denn selbst wenn Information öffentlich ist und somit Zugang besteht, heißt das nicht, dass sie für die Nutzer verständlich ist. Denn die technische Zugänglichkeit bedeutet nicht automatisch die inhaltliche Zugänglichkeit. Die OECD gibt folgenden Ratschlag: „Designing better public information online must start from the *perspective of the end-users of government information and requires an assessment of their needs, capacity to find, digest and use relevant information*“ (2003, S. 5, Hervorhebung durch die Autorin). Diese Aussage wurde in dieser Arbeit im Forschungsdesign berücksichtigt und ein nutzerorientierter Ansatz verfolgt.

## 2.2 Vorgaben zur Öffentlichkeitsbeteiligung

### 2.2.1 Der Zugang zu Umweltinformation

Öffentlichkeitsbeteiligung umfasst entsprechend der zuvor genannten Stufen auch den Zugang zu Umweltinformation. Im Umweltinformationsgesetz (UIG, 2004, §2, Art. 3) wird der Faktor Lärm, der sich auf „den Zustand der menschlichen Gesundheit und Sicherheit, die Lebensbedingungen“ auswirkt, als Umweltinformation definiert. Das Recht der Bürger freien Zugang zu behördlicher Umweltinformation zu erhalten wurde im Umweltinformationsgesetz (UIG) des Bundes von 1994 festgelegt. In der Aarhus-Konvention, 1998 unterzeichnet, von der EU ratifiziert und in der RL 2003/4/EG über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen „wird dieser Anspruch erweitert und um eine Verpflichtung der Behörde zur *aktiven, systematischen und möglichst umfassenden* Verbreitung von Umweltinformation, insbesondere unter Verwendung von IuK-Technologien, ergänzt“ (Cherdron, 2013, S. 14, Hervorhebung durch Autorin). Die Aarhus-Konvention ist ein Übereinkommen der Wirtschaftskommission für Europa (UNECE) und damit „der erste völkerrechtliche Vertrag, der jeder Person Rechte im Umweltschutz zuschreibt. Die Rechte bestehen in der Information über Umweltfragen, in der Beteiligung an Verwaltungsverfahren

zu Projekten mit Umweltauswirkungen sowie in der Möglichkeit, Klage gegen Umweltbeeinträchtigungen zu führen“ (Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU), 2012).

In Deutschland fanden die drei Säulen der Aarhus-Konvention Eingang in eigenständige Gesetze: in das Umweltinformationsgesetz (UIG), das zusätzlich der Umsetzung der RL 2003/4/EG über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen dient, das Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz und das Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG). Das Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz ist ein Artikelgesetz, das heißt, es ändert gleichzeitig mehrere bestehende Gesetze im Hinblick auf das Titelthema. Eine Umsetzung in den Landesgesetzen war zusätzlich nötig, da „verfassungsrechtliche Änderungen der Gesetzgebungskompetenz dazu führten, dass der Bund nur noch das Verfahren für die Bundesbehörden regeln kann“ (Cherdron, 2013, S. 15).

Während der Zugang zu Umweltinformation geregelt ist, ist auch die Beteiligung in bestimmten Verfahren in Deutschland gesetzlich definiert, was sie zu *formaler Beteiligung* macht. Laut *Verwaltungsverfahrensgesetz* VwVfG §25 ist geregelt, „[...] dass der Träger bei der Planung von Vorhaben, die nicht nur unwesentliche Auswirkungen auf die Belange einer größeren Zahl von Dritten haben können, die betroffene Öffentlichkeit frühzeitig über die Ziele des Vorhabens, die Mittel es zu verwirklichen, und die voraussichtlichen Auswirkungen des Vorhabens unterrichtet (frühe Öffentlichkeitsbeteiligung). [...] Der betroffenen Öffentlichkeit soll Gelegenheit zur Äußerung und zur Erörterung gegeben werden“ (Art. 3). Dieses Gesetz betrifft Verfahren in verschiedenen Kontexten, unter anderem im Bauleitverfahren, im Planfeststellungsverfahren oder in immissionsschutzrechtlichen Verfahren und ist in Abhängigkeit zum Landesrecht umzusetzen.

Diese Aufzählung maßgeblicher Gesetze und Verordnungen, die nach und nach Standards erhöht haben, soll den Stellenwert deutlich machen, den der Zugang zu Umweltinformation und Öffentlichkeitsbeteiligung offiziell haben. Die entscheidende Frage ist nun die juristische Auslegung, die zur praktischen Umsetzung führt. Dieser juristischen Frage kann hier nicht behandelt werden, aber folgende Aspekte fallen auf:

- Die Möglichkeit einer breiten Auslegung des Begriffs **Information**: „Die zu verbreitenden Umweltinformationen bestehen unter anderem aus einer „zusammenfassenden Darstellung und Bewertung der Umweltauswirkungen“ (UIG, § 10, Art. 2). „Der Rechtsbegriff „Informationen über die Umwelt“ der Aarhus-Konvention ist bewusst sehr weit gefasst worden, denn der Informationsanspruch sollte möglichst wenig ausschließen“ (Keupp und Zschiesche, 2010, S. 7). Genau heißt das: „Environmental information means any information [...] written, visual, aural, electronic“ oder Information gemäß speziell genannter Absätze (Aarhus-Konvention, 1998, Art. 2, Abs. 3). Im Weiteren wird nicht dargelegt, was visuelle Information bedeutet, oder wie sie auszusehen hat, aber es ist wichtig, dass visuelle Information, die neben Diagrammen großteils aus Karten besteht, genannt wird. Ihr sollte in Belangen mit Raumbezug ein größerer Stellenwert beigemessen werden als Text.
- Die Auslegung des Begriffs **Zugang** kann vielfältig ausfallen. Es kann damit der technische Zugang gemeint sein, zum Beispiel, welta die Information in Dateiformaten angeboten wird, die weit verbreitet sind, wie z. B. PDF. Oder es könnte der inhaltliche Zugang zu Information in einem Dokument gemeint sein. Letzteres ist im Kontext Kartografie interessanter, aber wesentlich umfangreicher und schwieriger zu erreichen. Bei digitalen Karten gibt es mehrere

Stufen der Informationsaufnahme: zuerst die Karteninteraktion, die eine zielgerichtete Abfrage ermöglicht und die Dekodierung der Kartengrafik, die die inhaltliche Information übermittelt. Beide Stufen tragen einen wichtigen Teil zur Gebrauchstauglichkeit bei.

### 2.2.2 Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Umgebungslärmrichtlinie

Im Rahmen der END findet die Öffentlichkeitsbeteiligung v. a. im Rahmen der Lärmaktionsplanung statt und ist da ein „key element“ (McDonald, 2013, S. 340). Lärmaktionsplanung befasst sich beispielsweise mit der Analyse von Lärm- und Konfliktsituationen, der Beschreibung existierender Maßnahmen, der Entwicklung von Lösungsmöglichkeiten, der Maßnahmenplanung, der Festlegung von ruhigen Gebieten, der Abschätzung der Lärmreduzierung und Anzahl der betroffenen Personen und der Kosten-Nutzen-Analyse. Die Information soll in Übereinstimmung mit bestehenden Rechtsvorschriften, im Jahr 2002 war das die Richtlinie 90/313/EWG über den freien Zugang zu Informationen über die Umwelt<sup>1</sup>, sein und „durch Einsatz der verfügbaren Informationstechnologien, der Öffentlichkeit zugänglich gemacht und an sie verteilt werden“ (RL 2002/49/EG, Art. 9, Abs. 1). Diese Information muss „deutlich, verständlich und zugänglich sein“ (RL 2002/49/EG, Art. 9, Abs. 2). Die Öffentlichkeit ist also ein „key stakeholder in the noise management process“ (McDonald, 2013, S. 340).

In der Richtlinie heißt es: „Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass

- die Öffentlichkeit zu Vorschlägen für Aktionspläne gehört wird,
- dass sie rechtzeitig und effektiv die Möglichkeit erhält, an der Ausarbeitung und der Überprüfung der Aktionspläne mitzuwirken,
- dass die Ergebnisse dieser Mitwirkung berücksichtigt werden und
- dass die Öffentlichkeit über die getroffenen Entscheidungen unterrichtet wird. Es sind angemessene Fristen mit einer ausreichenden Zeitspanne für jede Phase der Mitwirkung der Öffentlichkeit vorzusehen.“ (RL 2002/49/EG, Art. 8, Abs. 7)

Die großen Spielräume für die Ausgestaltung sind offensichtlich, Supplies et al. (2013, S. 6) betonen jedoch den hohen Standard, der festgelegt wurde: „Die Ausführungen in der Umgebungslärmrichtlinie lassen sich so interpretieren, dass diese Prinzipien bei der Aufstellung von Lärmaktionsplänen ernsthaft eingehalten werden sollen. Wenn die Kommunen dies sinnessprechend umsetzen würden, würde damit eine Praxis geschaffen, die bei üblichen kommunalen Planungsverfahren (Bauleitplanung, Planfeststellungsverfahren u. a.) noch kein allgemeiner Standard ist.“ Besonders auffallend, im Gegensatz zu den im vorhergehenden Kapitel definierten Vorgaben zum Zugang zur Umweltinformation, ist, dass die Öffentlichkeit gehört werden *muss* und an der Ausarbeitung und Überprüfung der Aktionspläne *mitwirken* soll.

Es mag erscheinen, als ob dieser hohe Standard der Öffentlichkeitsbeteiligung die EU-weite Harmonisierung konterkariert, es lassen sich aber praktische Gründe finden. McDonald, etwa, sieht die Notwendigkeit einer Beteiligung, um auf die individuellen Bedürfnisse Betroffener einzugehen: „[...] there remains one factor in

<sup>1</sup> Mittlerweile aufgehoben durch die 2003 veröffentlichte RL 2003/4/EG.

noise pollution management that cannot be standardised: the perception and reaction of individual members of the public“ (McDonald, 2013, S. 339). Märker und Wessel (2010, S. 3) hingegen, sehen die Erfordernis der Öffentlichkeitsbeteiligung im Rahmen der Lärmaktionsplanung aufgrund des Fehlens von Grenzwerten in der Umgebungslärmrichtlinie: „Die Richtlinie enthält allerdings keine Grenzwerte, die verpflichtend einzuhalten sind. Die Städte und Gemeinden haben einen weiten Gestaltungsspielraum und entscheiden selbst, wie sie dem übermäßigen Lärm begegnen wollen. Die EU legt deshalb ihr Hauptaugenmerk auf die Mitwirkung der Öffentlichkeit an der Lärmaktionsplanung. Die Bürgerinnen und Bürger sollen durch ihre Mitwirkung ihre Ortskenntnisse in den Planungsprozess einbringen und die Gegebenheiten vor Ort mit gestalten.“

Unumgänglich für die Diskussion ist eine Diskussionsgrundlage, die für dieses räumliche Phänomen idealerweise grafisch, in Form einer Lärmkarte, sein soll. Das heißt die Lärmkarte ist *das* zentrale Instrument im Prozess, da sie die Grundlage zur Bewertung einer Lärmsituation ist. Obwohl die Verbreitung von Information ein Standard des Prozesses ist, ist dieses Unterfangen, in diesem konkreten Fall, mit Schwierigkeiten verbunden, was diese Arbeit zum Ausdruck bringen soll. Diese Aussage fasst die „Herausforderung“ zusammen: „Disseminating ‘comprehensible and accessible’ noise prediction data to the public at large presents considerable difficulties, largely due to the technical nature of noise descriptors“ (McDonald, 2013, S. 340). Er sieht die Lösung in einem zweistufigen Prozess: “the first step being to educate the intended audience and equip recipients with enough knowledge to interpret and understand the material being presented. Only then can the relevant information be effectively communicated“ (ibid.). Dass ein fundiertes Grundwissen hilfreich zum Verständnis des Sachverhalt ist, kann nicht geleugnet werden. In dieser Arbeit wird dennoch der Ansatz vertreten, dass das Kernproblem die grafische Aufbereitung der Information ist und durch eine verbesserte grafische Ausarbeitung und Zusammenstellung der Information das Ziel der Informationsübermittlung besser erreicht wird.

## 2.3 Karten zur Öffentlichkeitsbeteiligung

### 2.3.1 Spezielle Gegebenheiten

Obwohl die Beteiligung in Planungsprozessen und die Distribution von Umweltinformation umfassend geregelt sind, ist nur sehr vage festgelegt, in welcher Form die Information zu verbreiten ist. Das ist verwunderlich, denn in beiden Bereichen dürfte ein Großteil der Daten raumzeitliche Information sein, deren Darstellung in Karten und Plänen sinnvoll ist. In einer Umfrage, die 1999 über ein Umweltinformationssystem in London durchgeführt wurde, präferierten 78 Prozent der Befragten in Text, Illustrationen und Karten dargestellte Information. 34 Prozent zogen den Zugang zu Rohdaten den genannten Möglichkeiten vor und 50 Prozent empfanden den Zugriff auf Rohdaten manchmal praktisch (Haklay, 2002).

Neben Arbeiten, die die Gestaltung und Entwicklung von Umweltinformationssystemen und Public Participatory GIS (PPGIS) thematisieren (z. B. Fischer, 2012 und Craig et al., 2002), gibt es keine umfassenden Arbeiten, die sich im Speziellen mit der kartografischen Darstellung zur Öffentlichkeitsbeteiligung beschäftigen. Natürlich sollten grundlegende kartografische Regeln beachtet werden, die es in ausreichendem Umfang gibt, dennoch sind einige Aspekte spezifisch für den Anwendungsfall „Umweltinformation für die Öffentlichkeit“:

- Die **breite Zielgruppe**, erstreckt sich über sämtliche Altersgruppen, Bildungsgrade und Wissensstände. In Realität lässt sich die Gruppe der potentiellen Teilnehmer gut charakterisieren. Von Umweltthemen fühlen sich beispielsweise Menschen mit hohem Bildungsstand und höherer sozio-ökonomischer Stellung eher angesprochen (Haklay, 2002). Dennoch müssen mit den Inhalten auch andere Gruppen angesprochen werden. Ein Grundsatz in Planungsverfahren ist daher: „Die für die Beteiligung genutzten Formen der Kommunikation müssen in ihrer Gesamtheit für alle relevanten Zielgruppen geeignet sein“ (Supplies et al., 2013, S. 6). Das ist einfach gesagt, in der Praxis aber lässt sich diese *universal usability* meistens, bedingt durch mangelndes Fachwissen, Zeitdruck und andere Gründe nur begrenzt umsetzen.
- Krygier (2002) betont die Wichtigkeit eine Darstellung zu verwenden, die **zur Beteiligung ermutigt**, anstatt zu entmutigen. Er schlägt dafür „non-threatening graphics“ vor, die nicht professionell und abgeschlossen, sondern *sketchy* und unfertig aussehen sollen. Weitere Designstrategien sind:
  - die Verwendung der Spiele-Metapher;
  - Interessierte sollten die Möglichkeit erhalten, Inhalte daheim zu erkunden, nicht nur in öffentlichen Sitzungen;
  - die Verwendung von Panoramaansichten schaffen eine Brücke zwischen Realwelt und Karte;
  - interaktive Software gibt die Möglichkeit, verschiedene Komplexitätsgrade anzubieten und ein Thema aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten, um eine kritische Sichtweise zu fördern;
  - verwendete Begriffe und Konzepte sollten in einer Onlineenzyklopädie erklärt werden. (S. 332)
- Für die Öffentlichkeitsbeteiligung werden oft „**spezielle**“ **thematische Karten** benötigt, in denen **quantitative und qualitative Information** kombiniert werden, für die es kaum kartografische Standards gibt. Casey und Pederson (2002) beklagen zum Beispiel die eingeschränkten Standards, was die Symbole zur Darstellung des urbanen Wohnumfelds angeht. Die Karten zeigen vor allem Einschränkungen zur Abbildung der qualitativen Aspekte: „[...] the maps did not meaningfully convey the very distinct physical and social disparities we observed in the neighbourhoods“ (S. 67). Die Darstellung von Informationen dieser Art ist auch eine Herausforderung, da sie meistens räumlich nicht klar abgrenzbar sind: „Many aspects of peoples’ every-day lives involve fuzzy entities which are not bounded by neat lines which are the mainstay of traditional maps and digital representations. Possibly the single most important element of a future PPGIS [public participation geographic information system] scenario is how to elicit this soft, fuzzy, possibly non-spatial information from the public. Most often people talk about every-day issues in vague, non-stringent terms. When attempts are made to represent these types of entities in fixed linear terms, difficulties are encountered“ (Kingston et al., 2000, S. 124). Ebenso Barndt (2002, S. 350) spricht über die Schwierigkeit quantitative *und* qualitative Informationen in der Auswertung und Entscheidung zu berücksichtigen: „There is often a mismatch between those who work with the quantitative interpretation of data and those who approach an issue from the direct knowledge of persons affected by the issue. [...] Creative ways

should be found to link the two perspectives.“ Die Kartierung dieser qualitativen Aspekte ist oftmals ein Grund dafür, überhaupt Aktivitäten der ÖB zu initiieren.

- Für die Darstellung von **qualitativen und emotionalen Aspekten** gibt es kaum allgemeingültige Konventionen, außer der Verwendung von *Smileys*, den drei Ampelfarben, oder den Zeichen für Plus und Minus. Die emotionale Komponente fällt v. a. ins Gewicht wenn Menschen stark betroffen sind. Arbeiten, die sich generell mit Emotionen in der Kartografie beschäftigen (z. B. Griffin und McQuoid, 2012, Klettner et al., 2013), geben meistens einen Überblick über die Kartierung der emotionalen Raumwahrnehmung. Die Emotionen, die bei der Erfahrung im Raum gemacht werden, werden zumeist kategorisiert und mit klassischen kartografischen Gestaltungsmitteln präsentiert. Umgekehrt gibt es wenige Versuche, die emotionale Komponente der Karteninterpretation zu beleuchten. Fabrikant et al. (2012), z. B., setzen sich mit der emotionalen Reaktion auf Karten auseinander, die Farbschemen verwenden, die aus Meister-Gemälden extrahiert wurden. Die beiden nachfolgenden Spiegelpunkte geben einen Einblick in zwei zum Teil emotionale Aspekte, die bereits umfassender in der Kartografie beleuchtet wurden. Denn auch ohne den Willen stark überzeugende, oder sogar manipulative Karten zu produzieren, kann eine bestimmte Komposition an Inhalten und Kartengrafik Emotionen auslösen, die Meinungen zu einem Sachverhalt beeinflussen können. Es ist daher notwendig diese für die Öffentlichkeitsbeteiligung genauer zu untersuchen.
- Wenn es sich um offizielle Information handelt, ist die Frage des **Vertrauens** der Nutzer in die Information besonders entscheidend. Denn im Gegensatz zu E-Commerce Anwendungen, wo Usability und Ästhetik eine entscheidende Rolle spielen, ist für die Nutzer von Anwendungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung v. a. die Datenquelle zur Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit ausschlaggebend (Skarlatidou, 2012, S. 204). Schiewe und Schweer (2013) nennen ebenso die Quelle und die Marke entscheidend für die Vertrauensbewertung von Karten zur Orientierung. Skarlatidou definiert folgende vertrauenswirksame Hinweise, die auch von Laien klar benannt werden können, gibt aber den Hinweis, dass Aspekte nicht immer auch eine Verbesserung der Usability oder Ästhetik bewirken und vice versa:
  1. „Das Logo des Seitenbetreibers oder -erstellers sollte auf allen Seiten gut zu sehen und von hoher Qualität sein.
  2. Urheberrecht und Information zu den Daten sollte auf Anhieb gefunden werden können.
  3. Stellen Sie externe Links für Zusatzinformation zur Verfügung.
  4. Im Falle von externen Links sollten die Webseitenbetreiber diese regelmäßig auf Funktionsfähigkeit überprüfen. Nachrichten wie 'Wir sind für den Inhalt der Webseite nicht verantwortlich' schmälern die Vertrauenswürdigkeit.
  5. Ein professionelles Erscheinen (z. B. Funktionalität und Layout) und Ästhetik verbessern die Vertrauenswürdigkeit signifikant.
  6. Kontaktdetails sollten einfach zu finden sein.

7. Wenn zusätzliche Services wie z. B. die Anmeldung zu Flutwarnungen angeboten werden, ist es essentiell klarzustellen, dass die persönlichen Daten nicht weitergegeben werden.
8. Ein Blog, der Leute verbindet, erhöht die Vertrauenswürdigkeit.
9. Information über die Genauigkeit der Daten und die Generierung der Karten ist essentiell.
10. Bieten Sie ein Kartentutorial an.“ 2012, S. 120

Griffin und McQuoid (2012, S. 296) schaffen eine Überleitung vom affektiven Aspekt Vertrauen zu den „persuasive maps“: „While earlier authors had noted the unwarranted trust map readers put in maps that they read (e.g., Tyner, 1982), a consideration of maps as objectively scientific artifacts with neutral affect was persuasively debunked in Harley’s (1989) paper ‘Deconstructing the Map’, and maps are no longer viewed by cartographers as carriers of ‘truth’, but rather as rhetorical devices whose creation serves (someone’s) purpose.“

- Besonders die Kommunikation von Umweltinformation hat eine starke **politische Komponente**, denn Informationen müssen lt. Gesetz bereit gestellt werden, aber Maßnahmen können nur im Rahmen der Ressourcen, den Möglichkeiten und dem politischen Willen gesetzt werden. Verschiedene Interessenseigner stellen dabei ihre Interessen in den Vordergrund und passen die Kommunikation und Darstellung ihren Zielen an. Dabei kann es vorkommen, dass Sachverhalte nicht entsprechend wissenschaftlicher, objektiver Maßstäbe präsentiert werden. Monmonier (1996) beschreibt umfassend, auf welche Arten Daten irreführend dargestellt werden können, zum Beispiel durch unpassende Klassenbildung bei der Darstellung quantitativer Daten. Muehlenhaus (2014) fasst Karten, die das Ziel haben, einen Standpunkt über einen anderen zu stellen und somit zu überzeugen, als **persuasive maps** zusammen (der Begriff wurde von Tyner, 1982 geprägt). Er unterscheidet vier „persuasive print map styles“, nämlich den „sensationalist“, den „propagandist“, den „understated“ und den „authoritative rhetorical style“. Ersterer versucht durch die Verwendung von gefühlsgeladenen Grafiken, Fotos und Symbolen Emotionen auszulösen. Der Propagandastil ist nahezu selbsterklärend und wahrscheinlich der bekannteste. Er ist sehr rhetorisch und datenarm und hebt durch eine Vereinfachung („Nominalisierung“) und simple polarisierende Kartengrafik bestimmte Aspekte hervor. Der „understated rhetorical style“ ist ebenso datenarm, wirkt aber professioneller und objektiver, lässt aber dennoch wichtige Information aus, um einen Sachverhalt von verschiedenen Perspektiven zu betrachten. Der „authoritative rhetoric style“ verwendet Elemente rationaler Visualisierung, um ein Argument zu machen. Dennoch werden Daten- und grafische Manipulationen verwendet, um einen Sachverhalt aus einer gewissen Perspektive zu beleuchten. Meistens ist in diesen Karten die „data-to-ink-ratio“ hoch, d. h. sie sind datenreich.
- Abgesehen von unterschiedlicher politischer Motivation, wird derselbe Sachverhalt oftmals für **verschiedene Zwecke** mit verschiedenen **Zielen** dargestellt. Es muss ein Bewusstsein dafür entwickelt werden, dass die Darstellung an den jeweiligen Anwendungsfall, die speziellen Ziele, Fragestellungen und die daraus resultierende Nutzergruppe angepasst werden muss (Barndt, 2002).

- Werden Informationen sachgerecht dargestellt, wäre für das Verständnis der oftmals **komplexen Sachverhalte** einschlägiges Wissen, wie zum Beispiel naturwissenschaftliche Grundlagen von Nutzen. Für Lärm gibt es beispielsweise sämtliche akustische Kennwerte, die je nach Lärmquelle und Anwendung dargestellt werden, aber grundlegende Unterschiede aufweisen. Ist das Grundlagenwissen nicht groß, aber die Betroffenheit, kann das zu einem umso emotionaleren Umgang mit dem „Problem“ führen.
- Werden Karten von Behörden, Interessensverbänden und Medien veröffentlicht und verbreitet, resultiert das in einer teilweise unüberschaubaren **Menge an Information** verschiedener „Parteien“. Der Vorteil des Internets, eine Quelle vielfältiger Information zu sein, wird somit zum Nachteil. Es bedarf umfangreicher Kenntnisse über Internetrecherche und kritische Auseinandersetzung im Umgang mit der Information. Es ist davon auszugehen, dass darüber nicht die gesamte Zielgruppe der Öffentlichkeitsbeteiligung verfügt.

Kurzum, die Kommunikation und Darstellung von Umweltinformation ist ein umfassendes und sensibles Thema, für das klassische kartografische Gestaltungsgrundsätze mitunter nicht ausreichen und deren Erstellung ziel- und nutzerorientiert durch Fachleute zu erfolgen hat.

### 2.3.2 Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung

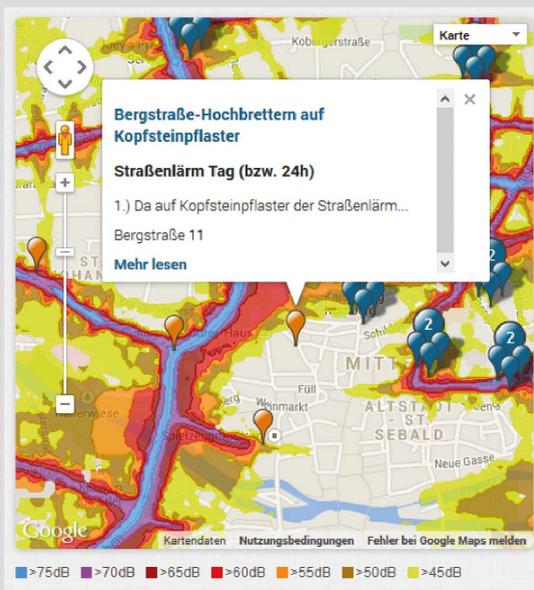
Lärmkarten sind *das* zentrale Instrument zur Bewertung von Lärm und Kommunikation in der Lärmaktionsplanung. Die Visualisierung von Lärm wird in der Forschung bisher kaum oder nur sporadisch betrachtet. Die Verlässlichkeit der Berechnungen und daraus resultierende Schwierigkeiten bei der Interpretation von Lärmkarten, ein sehr grundsätzliches Thema, werden von Richard (2009) behandelt. Im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung verfasste Glück (1973) eine Abhandlung über die „Möglichkeiten zur Erstellung und Verwendung von Lärmkarten als Hilfsmittel für die Stadtplanung“. Aufgrund mangelnder Aktualität wurde diese Arbeit nicht berücksichtigt. Scharlach (2002) diskutiert kartografische Grundlagen von Lärmkarten und realisiert diese audiovisuell. Er behandelte das Thema, bevor Verordnungen der EU und Gesetze zur Lärmkartierung Anwendung fanden, somit sind seine Vorschläge nicht direkt in die heutige strategische Lärmaktionsplanung zu integrieren. Des Weiteren gibt es keinen Beleg dafür, dass er seine Prototypen getestet hat, daher ist unklar, ob seine audiovisuelle Umsetzung gebrauchstauglich ist. Einen Überblick zum Thema Lärmkarten, beginnend mit Grundlagen zur Berechnung und zum Verfahrensablauf der Kartenherstellung findet man in Engnath und Koch (2001). Diese Arbeit wurde ebenso vor der Umgebungslärmrichtlinie (END) verfasst und geht kartografisch nicht in die Tiefe. Sie beinhaltet zwei alternative Farbschemen zur DIN 18005-2:1991, die ebenfalls nicht evaluiert wurden (siehe Kap. 7.1.2, Abb. 7.2).

#### **Exkurs 1: Kartenbasierte Onlinebefragungen**

Im Zuge der Lärmaktionsplanung wird eine Vielzahl verschiedener Karten verwendet, die nicht den Vorgaben der RL 2002/49/EG entsprechen. Da sie Lärm thematisieren, werden sie oft dennoch als Lärmkarten bezeichnet. Strategische Lärmkarten müssen zwar für die Öffentlichkeitsbeteiligung ausgearbeitet werden, sind aber nicht Hauptmedium in jeder der Beteiligungsphasen. Nach ihrer

Veröffentlichung, wird Beteiligung oft dafür genutzt, mit Hilfe der Öffentlichkeit Schwerpunkte in der Lärmaktionsplanung zu setzen, kartenbasierte Befragungen im Internet sind mittlerweile eine beliebte Methode dafür. In Nürnberg durfte die Öffentlichkeit beispielsweise Orte in eine Karte eintragen und kommentieren, die „(zu) laut“ sind (Abb. 2.4). Aus allen Einträgen wurde eine Topliste mit den 20 meistgenannten Vorschlägen erstellt und diese von der Stadt kommentiert. Der am zweithäufigsten genannte Vorschlag in Nürnberg war die Kontrolle spielender Kinder durch das Ordnungsamt. Die Stadt Nürnberg bearbeitete den Vorschlag nicht weiter, da er nicht in den Untersuchungsumfang nach EU-Umgebungslärmrichtlinie und § 47 BImSchG fällt.

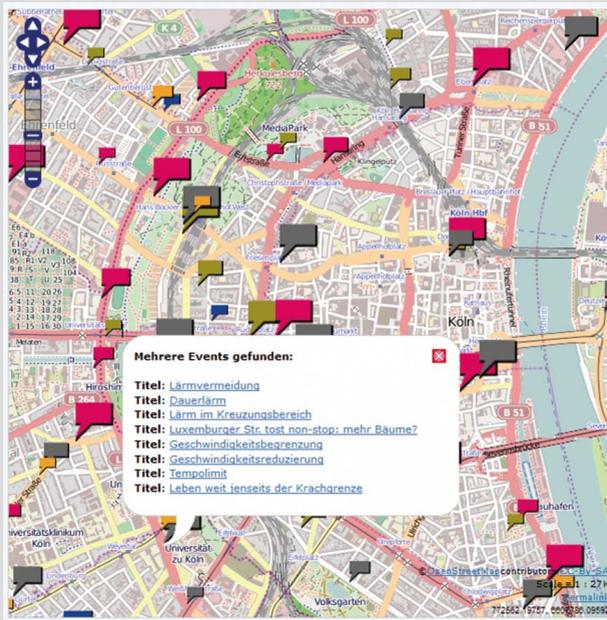
Dieses Beispiel zeigt deutlich, wie undifferenziert Lärm von Betroffenen betrachtet werden kann und wie breit eine Diskussion zu einem vermeintlich konkreten Thema ausufern kann. Eine Diskussion über eine wahrgenommene Lärmsituation wird daher nur schwer durch die sehr speziellen und „unvollständigen“ Lärmkarten unterstützt. Betroffene sind teilweise nicht über die konkreten Ziele der END informiert und sehen daher ihre subjektive Situation von strategischen Lärmkarten nicht ausreichend vertreten.



**Abbildung 2.4:** Wo ist es in Nürnberg (zu) laut? Die Öffentlichkeit wurde in der ersten Phase der Lärmaktionsplanung aufgerufen Vorschläge zu machen, die mit dieser Karte aufgerufen werden können (Stadt Nürnberg, 2014).

In Köln konnte 2011 in der „2. Online-Phase der Kölner Lärmaktionsplanung“ die Öffentlichkeit Maßnahmen zum Lärmschutz kommentieren und bewerten, die auf Basis der „Hinweise zu Lärmorten“ durch Bürger in der 1.

Online-Phase gesammelt wurden. Die Hinweise wurden in einer Karte eingetragen und dienen als Link zu den Kommentaren (Abb. 2.5).



**Abbildung 2.5:** Die Sprechblasen zeigen Kommentare zu den Maßnahmen, die in einer vorangegangenen Onlinebeteiligung gesammelt wurden. Die verschiedenen Farben stehen für verschiedene Lärmarten, leider ist keine Legende zu finden, die näher darauf eingeht. Die Größe der Symbole zeigt die Anzahl der Vorschläge (Stadt Köln, 2010).

Seit der ersten END-Kartierung im Jahr 2007 wurden Herausforderungen in diversen Schriften behandelt, z. B. in den Position Papers der „European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise“ (2007, das in drei Stufen überarbeitet wurde 2003, 2006 und schließlich 2007 oder 2008). Mit der zweiten Kartierung 2012 wurde bereits mehr unabhängige Literatur veröffentlicht, z. B. Licitra (2012) oder Giering und Strünke-Banz (2013). Zumeist wird nicht auf die kartografische Darstellung eingegangen, thematisiert werden lediglich die Modellierung der Daten, technische Erstellung von Lärmkarten, oder die benötigte Information (vergl. McDonald, 2013). Lediglich das Position Paper „Presenting Noise Mapping Information to the Public“ (WG-AEN, 2008) behandelt recht umfangreich die Bereitstellung der Information in Karten für die Öffentlichkeit und geht auf die Beteiligung der Öffentlichkeit zur Erstellung von Lärmaktionsplänen ein. Die Schrift beruht auf einem Workshop im Jahr 2006, der in London stattfand. Das war ein Jahr *vor* der ersten END-Lärmkartierung, seither gibt es keine weiteren vergleichbaren Veröffentlichungen, die Erfahrungen nach den zwei Kartierungsrunden einfließen lassen.

Hauptpunkte des Dokuments sind:

- *Bevor* Inhalt und Darstellung diskutiert werden, ist folgende Frage zu beantworten: „Was soll von der Öffentlichkeit zurück erhalten werden?“ Die Arbeitsgruppe meint, dass das Interesse der Öffentlichkeit gewahrt werden muss und daher ein Bewusstsein und Verständnis für Umweltlärm gefördert werden muss. Sie soll aktiv in die Lärmaktionsplanung miteinbezogen werden und ist die Hauptzielgruppe.
- Die Öffentlichkeitsbeteiligung soll auf Basis der Ergebnisse der Lärmkartierung erfolgen. Dafür muss die Öffentlichkeit auch über die Einschränkungen der Kartierung informiert werden, um Erwartungen realistisch zu halten.
- Die Arbeitsgruppe spricht sich dafür aus, die Karten vor der detaillierten Erstellung von Aktionsplänen auf Verständnis und Akzeptanz zu prüfen. Für den Test könnten Pilot-Gebiete ausgewählt werden.
- Der Detailgrad sollte so gewählt werden, dass die Information für weite Teile der Öffentlichkeit verständlich und relevant ist, um eine Beteiligung zu forcieren.
- Zusätzliche Information ist notwendig, um
  - technische Begriffe zu erklären;
  - klarzustellen, dass manche Menschen empfindlicher auf Lärm reagieren als andere;
  - darüber zu informieren, wie Lärm vermieden werden kann;
  - die Ergebnisse der Kartierung mit Qualitätsstandards, z. B. den Grenzwerten zum Schutz der Gesundheit, zu verknüpfen und
  - die Vorteile der Lärmbekämpfung zu benennen, wie zum Beispiel der Anstieg von Immobilienpreisen. (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2008, S. 10)
- Das Hauptergebnis des Workshops war, dass es verschiedene Stufen und Arten zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit geben muss - „different levels and types of information need to be presented to the public“ (S. 10), was auch eine Hauptaussage dieser Arbeit ist. Im Detail bedeutet das:
  - sehr leicht verständliche und einfache Information mit nur vier Lärmklassen für alle anzubieten und erst in einer zweiten Stufe umfangreichere Information für die, die sie wünschen.
  - Information auf der ersten Stufe sollte nur auf lokaler Ebene angeboten werden.
  - Für detailliertere Information sollten zum Beispiel gewisse Zoomstufen bei der Onlinebereitstellung gesperrt werden, um nicht ein falsches Bild der Genauigkeit der Modellierung zu geben. Empfohlen wird, das ursprüngliche Raster ( $10 \times 10 \text{ m}^2$ ) der Modellierung<sup>2</sup> beizubehalten, um Interpolationen, die akustische Grundregeln außer Acht lassen, zu vermeiden.

---

<sup>2</sup> Gewöhnlich werden Werte bei der Modellierung jeweils für eine Rasterzelle von  $10 \times 10 \text{ m}^2$  generiert. Bei der Verkleinerung des Maßstabes müssen diese unter Berücksichtigung Rechenregeln der Akustik zusammengefasst werden, arithmetische Operationen sind unzulässig.

- Straßennamen und Landmarks sollten in den Karten eingezeichnet werden.
  - Es sollte klar werden, dass die Belastung im Außenbereich dargestellt wird und dass  $L_{den}$  ein Indikator für die Belästigung ist und  $L_{night}$  für die mögliche Schlafstörung. Ein Überblick über die Auswirkung der verschiedenen dB-Klassen wird als Zusatzinformation entsprechend Abbildung 2.6 gegeben.
  - Zusätzlich wird empfohlen, auch den  $L_{day}$  Wert für alle vier Quellen - Verkehrs-, Schienen-, Flug- und Industrielärm - logarithmisch summiert darzustellen.<sup>3</sup>
- Ähnlich den einfachen Karten der ersten Informationsstufe sollten Karten auf nationaler Ebene angeboten werden. Diese sollten keine Isophonen zeigen, sondern für jede Agglomeration Tabellen der Betroffenen pro Klasse und einfache Erklärungen der Indikatoren beinhalten, sowie eine Einführung in die Lärmbelastung, Schlafstörung durch Lärm und die Gesundheitsrisiken geben. Um die angebotene Information konsistent zu machen, wird angeraten, dass auf nationaler Ebene Standardformulierungen angeboten werden, die von den Agglomerationen übernommen werden.
  - Die Information sollte über Pressemitteilungen und lokale Webseiten publik gemacht werden. Für Schulen sollten eigene Informationswebseiten eingerichtet werden.

$L_{den}$	$L_{night}$	Description
50-54dB	40-44dB	Noise is likely to be noticeable but generally it will not be considered overly intrusive in urban areas. In rural areas it may be considered intrusive because of higher expectations for quiet <sup>10</sup> .
55-59dB	45-49dB	Generally the noise is becoming intrusive even in an urban environment.
60-64dB	50-54dB	Generally the noise will be regarded as high but not exceptionally so in urban areas.
65-69 dB	55-59dB	Generally the noise levels are likely to be regarded as high even in urban areas.
70-74dB	60-64dB	Generally the noise will be regarded as highly undesirable.
≥75dB	≥ 65dB	As noise increases the adverse effects become even more significant in terms of serious disturbance.

**Abbildung 2.6:** Ein Vorschlag zur Beschreibung verschiedener Lärmlevel (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2008, S. 15).

Eine Beachtung der Hinweise der WG-AEN würde die Qualität der Lärmkarten grundlegend verbessern. Besonders ist hervorzuheben, dass über das potentielle Gesundheitsrisiko informiert werden sollte und darüber, dass  $L_{den}$  ein Indikator für

<sup>3</sup> Das ist ein innovativer Vorschlag, um den Nutzern die Gesamtsituation näher zu bringen, ist jedoch bisher nicht im großen Rahmen realisiert (siehe Kap. 9.3)

die Belästigung ist. Die Beantwortung einer wichtigen Frage bleibt jedoch offen: Welche Information benötigt die Öffentlichkeit, um einen brauchbaren Beitrag zu leisten? „All relevant information“ meint McDonald (2013, S. 343) und gibt darauf ebenso keine klare Antwort. Er betont dafür die Wichtigkeit, dass Kartennutzer die Inhalte verstehen: „For members of the public to fully understand noise mapping information, they must be made aware of what a noise map displays, how it was produced, and its implications and limitations. This means understanding what quantities a noise map is showing, what the descriptor ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$ ) is measuring, and the source of the noise. This 'hard data' should be accompanied by a caveat that strategic noise maps show predictions only, sometimes based on limited information. For example, mapping procedures might consider only major roads or rail lines, possibly neglecting nearby noise sources that are below the threshold for consideration.“ Sein Hinweis, dass Lärmkarten nur modellierte Vorhersagen zeigen, keine präzisen Messergebnisse und dass auf die Ungenauigkeit der Daten hingewiesen werden muss, ist sehr wichtig. Dennoch ist das kein Problem der Karten an sich, sondern eines der verwendeten Indikatoren und der Modellierung. Er spricht sich deshalb dafür aus, unbedingt hinreichende Zusatzinformation anzubieten, die die dargestellten Karteninhalte und Indikatoren beschreibt und stimmt damit weitgehend den Empfehlungen der WG-AEN (2008) zu. Zusätzlich empfiehlt er, die dB-Skala mit einer qualitativen Erklärung zu ergänzen und zu betonen, dass Lärmkarten jeweils nur eine Lärmquelle darstellen. Das entspricht der Meinung, die auch in dieser Arbeit vertreten wird.

### 2.3.3 Rechtsvorschriften zur Lärmkartierung und Gestaltung von Lärmkarten

Neben den Empfehlungen der WG-AEN und in der Literatur gibt es eine Fülle an Gesetzen, Richtlinien, Verordnungen und Standards rund um das Thema Lärm. Diese umfassen unter anderem Berechnungsgrundlagen und Grundlagen zur Messung und Lärminderung. Nachfolgend wird ein Überblick über deutsche und internationale Rechtsgrundlagen, sowie Standards gegeben, die die Erstellung von Lärmkarten betreffen.

#### 2.3.3.1 Rechtsgrundlagen in Deutschland und der Europäischen Union

Das zentrale Dokument zur Erstellung und Verwendung von Lärmkarten in Deutschland ist die „Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ (RL 2002/49/EG, 2002, Anhang IV) (auch Umgebungslärmrichtlinie oder END). In Deutschland ist die Befolgung der Anhänge IV (Mindestanforderungen für die Ausarbeitung strategischer Lärmkarten), V (Mindestanforderungen für Aktionspläne) und VI (zu übermittelnde Angaben) gesetzlich im Sechsten Teil (Lärmminierungsplanung) des „Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge“ (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG, 2002) verankert. Die „Verordnung über die Lärmkartierung“ (34. BImSchV, 2006) dient laut eigenen Angaben der Umsetzung der RL 2002/49/EG, gibt aber detailliertere Vorgaben zur grafischen Darstellung. Laut RL 2002/49/EG ist die grafische Darstellung der 60-, 65-, 70- und 75-dB-Linien nur für den Zweck der Öffentlichkeitsbeteiligung als Mindestanforderung vorgegeben. Für die Angabe der belasteten Bevölkerung gelten die gleichen fünf Klassen und eine optionale wie in der 34. BImSchV (Tab. 2.1). Eine grafische

Darstellung ist nicht vorgesehen. Ein zusätzlicher Unterschied der beiden Rechtsvorschriften ist, dass die EU zwischen verschiedenen Arten von Lärmkarten für drei verschiedene Zwecke unterscheidet - Aufbereitung der Daten, Informationsquelle für Bürger, Grundlage für Aktionspläne – und für die Auswertung von Aktionsplänen auch Differenzkarten vorschreibt. Diese Punkte wurden nicht ins nationale Recht übernommen. Weitere Details zur zweckorientierten Darstellung werden jedoch auch hier nicht gegeben. Einen Überblick der Vorgaben bietet Tabelle 2.2.<sup>4</sup>

**Tabelle 2.1:** Überblick über die darzustellenden dB-Klassen laut Vorgaben

34. BImSchV		RL 2002/49/EC *		Sechster Teil BImSchG
Tag	Nacht	Tag	Nacht	
	( $\leq 45$ )			
	> 45 - 50			
( $\leq 55$ )	> 50 - 55			Klassen lt.
> 55 - 60	> 55 - 60	$\leq 60$	$\leq 60$	RL 2002/49/EG,
> 60 - 65	> 60 - 65	60 - 65	60 - 65	Anhang VI
> 65 - 70	> 65 - 70	65 - 70	65 - 70	
> 70 - 75	> 70	70 - 75	70 - 75	
> 75		> 75	> 75	

\* Zur Öffentlichkeitsbeteiligung sind grafisch mindestens die *Konturen* für 60, 65, 70 und 75 dB darzustellen. Angaben über die geschätzte Zahl der Menschen, die innerhalb dieser Konturen lebt, sind entsprechend der Klassen nach 34. BImSchV zu machen.

Für die Erstellung von Lärmkarten sind Grenzwerte wichtig, die das Setzen von Lärmschutzmaßnahmen einleiten. Wären diese einheitlich geregelt, könnte die Überschreitung mit einer einheitlichen grafischen Sprache berücksichtigt werden. Bisher gibt es jedoch weder von der EU noch von der Bundesrepublik Deutschland einheitliche Vorgaben. Die EU definiert lediglich, dass ein Grenzwert jener Wert ist, ab dem Lärmschutzmaßnahmen eingeleitet oder in Erwägung gezogen werden müssen. Dieser kann sich für verschiedene Lärmquellen, Umgebungen und unterschiedliche Lärmempfindlichkeit der Bevölkerungsgruppen unterscheiden (RL 2002/49/EG, Art. 3, Abs. s). EU-Mitgliedstaaten sind verpflichtet, Grenzwerte für  $L_{den}$  und  $L_{night}$  an die EU zu übermitteln (RL 2002/49/EG, Art. 5). Deutschland ist dieser Aufforderung jedoch nicht nachgekommen, laut der Datenbank der *European Environment Agency* wurden diese nicht übermittelt (European Environment Agency, 2012). Tabelle 2.3 gibt einen Einblick in die Spannweite der Orientierungs- und Grenzwerte ausgewählter deutscher Rechtsvorschriften, zusätzlich obliegt es den Bundesländern Auslösewerte für die Lärmaktionsplanung zu bestimmen.

Halama und Berkemann (2009, S. 295) interpretieren die Verpflichtung zur Angabe der Betroffenen in der RL 2002/49/EG ab 50 dB bis 75 dB folgendermaßen: „Zum einen ist davon auszugehen, dass Lärmwerte von 50 dB bzw. 55 dB „unerwünschte“ Geräusche im Sinne des Artikel 3 der Richtlinie signalisieren. Zum anderen bringen die Richtliniengeber zum Ausdruck, dass es aus ihrer Sicht keinen Sinn hat, jenseits der Obergrenze von 70 dB bzw. 75 dB weiter zu differenzieren. Jede Überschreitung [...] wird offenbar so gewichtig eingeschätzt, dass sich eine Handlungspflicht [...] von selbst versteht.“

<sup>4</sup> Die „Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutz-gesetz“ (TA Lärm, 1998) und die „Verkehrslärmschutzverordnung“ (16. BImSchV, 1990) bestimmen Immissionsrichtwerte für Anlagen bzw. Immissionsgrenzwerte beim Bau oder Veränderung von öffentlichen Straßen, Schienenwegen der Eisenbahn und Straßenbahnen. Da sie die Erstellung von Karten nicht thematisieren, werden sie im Weiteren vernachlässigt.

**Tabelle 2.2:** Vorgaben zur Erstellung von Lärmkarten und Verwendung im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung.\*

	Inhalt	Rechtsquelle
<b>Zweck:</b>	1) Aufbereitung der Daten 2) Informationsquelle für die Bürger 3) Grundlage für Aktionspläne „Für jeden dieser Zwecke bedarf es einer anderen Art von strategischer Lärmkarte.“ (Art. 7, Abs. 4)	RL 2002/49/EG
<b>Verpflichtet zur Ausarbeitung von Verkehrslärmkarten sind:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ballungsräume mit mehr als 100.000 Einwohnern (vor 30. Juni 2012 &gt; 250.000 EW)</li> <li>• Hauptverkehrsstraßen mit mehr als 3 Mio. Kfz pro Jahr (vor 30. Juni 2012 &gt; 6 Mio. Kfz/p.a.)</li> </ul>	34. BImSchV, BImSchG §47c, RL 2002/49/EG
<b>Inhalt und Darstellung:</b>	<p><math>L_{den}</math> und <math>L_{night}</math> als „Isophonen-Bänder“ ab 55 dB bzw. 45 dB nachts, sowie die „grafische Darstellung der Überschreitung eines Wertes, bei dessen Überschreitung Lärmschutzmaßnahmen in Erwägung gezogen oder eingeführt werden.“</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lärmindizes <math>L_{den}</math> und <math>L_{night}</math>, wahlweise grafisch, oder als Zahlenangabe in Tabellen unter Berücksichtigung der Überschreitung eines Grenzwertes und der geschätzten Anzahl an Wohnungen, Schulen und Krankenhäusern, die bestimmten Werten ausgesetzt sind.</li> <li>• Bei einer grafischen Darstellung sind zumindest die 60-, 65-, 70- und 75-dB-Linien zu zeigen.</li> <li>• Zur Ausarbeitung von Aktionsplänen, in deren Rahmen Öffentlichkeitsbeteiligung vorgesehen ist, gibt es gesonderte Vorgaben: die grafische Darstellung der oben genannten Konturen, die grafische Darstellung der Überschreitung des Grenzwertes und Differenzkarten, die einen Vergleich der aktuellen mit der zukünftigen Situation bieten, sind verpflichtend.</li> </ul>	34. BImSchV  RL 2002/49/EG
<b>Format:</b>	Georeferenziert, digital weiter verwendbar und „in körperlicher Form herstellbar“	34. BImSchV
<b>Grundkarte:</b>	Amtliche, maßstabsgerechte Grundlagenkarte (z. B. topografische Stadtkarte, Stadtgrundkarte)	34. BImSchV
<b>Farben:</b>	Nach DIN 18005-2:1991	34. BImSchV
<b>Information der Öffentlichkeit:</b>	„Geeignete Ausfertigung der Lärmkarten, die der Unterrichtung der Öffentlichkeit dienen [...]. Die Verbreitung hat in für die Öffentlichkeit verständlicher Darstellung und leicht zugänglichen Formaten zu erfolgen.“ (§7) Elektronische Kommunikationsmittel sind dabei zu bevorzugen.	34. BImSchV
<b>Beteiligung der Öffentlichkeit:</b>	„Die Öffentlichkeit wird zu Vorschlägen für Lärmaktionspläne gehört. Sie erhält rechtzeitig und effektiv die Möglichkeit, an der Ausarbeitung und der Überprüfung der Lärmaktionspläne mitzuwirken. Die Ergebnisse der Mitwirkung sind zu berücksichtigen. Die Öffentlichkeit ist über die getroffenen Entscheidungen zu unterrichten.“ (§47d, Abs. 3) Des weiteren werden „angemessene Fristen“ und eine „ausreichende Zeitspanne für jede Phase“ vorgegeben.	Sechster Teil d. BImSchG

\* Ergänzende Angaben und Angaben in tabellarischer oder alphanumerischer Form sind nicht Teil dieses Überblicks.

**Tabelle 2.3:** Grenz- und Orientierungswerte für Verkehrslärm in dB

	Grenzwerte der 16. BImSchV	Orientierungs- werte der DIN 18005-1:2002	Grenzwerte der VLärmSchR 97
	Tag/Nacht	Tag/Nacht	Tag/Nacht
Gewerbegebiet	69/59	65/55	75/65
Kerngebiet	64/54	65/55	72/62
Dorf- und Mischgebiet	64/54	60/50	72/62
Besondere Wohngebiete	59/49*	60/45	70/60*
Allgemeine Wohngebiete	59/49	55/45	70/60
Kleinsiedlungsgebiete	59/49	55/45	70/60
Reine Wohngebiete	59/49	50/40	70/60
Kurgebiete, Krankenhäuser, Altenheime, Schulen	57/47	45 - 65/35 - 65**	70/60
Parkanlagen, Kleingartenanla- gen	-	55/55	-

Tag 6.00 bis 22.00 Uhr, Nacht 22.00 bis 6.00 Uhr

\* Nicht gesondert aufgeführt, Einstufung daher wie allgemeine Wohngebiete

\*\* Sonstige Sondergebiete, soweit sie schutzbedürftig sind; je nach Nutzungsart festzulegen

### 2.3.3.2 Deutsche und internationale Standards

Standards und Normen sind lediglich Empfehlungen, außer sie sind in Rechtsvorschriften verankert, wie z. B. die Verwendung der Farben nach DIN 18005-2:1991 laut 34. BImSchV<sup>5</sup>. Deutsche und internationale Standards, wie die DIN 45682:2002, DIN 18005-2:1991, ISO 1996-2:1987 und 2007 behandeln im Gegensatz zu Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien Details der kartenmäßigen Darstellung. Die DIN 45682 aus dem Jahr 2002 und die DIN 18005-2:1991 aus dem Jahr 1991 befassen sich mit der kartenmäßigen Darstellung von Schallimmissionsplänen bzw. mit der Darstellung in Beurteilungspegelplänen, Immissionsempfindlichkeitsplänen und Konfliktplänen, die im Zuge der Lärminderungsplanung als Einzelpläne erstellt werden können. Das in der DIN 18005–Teil 2 vorgeschlagene Farbschema beruht auf der ISO 1996-2:1987. Die Version von 1987 wurde 2007 ersetzt und alle Hinweise auf die Darstellung, inklusive Farben, gestrichen. Das Farbschema hat sich jedoch über die Jahre festgesetzt, sodass es nach wie vor in den europäischen Lärmkarten vorherrschend ist - wahrscheinlich aus Mangel an Alternativen. Die Inhalte, die die grafische Aufbereitung betreffen, sind stark veraltet und befassen sich ausschließlich mit der Darstellung in gedruckten Karten. So werden als Grundkarte beispielsweise amtliche Grundkarten empfohlen, die bei digitaler Präsentation vielfach nicht an die neuen Anforderungen angepasst werden. DIN 45682:2002 befindet sich derzeit in Überarbeitung, es ist anzunehmen, dass auch die DIN 18005-2:1991 überarbeitet wird oder diese durch erstere ersetzt wird. Eine Überarbeitung ist einerseits aufgrund der Umgebungslärmrichtlinie notwendig, andererseits aufgrund der vorherrschenden digitalen Darstellung.

Einige Angaben, die in den Standards zusätzlich zur grafischen Darstellung der Mittelungs- bzw. Beurteilungspegel empfohlen werden, sind durchaus sinnvoll. Zum

<sup>5</sup> Das Farbschema wird in Kapitel 6.1 diskutiert.

Beispiel soll die Legende neben Kartenrandangaben folgende Informationen enthalten: erfasste Schallquellen, zeitlicher Bezug, Zeitpunkt der Erstellung, Höhe über dem Gelände, verwendete Farben und den Verfasser. Ein begleitender Erläuterungsbericht sollte zusätzlich über die Begründung der Aufstellung einer Lärmkarte, Art der erfassten Schallquellen, den Zeitraum/-punkt der Aufstellung, den Bestand und die Prognose, das verwendete Verfahren zur Ermittlung des Beurteilungspegels und die Höhe, auf die sich die Schallimmissionen beziehen, informieren und die Ergebnisse und deren Aussagefähigkeit erläutern.

## 2.4 Zwischenresümee: Informationsbereitstellung vs. Zugang zum Inhalt schaffen

Öffentlichkeitsbeteiligung ist das Miteinbeziehen der Öffentlichkeit in die Themenfindung, Entscheidungsfindung und Politikgestaltung von Organisationen und Institutionen, die sich mit der Entwicklung politischer Maßnahmen befassen (Rowe und Frewer, 2005, S. 253). Die grundlegenden Stufen der Öffentlichkeitsbeteiligung sind Information, Konsultation und aktive Beteiligung, die teilweise auch Kooperation genannt wird. Jede dieser Stufen bedarf bestimmter Beteiligungsformate, die an das Ziel und die Zielgruppe anzupassen sind. Diese Beteiligung der Öffentlichkeit, sowie die Vermittlung von Umweltinformation ist in Gesetzen wie dem Umweltinformationsgesetz (UIG), der RL 2003/4/EG über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformation, dem Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz und dem Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz (UmwRG) festgelegt und soll „*aktiv, systematisch und möglichst umfassend*“ erfolgen (Cherdron, 2013, S. 14). In der Umgebungslärmrichtlinie wird ein besonders hoher Standard der Beteiligung vorgegeben, denn die Öffentlichkeit ist bei der Lärmaktionsplanung anzuhören und miteinzubeziehen. Lärmkarten sind die dafür notwendige Diskussionsgrundlage und das Internet wird als erste Wahl zur Informationsübermittlung genannt. Die Grundlagen sind geschaffen, dennoch ist der Zugang zu Umweltinformation, wie Lärmkarten noch nicht uneingeschränkt gegeben, sondern eine Herausforderung für viele Nutzer, die Laien sind. Das liegt daran, dass tatsächlich nur die *Grundlagen* geschaffen wurden. Hinreichende Vorgaben zur grafischen Ausgestaltung der Information wurden weder durch die Europäischen Union, noch durch die deutsche Gesetzgebung definiert. Vielfach sind daher die ausführenden Behörden auf sich alleine gestellt und halten sich an die Mindestvorgaben. Zudem geben die vorhandenen Vorgaben Spielraum zur Auslegung: die Information soll verständlich und zugänglich sein (RL 2002/49/EG, Art. 9, Abs. 1). Zunächst kann Information unter anderem in geschriebener oder visueller Form bestehen, Texte und Tabellen sind bei raumzeitlicher Information aber zumeist unhandlich. Des Weiteren gibt es kein einheitliches Erfolgskriterium, wann Information als verständlich zu betrachten ist. Die Empfehlung der „European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise“ (2008) Karten auf Verständnis und Akzeptanz zu überprüfen, ist entsprechend den Kenntnissen der Autorin nicht Praxis. Auch die Zugänglichkeit kann aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden: die Information kann barrierefrei sein, die grafische Sprache für Nutzer verständlich und dadurch die Information inhaltlich zugänglich, oder, im schlechtesten Fall, ist nur das Dateiformat zugänglich, die inhaltliche Zugänglichkeit ist aber nicht gegeben. Es besteht folglich ein großer Unterschied zwischen der bloßen Informationsbereitstellung, z. B. eines PDFs auf einer üblichen Behördenwebseite, und dem Schaffen von Zugang zu einem Thema, beispielsweise über eine Themenwebseite, mit verständlich aufbereiteter Information und einem Glossar oder einem

Lärm-Lexikon.

Vor allem die Erstellung von verständlichen Lärmkarten für eine breite Nutzergruppe ist vor diesem Hintergrund eine Herausforderung. Während die verständliche Aufbereitung von Text „wenig“ Aufwand bedarf, ist bei der Erstellung von Karten zur ÖB, aufgrund der vielfältigen speziellen Gegebenheiten (vergl. Kap. 2.3.1), nicht nach *einem* Leitfaden vorzugehen. Sämtliche Bundesländer, kommunale Spitzenverbände, Umweltverbände und weitere Institutionen haben Texte publiziert, die die verpflichtenden Vorgaben ergänzen sollen. Es obliegt somit dem Leser, sich aus der Fülle an Erfahrungen, Meinungen und Empfehlungen die „brauchbarsten“ herauszupicken. Eine grundlegende Bewertung durch Experten und Zusammenschau der geeigneten Aspekte, besteht zurzeit noch nicht. Selbst nach zwei Phasen der Kartierung, 2007 und 2012, entfacht nur langsam eine Expertendiskussion über die sehr heterogenen Endprodukte und darüber, welche Information und Darstellung für die Öffentlichkeitsbeteiligung am besten geeignet sind.

Nachdem die Rahmenbedingungen der Karten als Schnittstelle zwischen Behörden und Bürgern geklärt wurden, werden im nachfolgenden Kapitel die akustischen Grundlagen von Lärm beschrieben, die ihrerseits ihren Beitrag leisten, die Karten inhaltlich komplexe zu gestalten.



# 3

## Akustische Grundlagen von Lärm

### 3.1 Definition des Begriffs Lärm

Als Lärm wird generell unerwünschter und störender Schall bezeichnet (WHO, 1999). Das heißt, physikalisch besteht kein Unterschied zwischen Lärm und Schall. Nachdem es keine allgemeingültige Meinung darüber gibt, was unerwünscht und was störend ist, ist die Definition von Lärm abhängig von der subjektiven Wahrnehmung.

Der subjektive Eindruck einer Belästigung wird durch etwa 15 sogenannte Moderatoren bestimmt (Berkemann, 2009). Diese sozialen, sozio-psychischen und physiologischen Komponenten sind Stärke, Dauer, Häufigkeit, Tageszeit des Auftretens, Frequenzzusammensetzung, Auffälligkeit (Lärmart), Informationshaltigkeit, Tonhaltigkeit, (allgemeine) Ortsüblichkeit, (individuelle - subjektive) Gewöhnung, subjektive (augenblickliche) Befindlichkeit des Betroffenen, Tätigkeit des Betroffenen, Art und Betriebsweise der Geräuschquelle, (subjektiv angenommene) Vermeidbarkeit des Geräusches und Sympathiewert der Geräuschquelle (Berkemann, 2009, S. 12). „Jeder dieser Faktoren (Moderatoren) wird in einer Kombination erlebt und vom Betroffenen bewusst oder unbewusst bewertet“ (ibid.). Barbot et al. (2008) beschreiben Moderatoren als komplett von der Lärmquelle unabhängig, wie beispielsweise das Alter und das Geschlecht.

Diese subjektiven Eindrücke entscheiden neben den physikalisch messbaren Pegeln auch über die Wahrnehmung. Lärm ist daher stark vom Kontext abhängig: Was, wann, wo, für wen? Zu bestimmten Tageszeiten, z. B. in der Nacht, oder in direkter Umgebung einer Schule oder eines Krankenhauses, werden Geräusche eher als unerwünscht, also als Lärm bezeichnet. Besonders deutlich wird diese Kontextabhängigkeit durch Richtlinien wie dem Nachtfahrverbot für Lastkraftfahrzeuge mit über 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht von 22 Uhr bis 5 Uhr in Deutschland, Ös-

terreich und der Schweiz. Gut lässt sich diese subjektive Ebene auch am Beispiel Musik beschreiben. Laute Musik, die dem eigenen Geschmack entspricht, wird meistens nicht als Lärm bezeichnet, sondern als Unterhaltung gesehen, während Musik in hoher Lautstärke, die nicht gefällt, oder bei der Nachtruhe stört, als Belästigung und daher als Lärm bezeichnet wird.

Obwohl Lärm subjektiv wahrgenommen und bewertet wird, können der entstehende Schaden und das entstehende Risiko dennoch objektiv beschrieben werden. Dieses Schaffen einer objektiven bewertbaren Basis wird in der Diskussion über Umgebungslärm angestrebt. Der Begriff Umgebungslärm (engl. environmental noise) wird im Kontext der Umgebungslärmrichtlinie der EU (RL 2002/49/EG) über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm wie folgt definiert: Umgebungslärm sind „unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Gelände für industrielle Tätigkeiten gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (2) ausgeht“ (Art. 3a).

Im Folgenden sollen Grundbegriffe der Akustik beschrieben werden, um die Bewertung von Lärm nachvollziehbar zu machen und vor allem, um daraus die Besonderheiten für die Visualisierung abzuleiten.

## 3.2 Akustische Grundlagen

### 3.2.1 Schall

Physikalisch beruht Schall auf Schwingungen der Moleküle in elastischen Medien, wie Gasen, Flüssigkeiten oder festen „Körpern“. In Luft entsteht Schall durch die zeitliche Schwingung der Luftmoleküle. Diese Schwingungen breiten sich als Wellen räumlich aus. Im Falle periodischer Schwingungen wird die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde als Frequenz  $f$  in *Hertz* ( $Hz$ ) und die Dauer einer Periode der Schwingung als Schwingungsdauer  $T$  in Sekunden ( $s$ ) angegeben. Eine kurze Schwingungsdauer (und damit eine hohe Frequenz) wird als hoher Ton wahrgenommen, während eine lange Schwingungsdauer (tiefe Frequenz) als tiefer Ton wahrgenommen wird. Der hörbare Bereich dieser Schwingungen ist etwa im Bereich von 16 bis 20 000 Schwingungen pro Sekunde (Kang, 2007).

Während die Schalleistung jene Leistung ist, mit der die Schallquelle die Luft zum Schwingen anregt, ist es der Schalldruck, der vom Gehör wahrgenommen wird. Der Schalldruck wird in *Pascal* ( $Pa$ ) gemessen und wird typischerweise als „Effektivwert  $p_{RMS}$ <sup>1</sup> des dem atmosphärischen Luftdruck überlagerten Wecheldrucks der schwingenden Luftteilchen“ angegeben (Maute, 2006, S. 33). Schalldruck und der zugehörige Schalldruckpegel ( $SPL^2$ ) (siehe Kap. 3.2.2) sind skalare Größen und ortsabhängig, d. h. sie enthalten immer Beiträge anderer Quellen oder Einflüsse des umgebenden Raumes, z. B. durch Reflexion oder Beugung, diese sind aber nahe einer Quelle und deshalb eher irrelevant. Daher sind Schalldruck und -pegel nicht zur Beschreibung von Emissionen, dem Ausstoß von Quellen, geeignet, sondern zur

<sup>1</sup> Der Effektivwert ist „die Wurzel aus dem arithmetischen Mittelwert der quadratischen Funktion“ über eine Zeit  $T$  und wird zur Beschreibung zeitlich veränderlicher physikalischer Größen verwendet (Maute, 2006, S. 25).  $RMS$  ist die englische Schreibweise für Root Mean Square, auf Deutsch wird auch  $p_{eff}$  verwendet.

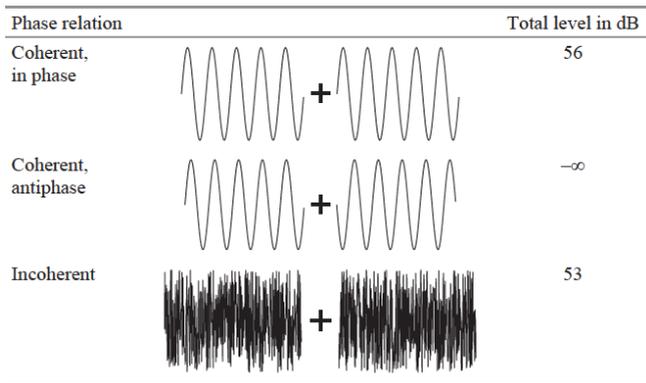
<sup>2</sup> Vom englischen Sound Pressure Level

Beschreibung von Immissionen, dem Einwirken von Faktoren auf Mensch und Umwelt.

Schall einer Frequenz bezeichnet man in der Physik als reinen Ton. Hat ein Ton mehrere harmonische Frequenzanteile, wird er als Klang bezeichnet (Maute, 2006). Ein Geräusch wiederum ist Schall mit vielen Frequenzanteilen, die nicht in ganzzahligem Verhältnis stehen. Bei Lärm spricht man daher von Geräuschen.

Man kann zwischen kohärenten und inkohärenten Signalen unterscheiden. Kohärente Signale sind Sinustöne mit gleicher Frequenz. Addiert man diese, kann, bei gegensätzlichen Phasen, eine destruktive Interferenz entstehen, d. h. die Signale „löschen“ sich gegenseitig (Abb. 3.1, Mitte). Bei phasenrichtiger Addition, oder konstruktiver Interferenz, zweier kohärenter Signale erhält man eine Steigerung von 6 dB (Abb. 3.1, oben). Addiert man jedoch zwei inkohärente Signale, d. h. Signale deren Frequenz *nicht* gleich ist, beträgt die Steigerung des Schalldruckpegels *nur* 3 dB (Abb. 3.1, unten).

Da man in der Praxis, statistisch gesehen, keine Information über die Phasenlage hat, geht man von inkohärenten Signalen aus und rechnet mit dem Schallintensitätspegel<sup>3</sup>, auch Schallenergie, d. h. *energetisch*. Daher spricht man beim Mittelungspegel auch vom energetischen Mittelwert (siehe Kap. 3.2.3.3). Physikalisch kann gezeigt werden, dass Schalldruck und Schallintensität im freien Schallfeld annähernd dasselbe sind (z. B. Maute, 2006 oder Vorländer, 2008), daher wird im Weiteren im Kontext der Lärmkarten vom Schalldruckpegel gesprochen.



**Abbildung 3.1:** Beispiel der Addition von zwei Signalen mit 50 dB (Vorländer, 2008, S. 20).

<sup>3</sup> „Schallintensität  $I$  und Schallintensitätspegel  $L_I$  beschreiben die von einer Schallquelle abgegebene Schallenergie, bezogen auf die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung durchstrahlte Fläche und auf die Zeit.“ (Maute, 2006, S. 32)

### 3.2.2 Vom Schalldruck zum Schalldruckpegel

Die Hörschwelle liegt bei einem Wechseldruck vom  $0,00002 \text{ Pa}$  ( $= 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ , oder  $20 \text{ }\mu\text{Pa}$ ), dem Normaldruck. Die Schmerzgrenze, das heißt die Obergrenze für Wechselschalldruck, den das Gehör noch verarbeiten kann, bevor es physischen Schaden nimmt, liegt bei bis zu  $200 \text{ Pa}$ . Hörschwelle und Schmerzgrenze unterscheiden sich um 7 Zehnerpotenzen, deshalb wird in der Akustik nicht mit Schalldruck in  $\text{Pa}$  gearbeitet; man hat anstelle dessen die logarithmische Skalierung in  $\text{dB}$  eingeführt (Abb. 3.2). Aus Schalldruck  $p_{RMS}$  wird somit Schalldruckpegel<sup>4</sup>  $L_p$  (Gl. 3.1). Der gesamte hörbare Schallpegelbereich lässt sich somit mit Zahlen zwischen von 0 bis 140 dB abbilden (Abb. 3.3).

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad (3.1)$$

$p_0 = 20 \text{ }\mu\text{Pa}$  (Normaldruck)

Aufgrund der logarithmischen Dezibel Notation korrespondiert eine Multiplikation oder Division des Schalldrucks  $L$  mit einer Addition oder Subtraktion des Schalldruckpegels (Abb. 3.4). Wenn also der Schalldruck verdoppelt wird, erhöht sich der Schalldruckpegel bei inkohärenten Signalen, wie Geräuschen<sup>5</sup>, um 3 dB. Zu beachten ist jedoch, dass eine Verdoppelung des Schalldrucks nicht dazu führt, dass die Lautstärke doppelt so laut wahrgenommen wird (siehe Kap. 3.2.4). Weitere Details, die bei Rechenoperationen zu beachten sind, werden im nachfolgenden Abschnitt behandelt.

### 3.2.3 Rechenoperationen mit dem logarithmischen Schalldruckpegel

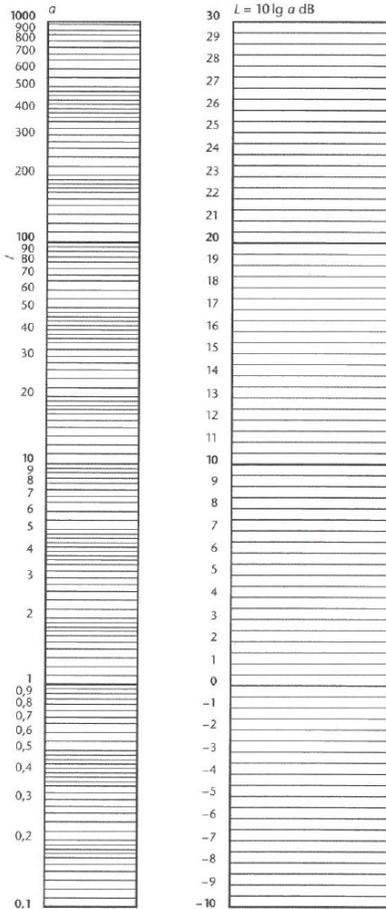
Ebenso wie die Stärke von Erdbeben auf der Richterskala werden auch Schallpegel mit einem logarithmischen Maßsystem beziffert, um eine größere Spanne an Werten anschaulich darstellen zu können. Bei Rechenoperationen und der Interpretation sind somit einige Grundregeln zu beachten, da logarithmische Größen nicht mit den gängigen Grundrechenarten verknüpft werden dürfen. Bei den Berechnungen wird nicht zwischen bewerteten, z. B. A-Schallpegeln (siehe Kap. 3.2.4), und unbewerteten Schallpegeln unterschieden.

#### 3.2.3.1 Pegeladdition

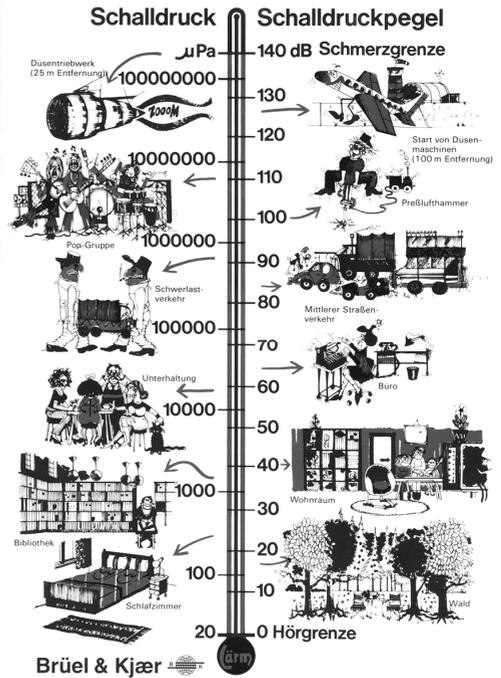
Je größer die Differenz zwischen zwei Pegeln  $L_1$  und  $L_2$ , desto geringer wirkt sich der Zuwachs  $\Delta_+$  auf den größeren Pegel aus (Maute, 2006) (Abb. 3.5). Pegel gleicher Lärmarten können bedenkenlos summiert werden, unterschiedliche Geräuschquellenarten noch nicht: „[...] bei Lärm von Windkraftanlagen und Verkehrslärm [z. B., ist] aufgrund der unterschiedlichen Wirkungen eine Verrechnung der Immissionsanteile aus unterschiedlichen Geräuschquellenarten bislang nicht möglich“

<sup>4</sup>  $L$  von engl. *Level*,  $p$  von engl. *pressure*

<sup>5</sup> Bei kohärenten Signalen, wie Sinustönen mit gleicher Amplitude, Phase und Frequenz beträgt die Veränderung 6 dB, siehe Abb. 3.1.



(a)



(b)

**Abbildung 3.2:** Diese Abbildungen verdeutlichen das logarithmische Maßsystem: (a) eine logarithmisch geteilte Zahlenskala und die dazugehörige Pegelskala mit linearer dB-Teilung (Maute, 2006, S. 38); (b) Der Schalldruck und der Schalldruckpegel gegenübergestellt mit entsprechenden Referenzwerten (Quelle: Brüel & Kjær, Naerum, DK).

Sound Pressure Level ( $L_p$ )	Effective Sound Pressure ( $p_{eff}$ )	Examples (sound sources or places)			Effects on hearing
140 dB	200 Pa	Gunshot at close range	Jet aircraft at < 50 m (during takeoff)	Fireworks at < 10 m	$\geq 140$ dB: Immediate hearing damage
130 dB	$\approx 63.2$ Pa	Alarm siren at 1 m	Car horn at 1 m	Thunderclap (close to ground stroke)	$\approx 125$ dB: Threshold of pain (may vary)
120 dB	20 Pa				$\geq 120$ dB: Hearing damage possible (short-term exposure)
110 dB	$\approx 6.32$ Pa	Yelling directly in one's ear	Disco; amplified music concert	Factory hall with heavy machinery	$\geq 85$ dB: Hearing damage possible (long-term exposure)
100 dB	2 Pa	Helicopter at 30 m			
90 dB	$\approx 6.32 \times 10^{-1}$ Pa	Heavy truck at 10 m	Traffic on a busy road at 10 m	Passenger car at 10 m	
80 dB	$2 \times 10^{-1}$ Pa	Pneumatic drill at 15 m			
70 dB	$\approx 6.32 \times 10^{-2}$ Pa	Vacuum cleaner at 1 m	Conversational speech at 1 m	Moderate rainfall; average home	
60 dB	$2 \times 10^{-2}$ Pa	TV set (at home level) at 1 m			
50 dB	$\approx 6.32 \times 10^{-3}$ Pa	Dish washer at 1 m	Very calm room; whisper at < 5 m		
40 dB	$2 \times 10^{-3}$ Pa	Quiet library			
30 dB	$\approx 6.32 \times 10^{-4}$ Pa	Quiet rural area			
20 dB	$2 \times 10^{-4}$ Pa	Soundproof room (e.g. TV or music studio)			
10 dB	$\approx 6.32 \times 10^{-5}$ Pa	Leaves rustling in the distance; calm breathing			Barely audible
0 dB	$2 \times 10^{-5}$ Pa				Auditory threshold at 1 kHz

Abbildung 3.3: Schalldruckpegel (1. Spalte) mit korrespondierendem Schalldruck (2. Spalte), Vergleichswerten (3. Spalte) und den Auswirkungen auf das Hören (4. Spalte) (Stevens, 2012, S. 271).

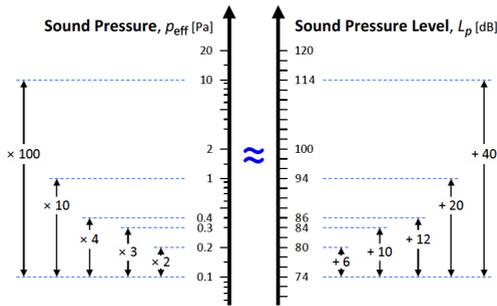


Abbildung 3.4: Das Verhältnis zwischen Schalldruck und Schalldruckpegel: Eine Multiplikation oder Division resultiert in einer Subtraktion oder Addition (Stevens, 2012, S. 271).

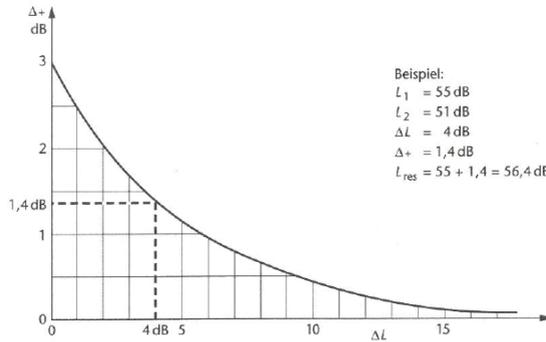
(Berkemann, 2009, S. 16)<sup>6</sup>. Für gleiche Geräuschquellenarten gilt:

$$\Delta_+ = \left[ 10 \cdot \log_{10} \left( 10^{0,1 \cdot L_1} + 10^{0,1 \cdot L_2} \right) \right] - L_1$$

$$L_{ges} = L_1 + \Delta_+ \tag{3.2}$$

$L_1$  : Schallpegel 1  
 $L_2$  : Schallpegel 2

<sup>6</sup> Kenngrößen, beim Einwirken mehrerer Quellenarten, behandelt die Richtlinie „VDI 3722 Blatt 2:2013-05 Wirkung von Verkehrsgeräuschen - Blatt 2: Kenngrößen beim Einwirken mehrerer Quellenarten“.



**Abbildung 3.5:** Die Schalldruckpegeladdition grafisch dargestellt. Die Abszisse stellt die Pegeldifferenz  $\Delta L = L_1 - L_2$  und die Ordinate den Zuwachs  $\Delta_+$  zum größeren Pegel  $L_1$  dar. Werden Pegel mit einer Differenz von 4 dB addiert erhöht sich der Wert um nur 1,4 dB. Deutlich ist auch, dass die Verdoppelung zweier Werte, die also keine Differenz aufweisen (0 dB) eine Steigerung um 3 dB mit sich bringt (Maute, 2006, S. 41, aus Brüel & Kjaer, „Umweltlärm“).

### 3.2.3.2 Pegelsubtraktion

Je größer die Differenz zwischen zwei Pegeln  $L_1$  und  $L_2$ , desto geringer wird sich die Minderung  $\Delta_-$  auf den größeren Pegel aus (Maute, 2006) (Abb. 3.6). Es ist:

$$\Delta_- = L_1 - \left[ 10 \cdot \log_{10} \left( 10^{0,1 \cdot L_1} - 10^{0,1 \cdot L_2} \right) \right]$$

$$L_{ges} = L_1 - \Delta_- \quad (3.3)$$

$L_1$  : Schallpegel 1  
 $L_2$  : Schallpegel 2

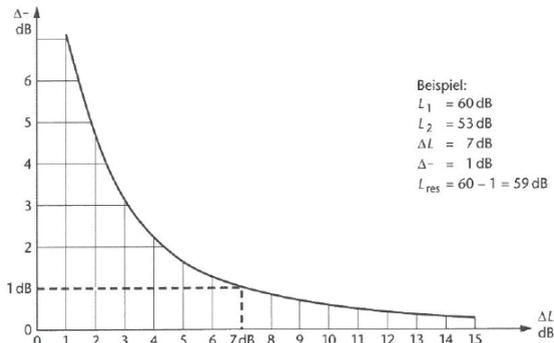
### 3.2.3.3 Örtlicher Mittelwert

Zwischen Pegeln kann kein Mittelwert im klassischen Sinn gebildet werden, es wird ein **energetischer Mittelwert** gebildet. Gleichung 3.4 beschreibt den örtlichen Mittelwert  $\overline{L_p}$ . Dafür wird bei zeitlich schwankenden Pegeln eine zeitliche Mittelwertbildung für jeden Ort vorausgesetzt. Der Beitrag der niedrigeren Pegel ist dabei eher gering.

$$\overline{L_p} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \right)$$

$$L_p \text{ : Schallpegel (dB)} \quad (3.4)$$

$L_{pi}$  : Schallpegel einer Schallquelle (dB)  
 $n$  : Anzahl der Schallquellen  
 $i$  : Index einer Schallquelle



**Abbildung 3.6:** Die Schalldruckpegelsubtraktion grafisch dargestellt: Die Abszisse stellt die Pegeldifferenz  $\Delta L = L_1 - L_2$  und die Ordinate die Abnahme  $\Delta_-$  vom größeren Pegel  $L_1$  dar. Bei der Subtraktion von Werten mit einer Differenz von 7 dB verringert sich der Wert um 1 dB (Maute, 2006, S. 41, aus Brüel & Kjaer, „Umweltlärm“).

### 3.2.3.4 Zeitlicher Mittelwert und Beurteilungspegel

Bei zeitlich schwankenden Pegeln wird der zeitliche Mittelwert, der Mittelungspegel  $L_m$  (Gl. 3.5) bestimmt, der Voraussetzung für den örtlichen Mittelwert ist. Dieser beschreibt den **energieäquivalenten Dauerschallpegel**<sup>7</sup>  $L_{eq}$ <sup>8</sup> und somit die mittlere Lärmbelastung in einem Zeitraum  $T$ . Ist die Dauer der Mittelung als sogenannte Beurteilungszeit  $T_r$  vorgegeben, z. B. in Regelwerken, wird aus  $L_m$  der Beurteilungspegel  $L_r$ <sup>9</sup>.

$$L_m \equiv L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{ dB mit } T = \sum_{i=1}^n t_i$$

$L_m$  : Mittelungspegel

$L_{eq}$  : energieäquivalenter Dauerschallpegel

$T$  : Zeitraum

$n$  : Anzahl der Zeitintervalle

$i$  : einzelnes Zeitintervall

$L_i$  : Schallpegel während des Zeitintervalls  $t_i$

$t_i$  : Zeitintervall für Schallpegel  $L_i$

(3.5)

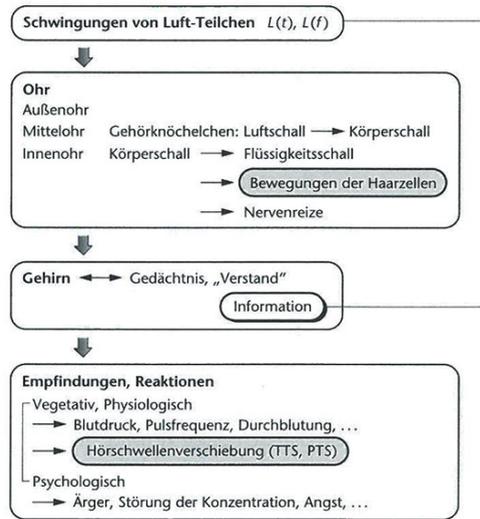
<sup>7</sup> engl. long-term average sound level

<sup>8</sup> auch  $L_{Aeq}$

<sup>9</sup> engl. rating level

### 3.2.4 Lautstärke und empfundene Lautheit

Der oben beschriebene Schalldruckpegel  $L$  beschreibt in physikalischer, objektiver Weise ein Schallfeld. Das menschliche Gehör ist für die Energie der Schallwellen empfindlich, es eignet sich daher der Schallpegel, um die Stärke von Schall zu beschreiben. Obwohl das menschliche Gehör den Schalldruck  $p_{RMS}$  aufnimmt, ist die tatsächliche Wahrnehmung von Schall ein komplexer Vorgang (Abb. 3.7), der, ebenso wie der Schallpegel, nicht linear ist. Eine Verdoppelung des Schalldruckpegels führt daher nicht zur Verdoppelung der empfundenen Lautstärke, welche im Folgenden als Lautheit bezeichnet wird.



**Abbildung 3.7:** Der Schall, d. h. die Schwingungen von Luftteilchen, treffen auf das Ohr, lösen Nervenreize aus und werden an das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet. Zusätzlich erfolgen psychologische und vegetative Reaktionen, teilweise unbewusst (Maute, 2006, S. 50).

Die Lautheit ist komplex von der Frequenz abhängig, d. h. das Gehör ist nicht für alle Frequenzen gleich empfindlich (Stevens, 2012). Fletcher und Munson (1933) (zitiert in Stevens, 2012, S.276 ff.) bewiesen das in ihrer Arbeit erstmals. Sie führten Tests durch, indem sie eine Gruppe von Probanden einem Ton von 1000 Hz aussetzten und veränderten diesen im Bereich zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die Teilnehmer mussten den Schalldruckpegel bestimmen, bei dem der neue Ton gleich laut wie der Originalton ist. Abbildung 3.8 zeigt das Ergebnis, die psychoakustischen Kurven gleicher Lautheit, die mittlerweile überarbeitet, in den Standard ISO 226:2003 eingegangen. Eine konstante Lautheit wird somit durch einen höheren Schalldruckpegel bei tiefen und hohen Frequenzen erreicht. Um diese Eigenschaften greifbar zu machen, wurde international die sogenannte A-Bewertung eingeführt, d. h. frequenzabhängige Pegel werden entsprechend dem Lautstärkeempfinden pro Frequenzband verringert bzw. beaufschlagt, zu einem Einzahlwert gemittelt und somit zu dB(A).

Bei 1000 Hz liegt der Wert der Bewertungskurve bei 0 dB, unter 100 Hz sind die Werte negativ und über 5000 Hz leicht positiv oder negativ (Maute, 2006). Diese Frequenzbewertung kann bereits durch die Schallpegelmessung berücksichtigt werden. Neben der A-Bewertung für Lärm am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft, gibt es die C-Bewertung für „Lärm am Arbeitsplatz bei sehr hohen Pegeln, z. B.  $L_C = 125 \text{ dB(C)}$ “ und die D-Bewertung „zur Beschreibung des Lärms von Flugzeugen mit Turbinen-Antrieb“ (Maute, 2006, S. 53). Die A-Bewertung wird jedoch kritisiert, da sie „den Frequenzgang des Gehörs nur für Töne niederer und mittlerer Pegel bis etwa 500 Hz gut“ nachahmt - das wird in Abbildung 3.8 deutlich - und dadurch keinen gehörrichtigen Schalldruckpegel ergibt (Maute, 2006, S. 54).

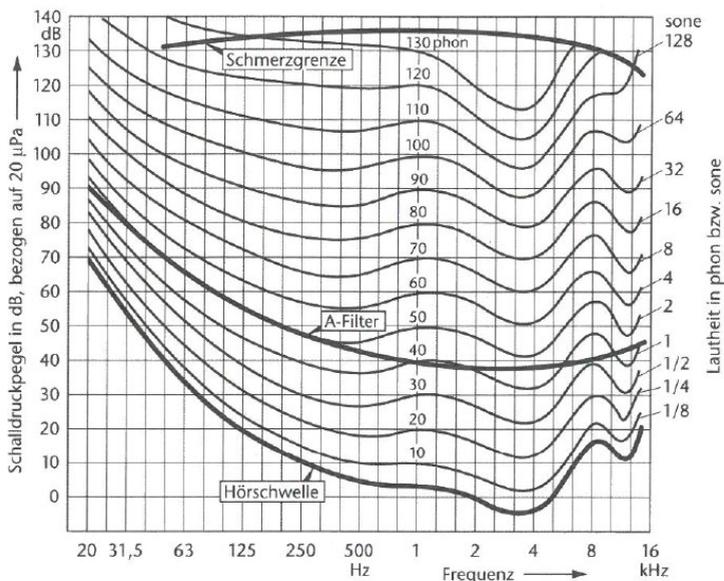


Abbildung 3.8: Kurven gleicher Lautstärke nach DIN 45632 „Grundlagen der Schallmessung“ (Maute, 2006, S. 51).

Die Maßeinheit für die Lautstärke  $L_s$  ist *phon* und basiert auf den Kurven gleicher Lautstärke. Diese Lautstärkeskala ist ebenso logarithmisch aufgebaut. Die Verdoppelung des Zahlenwertes der Lautstärke führt dadurch nicht zu einer Verdoppelung der empfundenen Lautheit, d. h. 80 phon sind nicht doppelt so laut wie 40 phon, sondern 16-mal so laut. Durch die logarithmische Skala führt eine gleiche Änderung der Lautstärke in verschiedenen Pegelbereichen zu verschiedenen Änderungen: Eine Erhöhung von 10 auf 20 phon resultiert in einer Versechsfachung der empfundenen Lautheit, während eine Erhöhung von 50 auf 60 phon zu einer Verdoppelung der empfundenen Lautheit führt (Maute, 2006).

Zur besseren Anschaulichkeit wurde die lineare Einheit *sone* eingeführt, die einen Zusammenhang zwischen der Lautstärke und der empfundenen Lautheit herstellt (Abb. 3.9). Die wahrgenommene Verdoppelung der empfundenen Lautheit bei einem

Anstieg um 10 dB wird somit beschreibbar: Der Referenzwert 40 *phon* ist 1 *some*, ein Anstieg um 10 auf 50 *phon* entspricht dann 2 *some* und damit einer Verdoppelung. Allgemein gilt:

$$S = 2^{(L_s - 40)/10}$$

$$S = \text{Lautheit in } \textit{some}$$

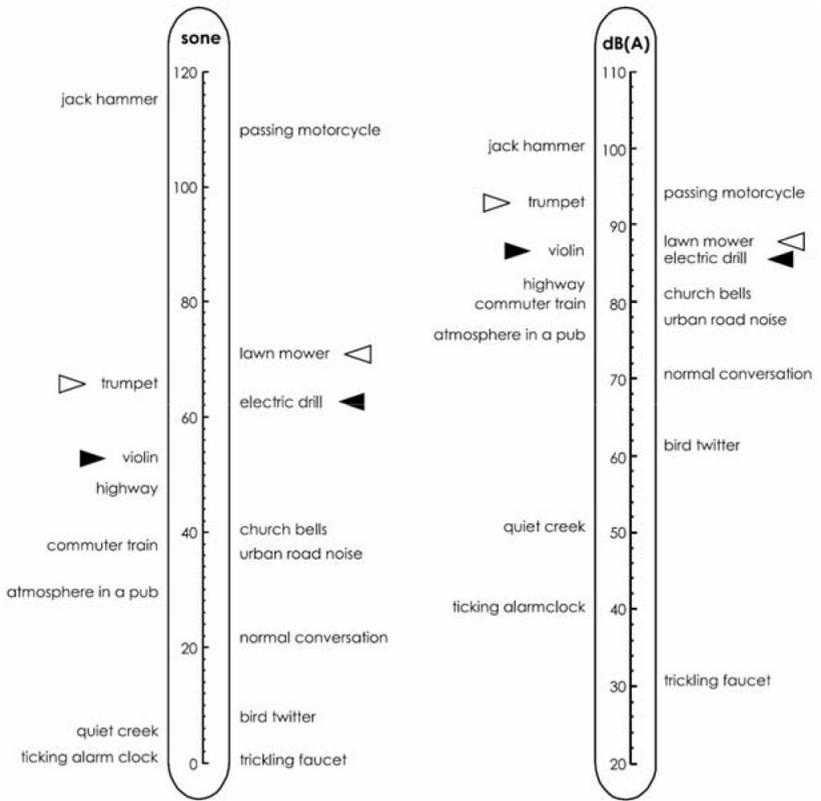
$$L_s = \text{Lautstärke in } \textit{phon}$$
(3.6)

Loudness Level ( $L_N$ )	Loudness ( $N$ )
140 phon	1024 <i>some</i>
130 phon	512 <i>some</i>
120 phon	256 <i>some</i>
110 phon	128 <i>some</i>
100 phon	64 <i>some</i>
90 phon	32 <i>some</i>
80 phon	16 <i>some</i>
70 phon	8 <i>some</i>
60 phon	4 <i>some</i>
50 phon	2 <i>some</i>
40 phon	1 <i>some</i>

**Abbildung 3.9:** Die lineare Einheit *some* ermöglicht einen direkten Vergleich von Lautheitsangaben (Stevens, 2012, S. 279).

Dennoch, die Angabe von *some* ist in Lärmkarten, sowie in sämtlichen technischen Regelwerken zu den Themen Lärm und Lärmschutz, unüblich. Da der nichtlineare Zusammenhang von Schalldruckpegel und empfundener Lautheit auch kein gängiges Allgemeinwissen ist, oder in Lärmkarten erläutert wird, ist der in Lärmkarten dargestellte Sachverhalt durchaus komplex. Abbildung 3.11 gibt einen Überblick, welche Auswirkung eine Schalldruckpegeländerung auf die empfundene Lautheit hat. Eine Änderung von 3 dB ist demnach wahrnehmbar, während eine Minderung um 10 dB bereits zu einer Wahrnehmung als halb so laut führt bzw. eine Erhöhung des Schalldruckpegels um 10 dB ungefähr zu einer Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke führt (Maute, 2006, S. 59). In der Lärmkartierung haben sich Klassen von 5 dB durchgesetzt, da diese eine merkbare Veränderung beschreiben. Um die Lautheit von dB-Werten für die allgemeine Öffentlichkeit zu verdeutlichen, schlägt Fastl (2013) ein „Lautheits-Thermometer“ vor (Abb. 3.10).

Neben diesen Wahrnehmungseffekten gibt es noch weitere nicht akustische Aspekte, die Einfluss auf das Lautstärkeempfinden haben. Sie lassen sich bisher nicht mathematisch beschreiben, machen jedoch deutlich, wie schwierig eine Diskussion über Lärm anhand physikalischer Kennzahlen ist. Farben zeigten beispielsweise Effekte auf die Wahrnehmung der Lautstärke des Motorengeräusches eines beschleunigten Sportwagens (Aston Martin V8). Bei Bildern eines roten oder dunkelgrünen Sportwagens, wurde die Lautstärke höher eingeschätzt als bei hellblauen und hellgrünen Sportwagen. Generell zeigten sich Differenzen, die einem Schalldruckpegel



**Abbildung 3.10:** Die Bedeutung der dB-Werte zur besseren Verständlichkeit für die breite Öffentlichkeit in einem „Level-Thermometer“ (rechts) und einem „Lautheits-Thermometer“ (links). Trotz gleicher dB-Werte wird eine Bohrmaschine lauter wahrgenommen als eine Violine (schwarze Pfeile) (Fastl, 2013, S. 14).

von 1 dB entsprechen (Menzel und Fastl, 2008). Fastl (2013) kommt auf ähnliche Ergebnisse bei der Bewertung der Lautstärke von verschiedenfarbigen ICE Zügen. Sowohl deutsche als auch japanische Teilnehmer schätzten die Lautstärke eines roten Zuges höher ein als jene weißer, hellblauer und grüner Züge. Die Einschätzung der Lautstärke der roten Züge war sogar 15 bis 25 Prozent lauter als jene der grünen Züge.

Zhang und Kang (2007) stellen ein Konzept vor, urbanen Soundscape zu evaluieren, zu beschreiben und zu kreieren. Sie beschreiben psychologische und demografische Charakteristika, sowie physische Charakteristika der Umgebung als entscheidend dafür, wie Umweltgeräusche wahrgenommen werden und zeigen, dass die akustische Wahrnehmung eng mit der visuellen Information gekoppelt ist.

Change in Sound Pressure Level	Change in Sound Pressure <i>(approximate)</i>	Perceived loudness change
- 20 dB	÷ 10	¼ as loud
- 15 dB	÷ 5,62	A lot quieter
- 10 dB	÷ 3,16	Half as loud
- 5 dB	÷ 1,78	Noticeably quieter
- 3 dB	÷ 1,41	Slightly quieter (just perceptible)
+ 3 dB	× 1,41	Slightly louder (just perceptible)
+ 5 dB	× 1,78	Noticeably louder
+ 10 dB	× 3,16	Twice as loud
+ 15 dB	× 5,62	A lot louder
+ 20 dB	× 10	4 times as loud

**Abbildung 3.11:** Die Wahrnehmung von Änderungen des Schalldruckpegels. (Stevens, 2012, S. 279).

### 3.3 Akustische Kennwerte und Indikatoren zur Beschreibung von Umgebungslärm

Das Ziel der Umgebungslärmrichtlinie (RL 2002/49/EG) ist es, das Gesundheitsrisiko Lärm in der Europäischen Union zu mindern. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde das Vorgehen harmonisiert und die Lärmindizes  $L_{den}$  (Gl. 3.7) und  $L_{night}$  eingeführt, die für die Berichterstattung an die EU zu verwenden sind.  $L_{den}$  kombiniert den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel für alle Tage eines Jahres gemäß ISO 1996-2:1987  $L_{eq}$  (Gl. 3.5) für bestimmte Perioden: 12 h Tageszeit ( $L_{day}$ , 6 bis 18h), 4 h Abendzeit ( $L_{evening}$ , 18 bis 22h) und 8 h Nachtzeit ( $L_{night}$ , 22 bis 6h). Die sensiblen Abend- und Nachtzeiten werden extra mit 5 dB bzw. 10 dB bezuschlagt.  $L_{night}$  ist der  $L_{eq}$  für die 8 h Nachtzeit und wird nicht zusätzlich gewichtet. Aus Gründen der Harmonisierung ist es wichtig, dass die Bewertungsperioden gleich lange sind, sie können jedoch von den EU-Mitgliedstaaten je nach lokalen Gegebenheiten verschoben werden. Die Pegel sollten für eine Höhe von vier Metern über dem Boden modelliert werden, Reflexionen der umliegenden Fassaden sollten nicht berücksichtigt werden.  $L_{den}$  lautet:

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}} \right) \quad (3.7)$$

Die Europäische Kommission (2000) gibt in ihrem Position Paper einen umfangreichen Überblick über bestehende und mögliche Indikatoren sowie Kriterien zum Finden eines geeigneten Indikators. Die Wahl eines Indikators ist nicht nur eine Fachfrage der Akustik, sondern vielfach auch eine politische Angelegenheit je nachdem, ob gewichtet wird, oder Effekte berücksichtigt werden. So betont McDonald beispielsweise: „the purpose of the  $L_{night}$  descriptor is as an indication of sleep disturbance, not a direct measure of sound levels“ (2013, S. 345). Durch Wahl verschiedener Kenngrößen kann es zu einem Unterschied des dB-Wertes von bis zu 5 dB kommen, einem deutlich wahrnehmbaren Unterschied (Europäische Kommission, 2000).

Für „allgemeine Anwendungen“ wird die Verwendung des A-gewichteten äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{eq}$  für die einzelnen Quellen empfohlen. Dieser ist

auch jener Indikator, der von den meisten Mitgliedsstaaten vor Einführung der RL 2002/49/EG zur Darstellung der Pegel von Straßen-, Schienen- und Industrielärm verwendet wurde (Europäische Kommission, 2000). Obwohl sie in der Akustik anerkannt ist, trifft die Verwendung von Mittelungspegeln außerhalb der Akustik immer wieder auf Kritik: „Es ist problematisch, die Grenzen der Zumutbarkeit von Lärmbelästigung, die in ungleichmäßigen Intervallen in unterschiedlicher Dauer und Stärke und zudem auch impulsartig auf die Nachbargrundstücke einwirken, durch zusammenfassende Orientierungs- und Richtwerte zu bestimmen, bei denen es sich um Mittelungspegel handelt“ (Berkemann, 2009, S. 21).

**Exkurs 2: „Wo ist es zu laut?“**

In Exkurs 1 (S. 21) wurden zwei Beispiele dafür gegeben, wie Karten, neben strategischen Lärmkarten, zur Beteiligung in der Lärmaktionsplanung eingesetzt werden können. Nürnberg und Köln führten eine kartenbasierte Befragung durch, um, mit Hilfe der Öffentlichkeit, Schwerpunkte für die Maßnahmensetzung zur Lärminderung zu definieren, bzw. Kommentare zu geplanten Maßnahmen zum Lärmschutz zu erhalten (Stadt Nürnberg, 2014, Stadt Köln, 2010). Beide Städte haben zu diesem Zweck Themenseiten gestaltet, auf denen sie versuchen, der Öffentlichkeit das Thema verständlich näher zu bringen. Im Zuge dessen sind die Lärmkarten beider Städte unter der Schaltfläche „Wo ist es zu laut?“ zu finden. Obwohl diese Formulierung für viele Menschen den Nagel auf den Kopf trifft, denn beim Thema Lärm geht es um die Störung durch Geräusche und gestört fühlen sich die meisten durch *laute* Geräusche, ist sie diskutabel. In den Lärmkarten wird der Lärmindex  $L_{den}$ , der über ein Zeitintervall gemittelt und gewichtet ist, für einzelne Lärmquellen dargestellt. Er ist kein Maß für die Lautstärke und diese wiederum gibt keine Auskunft über die subjektiv empfundene Lautheit, zumal diese durch ein Zusammenspiel mehrerer Lärmquellen und anderer Faktoren beeinflusst wird. Vor allem auch durch die Mittelung und die Gewichtung ist „laut“ nicht der geeignete Begriff, denn die Kartennutzer, werden mit den dargestellten Werten in der Praxis nicht konfrontiert.

**3.4 Zwischenresümee: Die Herausforderungen für die Visualisierung von Lärm - „Scheinpräzisierung durch dB(A) oder das Dilemma“<sup>10</sup>**

Folgende Aussage bringt die Schwierigkeit der Quantifizierung von Lärm sehr gut auf den Punkt: „Die Lärmlästigkeit ist letztlich keine messbare Größe. [...] Die bloße Angabe eines Zahlenwertes suggeriert, dass die Beurteilung der erheblichen Belästigung lediglich das Ergebnis eines mehr oder minder genauen physikalischen Ermittlungsvorganges ist. [...] Das alles ist ein fachlicher Irrtum, der den wertenden Zusammenhang verschleiert“ (Berkemann, 2009, S. 13). Maßgeblich sind einerseits Gegebenheiten aufgrund der logarithmischen Skala, die die Interpretation verkomplizieren können und andererseits Wahrnehmungsaspekte die Lautstärke betreffend. Die wichtigsten Punkte beider werden nachfolgenden aufgezählt.

Als Ergebnis der logarithmischen Maßeinheit Schalldruckpegel sind folgende **Faustformeln** für das Verständnis der Pegeländerungen *in der Praxis* zu beachten (vergl.

<sup>10</sup> Berkemann, 2009, S. 13

Berkemann, 2009, S. 13 ff.):

- Durch die logarithmische Skala lässt sich ein größerer Wertebereich darstellen, die Werte verlieren dadurch ihre Linearität. Der Logarithmus für große Zahlen steigt viel langsamer als die Zahlen selbst, daher können die dB-Werte einen falschen Eindruck vermitteln und Differenzen nicht abgeschätzt werden. Es ergibt sich bei der **Verdoppelung oder Halbierung** der Verkehrsmenge (Quellenzahl) unter gleichen Bedingungen ein um **3 dB** erhöhter oder verringerter Pegel. Eine Verdoppelung der Geschwindigkeit ergibt einen Zuwachs von ungefähr 3 bis 4 dB (Popp, 2008). „Eine Steigerung um 5 dB(A) entspricht einer Verdreifachung der Verkehrsmenge.“ (Berkemann, 2009, S. 14)
- Bei der Addition zweier unkorrelierter Quellen gleicher Art und gleichen dB-Wertes kommt es zu einer Erhöhung um etwa 3 dB. (s.o.)
- In der Praxis nimmt der Schalldruckpegel bei einer **Abstandsverdopplung** im Nahbereich um etwa **3 dB**, im Fernbereich um etwa **4 dB ab**. (Popp, 2008)
- Im Gebäudeinneren vermindern sich die Außenpegel bei massiver Bauweise
  - „bei geöffnetem Fenster ... bis minus 10 dB(A)
  - bei gekipptem Fenster ... bis minus 15 dB(A)<sup>11</sup>
  - bei geschlossenem Einfachfenster ... minus 20 bis 25 dB(A).“ (Berkemann, 2009, S. 15)
- Das **Lautstärkeempfinden ist nichtlinear** und komplex **an die Frequenz gebunden** (Maute, 2006, S. 59):
  - Eine Differenz von 6 bis 10 dB (8 bis 10 lt. Berkemann, 2009, S. 14) entspricht einer Verdoppelung oder Halbierung der Lautheitsempfindung.
  - Die Schwelle der Wahrnehmbarkeit liegt bei etwa 1 bis 2 dB Pegeldifferenz. Sie kann für hohe und niedrige Frequenzen variieren.
  - Pegeländerungen von 6 dB sind deutlich wahrnehmbar.
  - Für eine konstante empfundene Lautheit ist ein höherer Schalldruckpegel bei niedrigen und hohen Frequenzen notwendig. Die A-Bewertung und die damit verbundene Einheit dB(A) berücksichtigt diesen Wahrnehmungseffekt.

Lärm ist ein psychosoziales Konzept, das sich anhand vieler Aspekte beschreiben lässt. In der zweidimensionalen Visualisierung können aber nur in sehr begrenztem Rahmen Parameter dargestellt werden. Ebenso ist der Mensch nur in der Lage eine gewisse Menge an Information zu verarbeiten. Lärmindizes und Dauerschallpegel stellen daher eine brauchbare Variante dar, um Sachverhalte quantitativ darzustellen. Dennoch vereinfachen sie ein komplexes Phänomen und stellen nicht das dar, was sich viele Nicht-Experten darunter vorstellen - für die Öffentlichkeitsbeteiligung ein wichtiger Punkt. Der Schalldruckpegel in dB stellt nicht, wie von vielen erwartet, die Lautstärke oder die empfundene Lautheit dar, die an einem Ort wahrgenommen wird. Zwar ist, physikalisch gesehen, ein höherer Schalldruckpegel lauter, zum

<sup>11</sup> Vgl. BVerwG, Urteil vom 5.3.1997 - II A 25.95 - BVerwGE 104, 123 = NVwZ 1998, 513 = DVBI 1997, 831; Urteil vom 23.4. 1997 - II A 17-96 - Buchholz 316 § 75 VwVfG Nr.13 = NVwZ 1998, 846.

Ausdruck der Lautstärke gibt es aber die Einheit *phon*. Der Lärmindex  $L_{den}$  ist aufgrund seiner Gewichtung eher ein Maß für die Belästigung durch jeweils eine Lärmquelle und hat infolgedessen wenig mit der *tatsächlich* empfundenen Lautheit an einem Ort zu tun.

Da Lärm stark ortsabhängig ist, kann eine geeignete kartografische Darstellung helfen, das Thema aufzubereiten; vor allem, wenn zusätzliche Information, in Text und Grafik, die oben genannten speziellen Gegebenheiten erläutert. Zur Darstellung der auf Lärm bezogenen Kennwerte ist die grafische Variable Farbe besonders geeignet, da Farben sehr assoziativ sind. Im Folgenden wird ein Überblick über Wahrnehmungsaspekte von Farben und Farben in der Kartografie gegeben, der die Grundlage für die Entwicklung eines Farbschemas bildet, um den Schalldruckpegel in Lärmkarten darzustellen.

# 4

## Theoretischer Hintergrund: Farben

### 4.1 Einführung

Der Begriff Farbe ist im Deutschen nicht eindeutig, er kann sowohl ein Färbemittel bezeichnen, als auch den Sinneseindruck umschreiben. Lübke (2012) definiert den Begriff nach der DIN 5033-7:1983-07: „Farbe ist diejenige Gesichtsempfindung, durch die sich zwei aneinandergrenzende, strukturlose Teile des Gesichtsfeldes bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge allein unterscheiden können. [Elektromagnetische] Strahlungen [im Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm], die durch unmittelbare Reizung der Netzhaut Farbempfindungen hervorrufen können, werden Farbreize genannt.“

In der Kartografie ist die Verwendung von Farben nicht nur, wie bei anderen Anwendungen, nach ästhetischen Gesichtspunkten zu betrachten, Farbe wird auch und vor allem zur Enkodierung von Daten verwendet und um Aspekte hervorzuheben (Wijffelaars et al., 2008) oder wie Tufte (1990, S. 81) die Anwendung am Beispiel einer Schweizer Gebirgskarte spezifiziert: „to label (colour as noun), to measure (color as quantity), to represent or imitate reality (color as representation), and to enliven or decorate (color as beauty).“

Der Hauptinhalt in Lärmkarten – die Schallimmission, z. B. als LärmindeX in 5-dB-Klassen - wird farbig dargestellt, die Verwendung von geeigneten Farben ist daher mitunter das wichtigste Kriterium für das intuitive, schnelle Verständnis der Lärmkarten. Laut Christ (1975) und Nowell et al. (2002) lässt sich quantitative Information sogar erfolgreicher anhand der Farbe kommunizieren als durch Form oder Größe. Diese Ergebnisse stehen in Widerspruch zu jenen von Cleveland und McGill (1983), die meinen, dass sich Größe noch besser als Farbe eignet. Der Unterschied in den Ergebnissen ist kritisch zu betrachten. Für genaue Aussagen müssten die Farben unter Berücksichtigung der drei wahrnehmbaren Farbparameter getes-

tet werden. Das sind Farbton, Sättigung und Helligkeit. Des Weiteren hängt die Eignung der Darstellung von der Anwendung und den Daten ab. Green und Horbach (1998, S. 170) nennen als Vorteile von Farben v. a., dass die logische Struktur der Inhalte besser wahrgenommen werden kann. Eine erfolgreiche Visualisierung erlaubt es, Wissen und Erkenntnisse über die Strukturen in den Daten (Bergman et al., 1995) und im geografischen Raum (Jones, 2010a) zu erhalten.

Entsprechend Harrower und Brewer (2003) ist es ein Fehler, für verschiedene thematische Karten grundsätzlich dasselbe Farbschema zu verwenden: „The colour specifications in ColorBrewer should never be treated as ironclad guarantees since colour reproduction (whether on screen or in print) is an inexact science“ (Harrower und Brewer, 2003, S. 33). Um bei der Kartennutzung Frustration, Verwirrung oder Falschaussagen zu vermeiden, sollte eine Anpassung des Farbschemas an die Klassenbreiten, sowie die Endnutzer Umgebung, Ausgabegeräte, die vorliegenden Daten („nature of data“: logarithmisch, qualitativ, sequentiell, divergierend) (Harrower und Brewer, 2003), aber auch die Verteilung der Daten (regelmäßige/unregelmäßige Verteilung, sowie grobe und feinkörnige Verteilung) erfolgen (vergl. Weninger, 2015). Nur Nutzerstudien geben darüber Auskunft, ob sich ein Entwurf auch tatsächlich für den Anwendungsfall eignet. Sie dienen zusätzlich dazu, Wahrnehmungsaspekte zu beleuchten, denn Farbe ist ein physischer Stimulus und Menschen reagieren darauf mit physiologischen *und* psychologischen Reaktionen. Somit müssen auch Wahrnehmungsaspekte und Farbwirkungen bei der Wahl eines Farbschemas berücksichtigt werden.

Das Ziel dieses Kapitels ist, die Grundlage für die Entwicklung eines Farbschemas zu schaffen. Dafür werden zuerst Grundlagen von Farbsystemen behandelt und danach diverse Wahrnehmungsaspekte, die die Karteninterpretation beeinflussen können. Diese zu kennen ist entscheidend, um ein gebrauchstaugliches Farbschema zu gestalten, das an den Anwendungsfall und die speziellen Anforderungen angepasst ist. Im letzten Teil des Kapitels werden relevante Arbeiten in der Kartografie genannt, auf die bei der Entwicklung des Farbschemas aufgebaut wurde.

## 4.2 Grundlagen der Farbsysteme

Seit der Physiker und Physiologe Hermann von Helmholtz, aufbauend auf Arbeiten von Thomas Young (1773-1829), zwischen 1856 und 1867 die „Dreifarbentheorie“, in der Literatur auch als Young-Helmholtz-Theorie bekannt, veröffentlichte, ist bestätigt, dass das menschliche Auge aufgrund des Baus der Netzhaut nur für drei Farben empfindlich ist: Rot, Blau und Grün. Aus diesen primären Spektralfarben werden durch additives Mischen alle anderen Farben erzeugt. Im 19. Jh. wurde von Ewald Hering in der sogenannten Gegenfarbtheorie begründet, dass es eine vierte Primärfarbe gibt: Gelb. Sie entsteht zwar nicht, wie die anderen drei Farben, durch Lichtreize auf der Netzhaut, denn es gibt nur drei Stäbchentypen, aber die neuronale Weiterleitung zum Gehirn erfolgt nach der Gegenfarbtheorie. Die grundsätzlich zu unterscheidenden psychologischen Attribute einer Farbe, der Farbton, die Helligkeit und die Sättigung, wurden ebenfalls von Helmholtz definiert und später z. B. auch von Albert H. Munsell (1858-1918) übernommen. Allerdings verwendet er anstatt dem Begriff Sättigung Chroma (Welsch und Liebmann, 2012), der auch heute generell in der Farbwissenschaft verwendet wird (Lübbe, 2012).

Farbtöne (auch Buntton, engl. hue) werden „durch Übergänge zwischen den Grundfarben charakterisiert“, zum Beispiel zwischen Rot und Blau; „die Sättigung [auch Chroma oder Buntheit, engl. saturation] ergibt sich aus dem Abstand des am

stärksten gereizten Rezeptors zu dem des am wenigsten gereizten“ bzw. beschreibt wie bunt eine Farbe im Vergleich zu einer ähnlich beleuchteten Farbe erscheint; „Helligkeit [engl. lightness] ist ein Maß für die Stärke der Gesamtenergie, die von den Zapfen umgesetzt wird. Ein dunkles Grün entsteht, wenn der Grünrezeptor nur zum Teil gereizt wird. Hellere Grüntöne gleicher Sättigung ergeben sich, wenn alle drei Zapfen gleichmäßig mehr Energie absorbieren“ (Homann, 2007, S. 20). Die absolute Helligkeit einer Farbe wird im Englischen als *Brightness* bezeichnet, im Deutschen fehlt dafür der Begriff (Lübbe, 2012).

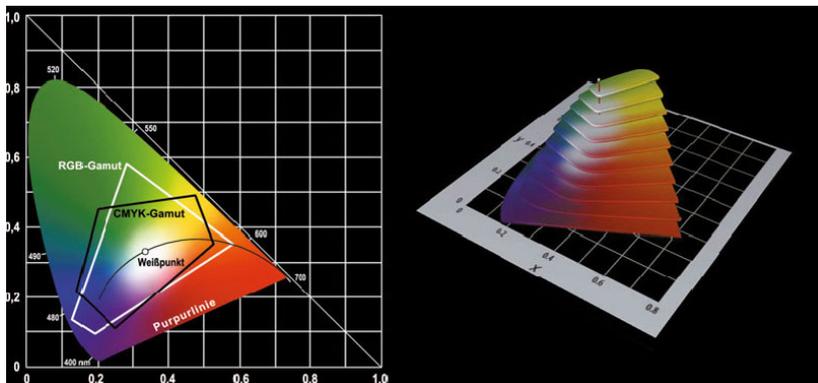
Es wird davon ausgegangen, dass das menschliche Auge mehrere Millionen Farben erkennen kann (Goldstein et al., 2008, Schumann und Müller, 2000), davon werden in einem Adaptionszustand, das ist die Anpassung an die jeweiligen Lichtverhältnisse, nur 300 Farbtöne und 100 bis 150 Helligkeitsstufen differenziert (Schumann und Müller, 2000). Daher umfassen bekannte Farbmuster, wie das *Munsell Book of Colors* oder die *Pantone*-Farbpalette auch „nur“ 1225 bzw. 1200 Farben und Abstufungen (Goldstein et al., 2008). Für die Kodierung von abstrakter Information führen laut Tuft (1990) allerdings mehr als 20-30 Farben zu negativen Resultaten.

Farbsysteme, oder -modelle, derer es seit Beginn der bewussten Auseinandersetzung mit Farben vor 2600 Jahren mehr als 60 (Welsch und Liebmann, 2012) bzw. 200 (Lübbe, 2012) gibt, ermöglichen die quantitative Beschreibung von Farben, die in einem systematischen Farbraum angeordnet sind. Einen ausführlichen geschichtlichen Überblick von Farbordnungssystemen beginnend mit jenem von Aristoteles 330 v. Ch. geben Kuehni und Schwarz (2008). Sie teilen diese u. a. in psychologische, psychophysikalische und neurobiologische, physikalische und technische Systeme ein.

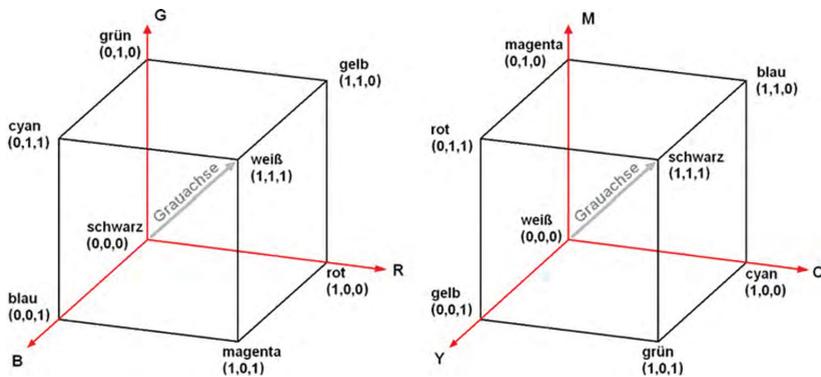
Farbordnungssysteme ordnen die Farben in verschiedene dreidimensionale Räume und sind nicht deckungsgleich (Abb. 4.1), weshalb es bei der Umwandlung von Farben in andere Farbräume zu Verlusten kommen kann. Des Weiteren sind die Farbabstände durch das Einzwängen der Farben in ein geometrisches Gerüst zumeist verzerrt (Welsch und Liebmann, 2012).

Generell wird zwischen additiven und subtraktiven Farbmischungen unterschieden. Erstere funktionieren durch die Mischung der drei wahrgenommen farbigen Lichtquellen und sind die Grundlage der Computergrafik. In dieser trichromatischen Theorie wird jede Farbe als Summe der drei Kunstfarben, Rot, Grün und Blau (RGB) mit den Wellenlängen 700, 546,2 und 435,8 nm, dargestellt. Diese sind den Ecken eines Dreiecks zugeordnet; bei Darstellung aller Farben ergibt sich ein Würfel (Abb. 4.2). Die Helligkeit eines Punktes wird durch die Anzahl der Farbanteile bestimmt, desto mehr Farbanteile hinzu gemischt werden, desto heller erscheint der Punkt. Alle drei Farben im gleichen Verhältnis gemischt, ergeben die Farbe Weiß (Schiele, 2012). Umgekehrt wird bei der subtraktiven Mischung die Änderung des Farbrees beim Durchgang durch einen von drei Filtern in den Primärfarben Cyan, Magenta, Yellow (CMY) definiert (Abb. 4.2), die jeweils einen Teil des Spektrums filtern. Beim Vierfarbendruck wird dieser Filter durch ein Raster mit unterschiedlicher Flächendeckung ersetzt und zusätzlich zu den Primärfarben noch Schwarz als vierte Farbe verwendet, da sich dunkle Mischfarben durch das Zusammenmischen großer Anteile der Grundfarben ergeben, durch Verunreinigungen aber kein tiefes Schwarz entsteht. Aus CMY wird dadurch CMYK mit *K* für *key*.

Diese beiden Mischungen stellen jedoch *ideale* Farben dar, die *tatsächliche* Wahrnehmungsfähigkeit des Auges weicht von diesem Idealmodell ab. Da das Empfindlichkeitsmaximum der Zapfen, die für die Farbwahrnehmung des Auges verantwortlich sind, nach außen hin abnimmt, ist das wahrgenommene Spektrum wesentlich schmaler als in den zuvor beschriebenen Modellen (siehe Abb. 4.3). Grundfarben werden daher am Monitor gesättigter wahrgenommen als gedruckt. Auch wird vom



**Abbildung 4.1:** Das genormte CIE-XYZ Farbsystem, auch CIE-Normfarbsystem, CIE-Normvalenzsystem, Tristimulussystem oder „Farbsohle“ genannt, zeigt, dass das RGB- und das CMYK-Gamut nicht alle wahrnehmbaren Bereiche abdecken. Alle Farben außerhalb der beiden Modelle können mit technischen Farbwiedergabegeräten nicht dargestellt werden und werden daher als virtuelle Farben bezeichnet. Rechts zeigt der Farbenberg Röschs die 3. Dimension der Farbsohle, d. h. alle realisierbaren Körperfarben (Welsch und Liebmann, 2012, S. 122).

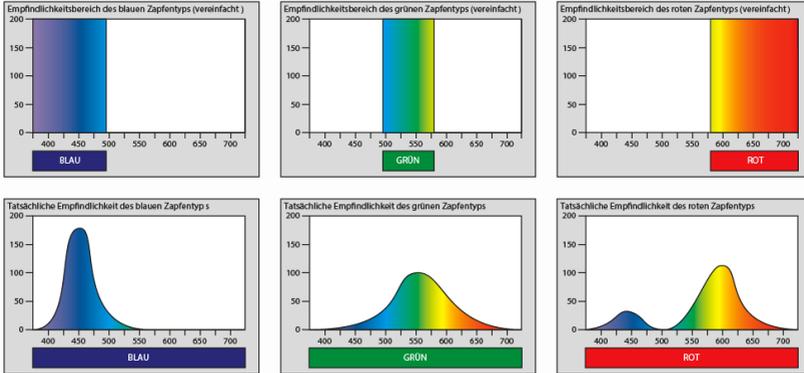


**Abbildung 4.2:** Farbwürfel für das RGB-Farbmodell mit dem Ursprung bei schwarz (0,0,0) (links) und das CMY-Farbmodell mit dem Ursprung bei weiß (1,1,1) (rechts) (Schiele, 2012, S. 32-33).

Auge der grüne Bereich des Spektrums heller wahrgenommen als der rote und der blaue (Homann, 2007).

Des Weiteren ist die Vielfalt an RGB-Farben mit unseren Geräten nicht darstellbar, der Gamut<sup>1</sup> handelsüblicher Monitore, d. h. die Menge aller mit einem Gerät

<sup>1</sup> Als Gamut bezeichnet man die Menge an Farben, die ein Gerät darstellen kann.



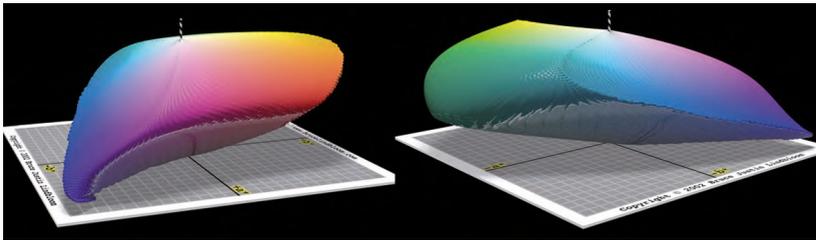
**Abbildung 4.3:** „Die Gegenüberstellung zeigt, wie stark die Empfindungsbereiche des vereinfachten Zapfenmodells [oben] von der tatsächlichen Wahrnehmungsfähigkeit des Auges [unten] abweichen“ (Homann, 2007, S. 36).

darstellbaren Farben, ist kleiner als der RGB-Farbraum (Abb. 4.1). Jedes Gerät hat folglich seinen eigenen Geräte-RGB-Farbraum. Weitere Effekte in der Darstellung am Bildschirm ergeben sich dadurch, dass die Helligkeit der Bildschirmpixel nicht proportional zu den angegebenen Farbwerten ist. Ein Grau mit 50 Prozent Helligkeit wird daher am Bildschirm dunkler und nicht als Grau mit 50 Prozent Helligkeit dargestellt (Schiele, 2012).

Farben werden vom Menschen nicht, wie durch diese Farbsysteme abgebildet, als Mischung von Rot, Grün und Blau wahrgenommen. Die wahrnehmbaren visuellen Dimensionen sind der Farbton, die Sättigung und die Helligkeit. Farbmodelle, die diese Dimensionen zur Beschreibung von Farben verwenden, sind beispielsweise das HSV-Modell mit den Primärkomponenten Farbton (Hue), Sättigung (Saturation) und Intensität (Value) und das HSL-Modell mit der Komponente Helligkeit (Lightness) anstatt Intensität. Das Wissen um die drei Komponenten wird von Harrower und Brewer (2003) und Brewer (2005) als notwendig zur Erstellung und Manipulation von Farbschemen betrachtet. Dennoch gehen auch diese Farbräume aus einer Polarkoordinatentransformation des RGB-Farbraums hervor und bringen dadurch genannte Nachteile mit sich.

Als Alternative zu den beiden dreiwertigen Farbmischungen und den daraus resultierenden und abgeleiteten Farbräumen, RGB und CMY, sowie HSV und HSL, wurde 1931 die erste Version des CIE-Normfarbsystems, das auf den Normalspektralwertfunktionen basiert, veröffentlicht und später angepasst. Es zeigt die Primärvalenzen für ein 10°-Gesichtsfeld, wobei eine „Farbvalenz die Wirkung eines Farbreizes auf die Reizzentren im menschlichen Auge beschreibt“ (Lübbe, 2012, S. 25) und ist heute die Grundlage der Farbwissenschaft. Abgebildet wird der gekrümmte, nicht geschlossene Spektralfarbenzug, der an der offenen Seite durch eine Verbindungsgerade, der Purpurgerade zwischen Blau und Rot geschlossen wird (Abb. 4.1) (Lübbe, 2012). Darauf werden Farben dargestellt, die nicht im Lichtspektrum enthalten sind, z. B. Magenta. Das CIE-Modell ist das erste mathematisch korrekte, wahrnehmungsorientierte Modell und enthält die Farborte aller reellen Farben.

Nachdem die Farben darin jedoch nicht gleichabständig angeordnet sind, wurde der  $L^*a^*b$ -Farbraum darauf aufbauend entwickelt. Er vereint die Heringschen Gegenfarbpaare (Rot/Grün, Blau/Gelb) und die empfindungsgemäß nahezu gleichabständige Farbeinteilung nach Munsell, das dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen entspricht. Das Modell besteht aus einer senkrecht verlaufenden Hell-Dunkelachse  $L$  (0= schwarz, 100=weiß) und zwei horizontal verlaufenden, als rechtwinkeliges Kreuz angeordneten Achsen mit den Gegenfarbpaaren Grün ( $-a$ ) und Karminrot ( $+a$ ), sowie Gelb ( $+b$ ) und Blau ( $-b$ ) (Abb. 4.4). Die Lage einer Farbe wird anhand der Koordinaten  $L$ ,  $a$  und  $b$  bestimmt, die die Farbanteile sowie die Helligkeit beschreiben. Gleichabständig bedeutet, dass die euklidischen Abstände zwischen Farben wahrgenommenen Farbabständen entsprechen. Der Farbkörper ist daher ungleichmäßig, anders als z. B. beim RGB-Würfel. Grün und Gelb können deshalb mit Werten bis 150 definiert werde, Rot und Blau nur mit Werten bis 100. Das  $L^*a^*b$ -System ist geräteunabhängig, d. h. die Farben werden unabhängig der Wiedergabetechnik definiert. Es ist daher der Referenzfarbraum für Farbmanagement<sup>2</sup> (Welsch und Liebmann, 2012), bewährt sich aber für die praktische Arbeit nicht so sehr wie der nachfolgend beschriebene Munsell Farbraum, denn in diesem lassen sich Farben anhand der drei wahrnehmbaren Farbparameter definieren.

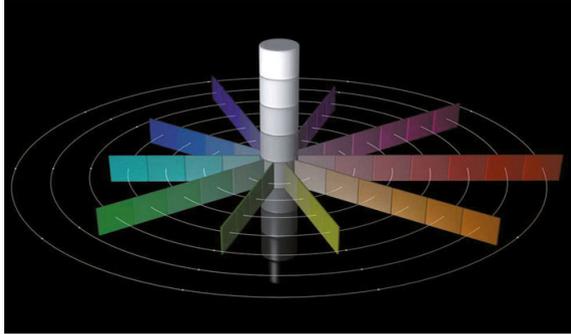


**Abbildung 4.4:** Der unsymmetrische dreidimensionale  $L^*a^*b$ -Farbraum, links Draufsicht auf die Pupurlinie, rechts der grüne und blaue Bereich der Spektralkurve (© Bruce Justin Lindbloom).

Das dreidimensionale Farbmodell des amerikanischen Malers Albert H. Munsell ist ebenso annähernd gleichabständig und psychologisch ausgerichtet (Munsell, 1905). Sein Farbraum, der in 10 Hauptfarben unterteilt ist, beschreibt die drei Farbeigenschaften Farbton (*hue*), Helligkeit (*value*) und Sättigung (*chroma*). Die Helligkeit wird dabei durch die vertikale Achse definiert, die Farbtöne sind horizontal um diese Achse angeordnet und die Sättigung wird ausgehend von einem neutralen Grau in der Mitte der vertikalen Achse auf einer Linie nach außen hin beschrieben (Abb. 4.5). Die 10 Farben können in die fünf Hauptbunttöne Rot (R), Gelb

<sup>2</sup> Softwarepakete konvertieren Farben mit unterschiedlichen Algorithmen in die jeweiligen Systeme (Harrower und Brewer, 2003). Daher ist für die verlustfreie Transformation ein konsequentes Colormanagement nötig. Colormanagement beschäftigt sich mit Farbkorrektur und der Aufgabe die Gamuts verschiedener Geräte möglichst verlustfrei aufeinander abzubilden. Dieses sogenannte Gamut-Mapping erfolgt anhand von Farbprofilen, die es ermöglichen Geräte-Farbräume umzurechnen (Schiele, 2012). Dafür sind die Farben des Arbeitsfarbraumes RGB oder CMYK entsprechend Standards des *International Color Consortium* (ICC), die festlegen, wie Farbprofile aufgebaut sein müssen, mit Lab-Farbwerten verknüpft. Des Weiteren muss der Rechenprozess ein Farbwiedergabeziel (Rendering Intent) enthalten, das bestimmt, ob eine farbmetrische Übereinstimmung, eine empfindungsmäßige Übereinstimmung oder eine sättigungsoptimierte Darstellung im Vordergrund steht. Dementsprechend wird die Transformationsart gewählt (Lübbe, 2012).

(Y), Grün (G), Blau (B) und Purpur (P) und in die fünf Zwischenbunttöne Gelb-Rot (YR), Grün-Gelb (GY), Blau-Grün (BG), Purpur-Blau (PB) und Rot-Purpur (RP) eingeteilt werden. Harmonie und Gleichabständigkeit erreichte er durch psychovisuelle Experimente. Das System wird auch als uniform bezeichnet, da sich die Änderung eines der drei Parameter nicht auf die beiden anderen Parameter auswirkt (Munsell, 1905). Das hat sich bei der praktischen Erstellung des alternativen Schemas als sehr praktikabel herausgestellt, da so ein systematisches Vorgehen und Verändern der einzelnen Parameter möglich war.



**Abbildung 4.5:** Das visuell gleichabständige Munsell Farbsystem beschreibt eine Farbe anhand der drei Parameter Farbton, Helligkeit und Sättigung (Welsch und Liebmann, 2012, S. 121).

Entscheidend für die Auswahl eines Farbsystems sind oftmals die praktischen Möglichkeiten. So sind bei Bearbeitung in *Adobe Illustrator* beispielsweise nur der RGB- und der CMYK Dokumentenmodus möglich. Lab-Farben können bei der Definition eines Farbfeldes zwar angegeben werden, werden dann bei Prozessfarben aber entsprechend des Dokumentenfarbmodus angepasst. Volltonfarben hingegen können mit Lab-Werten angegeben werden. Diese Einstellung empfiehlt Adobe (2013), da die Kombination mit Geräteprofilen dann die genaueste Ausgabe auf allen Geräten bewirkt. Zu beachten ist bei der Angabe von Lab-Werten jedoch, dass sowohl der RGB als auch der CMYK Farbraum wesentlich kleiner ist als der Lab-Raum (siehe Abb. 4.1) und deshalb definierte Werte entsprechend umgewandelt werden. In dieser Arbeit fiel die Wahl auf den Munsell Farbraum, da es für die zielgerichtete Erstellung des Farbschemas entsprechend der Anforderungen wichtig war, die Farbparameter getrennt voneinander zu definieren.

## 4.3 Wahrnehmungsaspekte

### 4.3.1 Die Effekte von perzeptuellen Farbparametern

„Farbe ist eine Empfindung, die in hohem Maße von der Umgebung und vom Kontext abhängt“ (Schumann und Müller, 2000, S. 85), daher können die drei perzeptuellen Farbparameter Farbton, Sättigung und Helligkeit Einfluss auf die Objektwahrnehmung oder Emotionen nehmen, wie nachfolgend beschrieben.

#### 4.3.1.1 Der Effekt auf und durch die Objektgröße

Schumann und Müller (2000) beschreiben, wie die Reinheit einer wahrgenommenen Farbe auch von der Größe des Objektes, das in dieser Farbe dargestellt wird, abhängt. Ein kleines Objekt in einer gesättigten Farbe soll auf schwarzem Hintergrund intensiver wirken, als ein größeres Objekt gleicher Farbe. Der physische Grund dafür ist, dass größere Objekte auf der Netzhaut auch größere Teile außerhalb der Fovea<sup>3</sup> abdecken und sich das Verhältnis von Zapfen und Stäbchen verschiebt. Umgekehrt nimmt die Farbe eines Objektes auch Einfluss auf dessen Größe, was als Irradiations-Effekt bezeichnet wird. Helle Flächen wirken durch eine „stärkere Stimulierung der retinalen Zellen durch die höhere Lichtreflexion größer“ (Schumann und Müller, 2000, S. 85). Carr Payne (1964) bestätigt, dass die Helligkeit den größten Einfluss auf die Wahrnehmung der Größe hat. Daher sollten Farben gleicher Helligkeit verwendet werden, wenn die Größe von Flächen wichtig zur Interpretation ist.

Cleveland und McGill (1983) führten Experimente über farbenbasierte optische Täuschungen durch und evaluierten den Effekt der Farben auf die Wahrnehmung der Objektgröße. Sie verglichen dafür Karten in hellen Farben (Hellgelb und Hellgrün) mit Karten in kräftigen Farben (Rot und Dunkelgrün). Unklar ist ihre Motivation genau diese Farben zu testen. Das Ergebnis zeigte, dass der Staat Nevada in Rot größer eingeschätzt wurde als bei Darstellung in Dunkelgrün. 49 Prozent der Teilnehmer waren dieser Meinung, während 22 Prozent meinten der grüne Staat wäre größer und 31 Prozent davon ausgingen, dass beide Abbildungen die gleiche Größe hätten. Beim Vergleich von weniger gesättigten, helleren Farben konnten keine Effekte dieser Art gemacht werden.

Dieses Beispiel zeigt, dass es Effekte geben kann, jedoch sind Ergebnisse nicht immer auf die Kartografie übertragbar. Einerseits werden großteils die Farbcodes nicht angeführt, d. h. es ist anhand der Abbildungen und Beschreibungen nicht nachvollziehbar, welcher Farbparameter das Ergebnis ausmacht, und eine klassisch psychologische Testumgebung ist mit der Anwendung in der Kartografie nicht vergleichbar. Schon alleine deshalb nicht, da es in den Karten andere farbige Elemente gibt, die die Wahrnehmung beeinflussen können.

<sup>3</sup> Die Fovea centralis, oder Sehgrube, ist eine kleine Einbuchtung auf der Netzhaut und der Bereich des schärfsten Sehens.

#### 4.3.1.2 Die emotionale Komponente

Farben wird generell eine emotionale Semantik nachgesagt, diverse Arbeiten haben sich damit beschäftigt (z. B. Valdez und Mehrabian, 1994; Heller, 2000). Das liegt mitunter daran, dass im Alltag diverse Sinneseindrücke mit Ereignissen, Erfahrungen und Phänomenen verbunden werden. Jeder Sinneseindruck sehender Menschen enthält Farbinformation, dabei scheint v. a. der Farbton einen Einfluss auf die affektive Wahrnehmung zu haben. Heller (2000) beschreibt dabei den Farbklang, da jeder Farbe viele, zum Teil widersprüchliche Wirkungen zugeordnet werden, die mitunter vom Kontext abhängig sind. Die Farbe Rot ist als Warnsignal bekannt, übt aber auch kontextunabhängige Effekte auf Kognition und Verhalten aus (Elliot und Maier, 2007). Fischer (2012) stellte in einer psychologischen Studie mit Erwachsenen zur emotionalen Semantik von Farben und Tönen fest, dass sich speziell Rot und Grün unterscheiden. Rot wird vorrangig, wenn auch nicht nur, negativ besetzt, Grün wurde ausschließlich positiv konnotiert. Gelb und Blau zeigten keine auffälligen Unterschiede. Andere Arbeiten besagen, dass Rot und Gelb stimulierend und unangenehm wahrgenommen werden, während Grün und Blau als beruhigend und angenehm empfunden werden (Elliot und Maier, 2007, nach Goldstein, 1942), diese Annahmen wurden in der ersten Nutzerstudie (Kap. 7.2) in die Hypothesen 3 und 4 übernommen. Die positive Wahrnehmung von Grün hat mit der Assoziation mit der Natur zu tun (Hemphill, 1996). Spätere Erkenntnisse gehen davon aus, dass Farben mit längerer Wellenlänge, wie Rot, aufbrausend wirken und Farben mit kürzeren Wellenlängen, wie Grün, beruhigend (Elliot und Maier, 2007, nach Goldstein, 1942). Aber auch die Helligkeit scheint sich auf die Emotionen auszuwirken: helle Farben werden mit positiven und dunkle Farben eher mit negativen Emotionen verbunden (Hemphill, 1996).

Eine umfassende Studie zum Einfluss einzelner Farbparameter zeigte den Effekt von 10 Farben des Munsell-Systems auf das *PAD Emotional Model* (Russell und Mehrabian, 1977, zitiert in Valdez und Mehrabian, 1994). Anhand des PAD Modells, wurden Einflüsse auf die drei Dimensionen „Wohlgefallen“ („Pleasure“), „Aktivierung“ („Arousal“) und „Dominanz“ („Dominance“) untersucht. Ein positiver Zusammenhang konnte zwischen „Wohlgefallen“ und Helligkeit sowie Sättigung gefunden werden. Ein negativer Zusammenhang wurde zwischen „Aktivierung“ und „Dominanz“ mit Helligkeit festgestellt, beide korrelieren aber positiv mit Sättigung. Die Effekte des Farbtons fielen geringer aus als die Effekte von Helligkeit und Sättigung, dennoch zeigte der Farbton einen signifikanten Einfluss.

Während Farbe und ihre Effekte auf Emotionen in der Psychologie bereits ausführlich behandelt wurde, wurde das Thema in der Kartografie eher vernachlässigt. Erst in der letzten Zeit findet das Thema Emotionen allgemein in der Kartografie Einzug (z. B. Griffin und McQuoid, 2012, Klettner et al., 2013), obwohl eines von fünf Prinzipien der *Society of British Cartographers* für gutes Kartendesign bereits 1996 lautete: „Engage the emotion to engage the understanding“ (nach Jones, 2010a). Fabrikant et al. (2012), zum Beispiel, präsentieren ein Framework zur Untersuchung von emotionalen Reaktionen verursacht durch Display Design und beschreiben damit die emotionale Komponente bei der Entscheidungsfindung mit Hilfe räumlicher Darstellungen. In einem Experiment mit vier Teilnehmern, einer Art Pre-Test um das Vorgehen zu bestätigen, wurden menschliche Gefühlsregungen auf eine topografische Karte in verschiedenen Farbschemen untersucht. Die Farbschemen entstammen einer Arbeit von Christophe (2011) und wurden aus Gemälden bekannter Künstler extrahiert. Die Ergebnisse zeigten, dass das Ranking nach Attraktivität und das Ranking nach emotionalen Reaktionen stark unterschiedlich

ausfielen. Am attraktivsten wurden Schemen empfunden, die an klassische Schemen erinnern, z. B. mit blauen Gewässern. Die stärksten emotionalen Reaktionen, gemessen am Hautwiderstand zeigten die Schemen mit hohem Kontrast in denen Gewässer in kräftigen komplett unübliche Farben (Orange, Pink, Braun) dargestellt wurden, d. h. die Reaktion wurde vor allem durch den knalligen Farbton und die ungewöhnliche Anwendung hervorgerufen. Durch weitere Analysen konnte die emotionale Reaktion, gemessen am Hautwiderstand als eher negativ eingestuft werden. Diese ersten Ergebnisse, die sehr heterogen sind, geben deutliche Hinweise darauf, dass die Methode geeignet ist, um ästhetische Effekte zu untersuchen und um Einblicke zu bekommen, wieso manche Schemen zu Vertrauen und Sympathie führen und manche nicht.

Mit Vertrauen, verursacht durch verschiedene Web-GIS Attribute, haben sich Skarlatidou et al. (2011) auseinandergesetzt. Sie untersuchten den Effekt, den vier Brewer-Schemen (sequentiell: blau, grün, orange, rot) und ein eigenes qualitatives Schema auf die Emotionen von Nutzern haben. Die Nutzer sollten in einer Onlinestudie die emotionale Reaktion einer Karte in den genannten Farbschemen nach einer Likert-Skala bewerten. Die Emotionen, die es zu bewerten gab wurden nach Plutchik (1980) gewählt. Um eine Beeinflussung durch das Kartenthema zu vermeiden wurden die Kartentitel nicht gezeigt. Die Ergebnisse zeigten, dass Vertrauen unter allen Emotionen die stärkste emotionale Reaktion auf die Karten war. Vor allem eine Karte mit einem qualitativen Farbschema in Rot, Blau und Grün rief Vertrauen hervor, weil die Farben einfach zu unterscheiden waren, allerdings mochten nur sechs Teilnehmer die Karte, während neun sie nicht mochten. Eine Karte in einem sequentiellen blauen Schema wurde sehr gemocht, die emotionalen Reaktionen darauf waren am zweitstärksten und somit stärker als auf die rote und grüne Karte. Die orange Karte zeigte die geringsten emotionalen Reaktion und das geringste Vertrauen.

#### 4.3.1.3 Farbsymbolik

„Farben sind seit alters her Symbole für Begriffe, Empfindungen und Vorstellungen. Farbiges Gestalten dient dem Menschen [...] als Ausdrucksmittel seiner Gedanken, ähnlich wie die Sprache und die Schrift“ (Imhof, 1965, S. 84). Die Farben in Karten werden weitgehend nach Konventionen und somit bewusst als Symbol verwendet. So wird in topografischen Karten Tiefland grün, die Wüste gelb bis braun dargestellt, oder in thematischen Karten kalte Regionen in blauen und warme Regionen in roten Tönen.

Ausführliche Arbeiten zum Thema Farbsymbolik, Farbpsychologie, Farbwirkungen und Lieblingsfarben wurden z. B. von Thurn (2007), Heller (2000) und Welsch und Liebmann (2012) veröffentlicht. Ihre Betrachtung richtet sich aber auf keinen speziellen Anwendungsfall, daher sind die Ergebnisse wenig überraschend und kaum verwendbar für die Kartografie. Die Beeinflussung der Interpretation durch Farben entsteht mitunter durch eine „Top-down-Verarbeitung“ beim Farbensehen (Fischer, 2012, S. 9). Das heißt, dass höhere Verarbeitungsebenen die perzeptuelle Wahrnehmung beeinflussen und dass Nutzer durch ihr Wissen in ihrem Farburteil beeinflusst werden. In einer Studie mit 60 männlichen Studenten konnten Delk und Fillenbaum (1965) nachweisen, dass Schablonen von Objekten, die normalerweise mit Rot assoziiert werden, wie Äpfel, ein Herz und Lippen, tatsächlich roter wahrgenommen werden als Vergleichsobjekte, wie verschiedene geometrische Formen, eine Glocke, ein Pilz, auch wenn sie alle aus demselben orangem Karton sind. Umfangreiche Betrachtungen der Farbsymbolik, die Farben im Kontext der Kartografie betrachten,

wurde bisher nicht gefunden.

## 4.3.2 In der Kartografie relevante Farbempfindungen

### 4.3.2.1 Farbkontrast

Itten (1987, S. 33) spricht von Kontrast, wenn „zwischen zwei zu vergleichenden Farbenwirkungen deutliche Unterschiede oder Intervalle festzustellen sind“. Er beschreibt, dass unsere Sinnesorgane vor allem durch den Vergleich Wahrnehmungen machen. Ein effektiver Farbkontrast ist vor allem für Menschen mit genetischer oder altersbedingter Farbenfehlsichtigkeit ausschlaggebend für die Unterscheidbarkeit der verwendeten Farben.

Grundsätzliche Regeln zur Verwendung von Farben in digitalen Medien wurden in den „Web Content Accessibility Guidelines“ (WCAG) des *World Wide Web Consortiums* (W3C) definiert. Sie beschreiben v. a. Richtlinien zur Kontraststeigerung von Text und Hintergrund, diese lassen sich auch in Karten anwenden, aber als Grundlage für den Entwurf von Farbschemen eignen sie sich kaum, denn die Kontraste in Farbschemen gestalten sich weitaus komplexer als der Kontrast zwischen Text und Hintergrund. Durch die Verwendung von Kontrastfarben können Farbwirkungen gesteigert oder geschwächt werden. Kontrast ist in der Kartografie ein wichtiges Gestaltungsmittel. Itten (1987) unterscheidet zwischen sieben unterschiedlichen Kontrastwirkungen:

- Der **Farbe-an-sich-Kontrast** ist der Kontrast zwischen verschiedenen Farbtönen. Er ist stärker bei den Farben erster Ordnung (Rot, Blau, Gelb) als bei den Farben zweiter Ordnung (Orange, Grün, Violett) und anderen Mischfarben. In der Kartografie wird der Farbe-an-sich-Kontrast zur Darstellung qualitativer Informationen verwendet, gemischt mit dem Hell-Dunkel- und Qualitäts-Kontrast begrenzt auch in sequentiellen Skalen.
- Der **Hell-Dunkel-Kontrast** wird in der Kartografie vor allem in sequentiellen Skalen verwendet, wenn durch einen nach Helligkeit abgestuften Farbton Quantitäten angegeben werden. In der Regel repräsentieren dabei dunklere Farben, umgangssprachlich „viel Farbe“, eine größere Anzahl des repräsentierten Wertes. Christen et al. (2013) zitieren Lakoff und Johnson (1980), der beschreibt, dass Menschen aufgrund praktischer Erfahrungen instinktiv korrekt annehmen, dass höher und auch größer mehr bedeutet. Daraus leiten Christen et al. ab, dass die kartografische Konvention „dunkler ist mehr“ der Intuition der Menschen folgt. Um die Unterscheidbarkeit von Farbpaaren im Hinblick auf die Identifizierung der dunkleren Farbe zu untersuchen, führte Albers (1970) einen Test durch und fand heraus, dass 60 Prozent der Teilnehmer, bestehend aus fortgeschrittenen Studenten der Malerei, nicht in der Lage waren, die dunklere Farbe zu bestimmen. Werden helle und dunkle Farben in einer Abfolge präsentiert, kann sich der Effekt von *Machschen Streifen* einstellen (siehe Kap. 4.3.2.5), was wiederum die Unterscheidbarkeit und Zuordnung zur Legende erschwert.
- Der **Kalt-Warm-Kontrast** wird in der Kartografie besonders zur Darstellung von bipolaren Skalen verwendet. Es findet hierbei eine starke semantische Verknüpfung der Information statt, d. h. warme Farben präsentieren Zu- und kalte Farben Abnahmen. In Infografiken wird diese Konvention mitunter verändert, warme Signalfarben, wie Rot, werden zur Repräsentation einer Gefahr

verwendet, d. h. bedeutet eine Abnahme eine Gefahr, wird diese mit warmen Farben dargestellt.

- „Zwei pigmentäre Farben, die zusammengemischt [...] Grauschwarz ergeben“, oder „zwei farbige Lichter, die miteinander gemischt weißes Licht ergeben“, werden als komplementäre Farben bezeichnet (Itten, 1987, S. 49). Der **Komplementär-Kontrast** besteht folglich zwischen Gelb/Violett, Gelborange/Blauviolett, Orange/Blau, Rotorange/Blaugrün, Rot/Grün und Rotviolett/Gelbgrün (Abb. 4.6). In jedem dieser Paare sind die drei pigmentären Grundfarben Blau, Gelb, Rot enthalten. Das Besondere am Komplementär-Kontrast ist, dass er „versteckte“ Farbtöne zum Vorschein bringt und dadurch „farbtonverstärkend“ wirkt. So verschieben sich zwei ähnliche Blautöne nebeneinander betrachtet in Richtung von zwei Komplementärfarben. Auch diese Kontrastpaare werden zur Repräsentation von bipolaren Skalen verwendet. Die „Farbverschiebungen“ können wiederum Effekte auf die Unterscheidbarkeit haben.

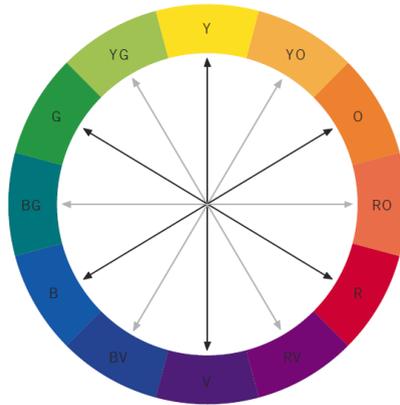


Abbildung 4.6: Komplementärfarben sind im Farbkreis gegenüber angeordnet (Holtzschue, 2011, S. 77).

- Der **Simultan-Kontrast** ist ein besonderer Kontrast, dem in der Kartografie nur schwer zu entgegnen ist. Beschrieben wird er in Kapitel 4.3.2.2.
- Itten (1987) versteht unter Farbqualität den Reinheits- und Sättigungsgrad der Farben, ein **Qualitäts-Kontrast** entsteht daher zwischen gesättigten und ungesättigten Farben. In der Kartografie gibt es Ansätze z. B. die Qualität geografischer Information anhand dieses Kontrasts darzustellen - verschmutzte, unreine Farben bedeuten dabei z. B. eine höhere Unsicherheit (Buttenfeld, 1991, zitiert in MacEachren et al., 2005).
- Ittens **Quantitäts-Kontrast** beschreibt das Größenverhältnis zweier Objekte. Der Kontrast besteht, wenn es von einem Objekt viel und von einem anderen wenig gibt, oder wenn die dargestellten Objekte sich stark in ihrer Größe unterscheiden. Itten (1987) schlägt daher vor, die Farben nur in harmonischen Mengen zu verwenden (Tab. 4.1). Um diese zu bestimmen, bedient er

sich Goethes Lichtwerten, die die Leuchtwerte der einzelnen Farben im Verhältnis zueinander beschreiben. Auch Ihaka (2003) meint: „The intensity of colour which should be used is dependent on the area that that colour is to occupy“.

**Tabelle 4.1:** Nach Itten entsteht eine harmonische Komposition, wenn Farben in bestimmten Verhältnissen verwendet werden. Gelb und Blau sollten infolgedessen im Verhältnis 9:4 verwendet werden (1987).

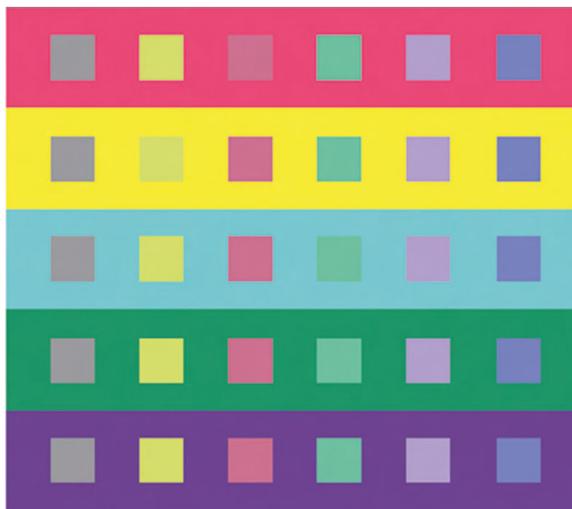
Gelb	:	Orange	:	Rot	:	Violett	:	Blau	:	Grün
9	:	8	:	6	:	3	:	4	:	6

Wird eine Karte mit qualitativem Schema erstellt, lässt sich das berücksichtigen, aber bei der Erstellung eines Schemas, das für beliebige Karten eines Themenbereichs angewendet werden soll, ist es schwer möglich, das Verhältnis der Farben zu bestimmen, da meistens nicht absehbar ist, in welchem Verhältnis die Objekte, die den Sachverhalt beschreiben, auftreten. Allgemein bedeutet das, dass die *spatial frequency* bei der Wahl der Farben berücksichtigt werden sollte.

#### 4.3.2.2 Simultankontrast

Phänomene, die bei gleichzeitiger Betrachtung von benachbarten Farbflächen auftreten, werden als Simultankontrast (Lübbe, 2012) oder chromatische Induktion (Schumann und Müller, 2000) zusammengefasst. Für die Kartografie ist dieser Effekt sehr wichtig und wurde z. B. von Brewer (1992) beschrieben. Um unsere Wahrnehmung zu verbessern, wirkt aufgrund einer automatischen Kontrastverstärkung, eine helle Fläche umgeben von einer hellen Fläche dunkler und gesättigter und umgeben von einer dunklen Fläche heller. Jedoch nicht nur die Helligkeit wird beeinflusst, es gibt auch Effekte auf den Farbton und die Sättigung, d. h. verschiedene Kontrastwirkungen treten gemeinsam auf: „Vor farbigen Hintergründen wird die Infeldfarbe in Richtung der Gegenfarbe des Hintergrundes [der Komplementärfarbe] verschoben“ (Lübbe, 2012, S. 49) (Abb. 4.7). In grauem (achromatischem) Umfeld und in einem Umfeld in der Komplementärfarbe erscheinen folglich alle Farben eher gesättigt. Eine komplette Formalisierung des Effekts ist noch nicht möglich, aber die Veränderung der Helligkeit der innenliegenden Fläche kann mathematisch ausgedrückt werden, dabei spielt die Größe der Fläche kaum eine Rolle, lediglich die beiden Helligkeiten von Umfeld und Infeld (Lübbe, 2012).

In der Kartografie ist dieses Phänomen v. a. problematisch, da es eine Zuordnung zur Legende erschweren kann. Die Felder einer Choroplethenkarte können eventuell unterschieden werden, aber Farbton, Helligkeit und Sättigung wirken durch die umliegenden Flächen verändert, sodass bei sequentiellen Skalen eine Zuordnung zur Legende teilweise nur vage möglich wird. Robinson et al. (1995) empfehlen daher, keine ähnlichen Farbtöne zur Darstellung zu verwenden. Brewer (1992, S. 32) sagt: „the more complex the spatial pattern of the maps, the harder it will be to distinguish slightly different colours.“ Daher gibt es auf *ColorBrewer.org* eine sogenannte „diagnostic map“, wo die Farben in einer Choroplethenkarte in sämtlichen In- und Umfeld Kombinationen angewendet werden um verschiedene Szenarien zu simulieren (Harrower und Brewer, 2003).

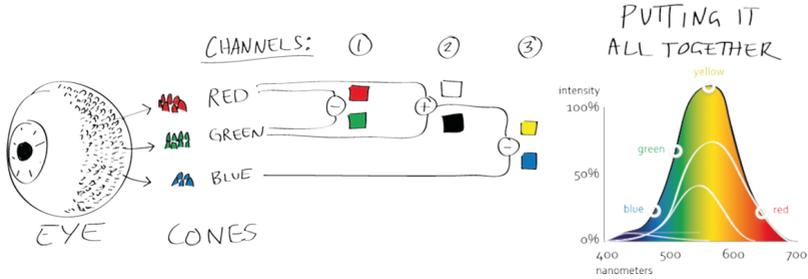


**Abbildung 4.7:** Die senkrecht untereinander stehenden Quadrate haben die gleiche Farbe, wirken aber je nach Untergrund anders. So wirkt das Pink auf dem pinken gesättigten Hintergrund wesentlich ungesättigter als auf der Komplementärfarbe Grün (Lübbe, 2012, S.50).

#### 4.3.2.3 Die Tiefenwirkung von Farben

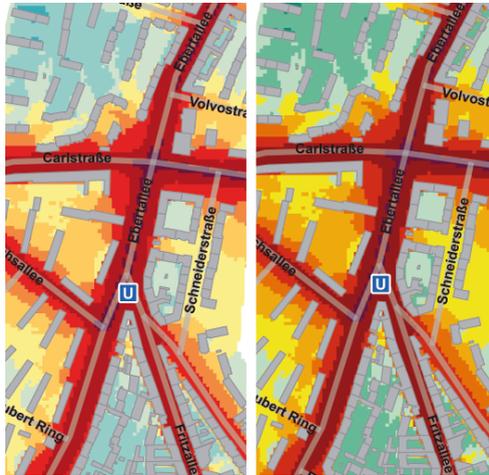
Die Tiefenwirkung von Farben, auch Chromostereopsis genannt, wurde v. a. in der Kunst behandelt (z. B. Itten, 1987). Itten (1987) beschreibt, dass die räumliche Wirkung von Farbe von verschiedenen Komponenten abhängt: dem Farbton, aber auch der Anordnung. Die Tiefenwirkung wird vom Farbton eines Objektes und dem Hintergrund beeinflusst. Warme Farben erscheinen weiter vorne als kalte Farben, bei gleichem Farbton erscheinen gesättigte Farben weiter vorne als ungesättigte (MacEachren, 1995). Dieser Effekt wurde auch im Rahmen der Figur-Grund-Wahrnehmung behandelt und trägt wesentlich zu einer visuellen Hierarchie bei. Daher empfiehlt sich eine gezielte Kontrolle des Effektes.

Besonders die Farbe Gelb nimmt eine Sonderstellung ein. Um Rot oder Grün zu sehen, bestimmt das Gehirn die Differenz der Lichtreize, die auf die roten und grünen Zapfen einwirken. Um die Helligkeit zu erlangen, werden die Lichtreize, die auf die roten und grünen Zapfen einwirken, kombiniert. Gelb und Blau entsteht durch das Bilden der Differenz zwischen dem Helligkeitssignal und dem Lichtreiz auf die blauen Zapfen (Abb. 4.8, links). Das heißt wir sehen „Blau“, wenn die blauen Zapfen stärker gereizt werden als die roten und grünen und „Rot“, wenn die roten Zapfen stärker gereizt werden als die grünen und umgekehrt. „Gelb“ allerdings sehen wir, wenn beide die grünen und die roten Zapfen Reize empfangen. Dieser Reiz ist der höchste, den unsere Zapfen empfangen können und führt dazu, dass Gelb als kräftigste aller Farben empfunden wird (Abb. 4.8, rechts). Daher tritt Gelb ganz besonders aus dem Gefüge, wenn es gesättigt verwendet wird (Van Slembrouck, 2012).



**Abbildung 4.8:** Aus Gründen der Reizverarbeitung ist der Reiz den Wellenlängen, die die Farbe Gelb auslösen, am größten und Gelb wird somit als kräftigste Farbe empfunden (Van Slembrouck, 2012, auf <http://blog.visual.ly>, Zugriff September 2014).

Dieser Effekt ist in der Kartografie vor allem zu berücksichtigen, wenn Farben zur Enkodierung von Werten verwendet werden. Die zur Darstellung verwendeten Farbschemen sollten in ihrer Komposition ausgeglichen sein (vergl. Tab. 4.1), es sollten zumindest nicht einzelne Farben ohne System hervortreten, wie in Abbildung 4.9 im rechten Bild.



**Abbildung 4.9:** Die Abbildung zeigt deutlich wie unterschiedlich zwei ähnliche Farbschemen erscheinen können: Das hellere, nicht so stark gesättigte Gelb links tritt nicht so stark hervor, wie das stark gesättigte Gelb rechts.

#### 4.3.2.4 Weber-Fechner-Gesetz

Möchte man eine gleichmäßig gestufte Farbreihe anlegen, wird man eine Überraschung erleben, wenn man denkt, dass sich eine gleichmäßige Abstufung ergibt, indem man einer Farbe eine gleichbleibende Menge an Farbe hinzufügt. Es ergeben sich durch diese Methode keine gleichmäßigen Helligkeitsstufen. Eine Antwort auf dieses Phänomen gaben Wilhelm Weber (1804-1891) und Gustav Theodor Fechner (1801-1887) im sogenannten Weber-Fechner'schen-Gesetz. Das Gesetz beruht auf Untersuchungen von Weber, der beobachtete, dass Sinnesorgane ab einer bestimmten Intensität, der Wahrnehmungsschwelle, eine Veränderung registrieren. Bei einem exponentiellen Anstieg der Reizstärke wächst jedoch die Empfindung nur linear an. Daher besagt das Gesetz, „dass die Empfindungsstärke  $E$  zum Logarithmus der zu Grunde liegenden Reizstärke proportional ist“ (Simon, 2008, S. 40). Genauso wie beim logarithmischen Schalldruckpegel stimmen der Anstieg von Reiz und Empfindung nicht überein. Beim Schalldruckpegel verdoppelt sich die empfundene Lautheit bei einem Anstieg von 6 bis 8 dB (Maute, 2006, S. 59).

Munsell hat diesen Aspekt bereits Anfang des 20. Jh. umgangen und auch bei der Entwicklung des CIE  $L^*a^*b$  Farbsystems wurde er vermieden. Da er *perceptually uniform* ist, resultiert eine gleichförmige Veränderung der Werte  $L$ ,  $a$  oder  $b$  in einer gleichförmigen Veränderung der wahrnehmbaren Farbe. Daher kann der wahrgenommene Abstand zweier beliebiger Farben durch Ermittlung des euklidischen Abstands ihrer Position im dreidimensionalen System annäherungsweise ermittelt werden.

#### 4.3.2.5 Machsche Streifen

Machsche Streifen sind eine Kantenverstärkung, die vom Physiker Mach erkannt wurde. Sie dient der automatischen Kontrastverstärkung an den Kanten, wodurch Flächen nicht gleichmäßig gefärbt erscheinen (Abb. 4.10) (Lübbe, 2012).

Dieser Effekt kann in der Kartografie auftreten und einen Vergleich von Flächen untereinander und mit der Legende erschweren. Er tritt in der Regel aber nur auf, wenn Farben in Farbtönen und Helligkeitsschritten geordnet sind, was bei der Darstellung von Schalldruckpegeln durchaus der Fall ist.



**Abbildung 4.10:** Zur Kontrastverstärkung wirken die Kanten zur benachbarten Fläche etwas dunkler bzw. heller, somit erscheint die Fläche nicht gleichmäßig eingefärbt (Lübbe, 2012, S. 54).

### 4.3.3 Farbenfehlsichtigkeit

Die Berücksichtigung von Farbenfehlsichtigkeit (Dyschromatopsie, Dyschromasie), umgangssprachlich fälschlicherweise Farbenblindheit, ist unumgänglich für eine Informationsvermittlung, die allen Nutzern einen gleichwertigen Zugang zu Informationen ermöglichen möchte. Vor allem bei Lärmkarten, in denen die gesamte Lärminformation über Farben vermittelt wird, ist dieser Aspekt in der Farbgestaltung zu berücksichtigen.

Eine Abweichung vom normalen Farbsehen ist laut Schumann und Müller (2000) „relativ häufig“. „In den meisten Fällen handelt es sich dabei tatsächlich um Anomalien der Farbsehfähigkeit mit einer abgeschwächten oder reduzierten Farbu nterscheidung“ (Schumann und Müller, 2000, S. 97). Acht Prozent der Männer und 0,5 Prozent der Frauen haben eine Art von Farbenfehlsichtigkeit, d. h. dass eine von 200 Frauen oder acht von 100 Männern Farben nicht wie 95 Prozent aller Menschen erkennen. Farbenfehlsichtigkeiten entstehen aufgrund einer Augenkrankheit oder sind angeboren. Die Vererbung ist rezessiv ungebunden, das heißt, dass ein Großvater das Gen über seine normal farbsehende Tochter an seinen Enkel vererben kann. Das für die Anomalie verantwortliche X-Chromosom wird bei Jungen nicht korrigiert, bei Mädchen meistens schon, außer beide Elternteile vererben die Farbenfehlsichtigkeit (Lübbe, 2012, Welsch und Liebmann, 2012). Die Störungen entstehen, wenn eine der drei Grundempfindlichkeiten (Blau, Grün, Rot) gestört ist oder ganz ausfällt. Das heißt ein Zapfentyp, der im Gegensatz zu den lichtempfindlichen Stäbchen, für die Farbwahrnehmung zuständig ist, funktioniert nicht einwandfrei und daher wird eine Grundfarbe nicht wahrgenommen. Farbfehlsichtige teilen sich in drei Gruppen: Protanopen (rotblind) bzw. Protanomale (rotgestört), Deuteranopen (grünblind) bzw. Deuteranomale (grügestört) und Tritanopen (gelb-blau-blind) bzw. Tritanomale (blaugestört). Totale Farbenblindheiten und Störungen im Blaubereich treten selten auf. Am verbreitetsten unter den Anomalien ist eine Grünschwäche (50 Prozent), gefolgt von Grünblindheit (25 Prozent), Rotblindheit (15 Prozent) und Rotschwäche (10 Prozent). Die häufigsten Verwechslungen treten also zwischen Rot, Gelb oder Braun und Grün, bzw. Violett und Blau auf (Welsch und Liebmann, 2012).

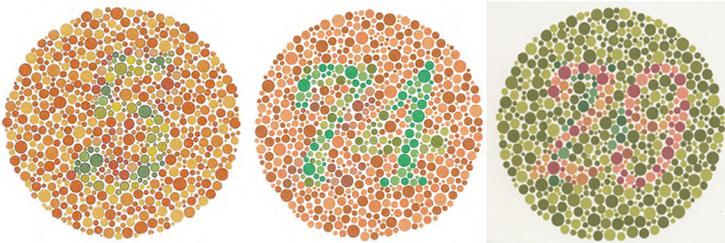
Jedoch auch unter Menschen bei denen alle drei Stäbchentypen eine normale Spektralempfindlichkeit aufweisen, sogenannte Trichromaten, „gibt es [...] viele, die aufgrund von Anomalien einer der drei Zapfensehstoffe eine andere (deformierte) spektrale Empfindlichkeitskurve aufweisen und Farben etwas anders wahrnehmen als die Mehrheit“ (Welsch und Liebmann, 2012, S. 270-271). Farbenfehlsichtigkeit tritt aber auch vermehrt bei kleinem Gesichtsfeld bis zu 2° auf, v. a. Rot-Grün-Sehschwächen, obwohl Betroffene bei einem größeren Gesichtsfeld um die 10° normal trichromat sehen. „Das bedeutet, dass bei vielen Personen, die im täglichen Leben eine Farbenfehlsichtigkeit nicht bemerken, bei der Arbeit mit dem Bildschirm trotzdem eine starke Beeinträchtigung des Farbsehens auftreten kann“ (Schumann und Müller, 2000, S. 98). Diese Aussagen stimmen mit unseren praktischen Erfahrungen im ersten Experiment (Kap. 7.2) überein, in dem 23 Prozent der Teilnehmer Probleme hatten, Zahlen auf den Ishihara Tafeln zu erkennen (siehe Kap. 7.2.4.1), obwohl bei der Rekrutierung der Teilnehmer kein spezieller Aufruf zur Teilnahme von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit gemacht wurde.

Ältere Menschen neigen eher zu Schwierigkeiten bei der Erkennung von Farben, sie haben vor allem Probleme bei der Unterscheidung von Blautönen, sequentielle blaue Skalen sind, obwohl sehr beliebt, daher eher zu vermeiden. Hilfreich ist es, kräftige stark gesättigte Farben zu verwenden (Jones, 2010b). Gerade in der Öffentlichkeitsbeteiligung ist das ein wichtiger Aspekt, denn der Anteil der älteren

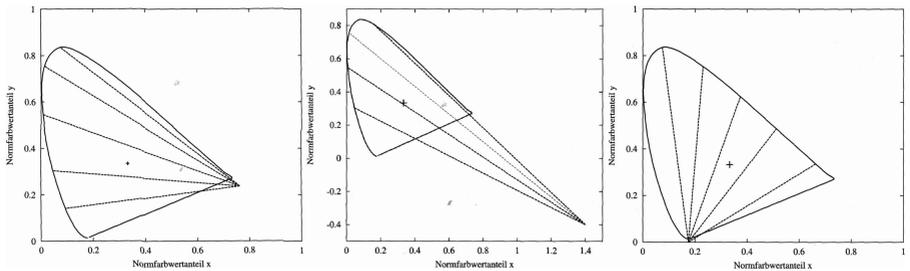
Bevölkerung in Deutschland wächst stark und Ereignisse wie Stuttgart 21 haben gezeigt, dass Senioren rege an der Diskussion teilnehmen.

Überprüft werden kann Farbenfehlsichtigkeit anhand von Tafeln von Shinobu Ishihara (2005), sogenannten Ishihara oder pseudo-isochromatische Tafeln (Abb. 4.11). Etwas umfangreicher ist der *Farnsworth Munsell 100 Hue Test*, bei dem Reihen von Farbfeldern geordnet werden müssen (Onlinetest unter Colblindor, 2013).

Verschiedene Formen von Dichromasie können anhand von Geraden in den Normfarbtafel dargestellt werden (Abb. 4.12). Farben, die auf solch einer Verwechslungsgeraden liegen, können von Dichromaten nicht unterschieden werden (Schumann und Müller, 2000). Farben, die sich nahe an einer Gerade befinden, bereiten mitunter Schwierigkeiten.



**Abbildung 4.11:** Ishihara Farbtafeln mit den Nummern 5, 74 und 29 zur Überprüfung von Farbenfehlsichtigkeit werden bei Rot-Grünschwäche als 2, 21 und 70 interpretiert (Ishihara, 2005, Tafeln Nr. 3 und 5).



**Abbildung 4.12:** Verwechslungsgeraden für Protanope, Deuteranope und Tritanope (v.li.n.re.). Farben, die jeweils auf einer dieser Geraden liegen, sind nicht zu unterscheiden bzw. schwer zu unterscheiden, wenn sie nahe der Geraden liegen (Schumann und Müller, 2000, S. 100-101).

### Grafische Möglichkeiten Farbenfehlsichtigkeit auszugleichen

Laut den „Web Content Accessibility Guidelines 2.0“ (WCAG), die Empfehlungen zur Aufbereitung von Webinhalten für eine barrierefreie Darstellung geben (W3C, 2008), gibt es für eine zuverlässige Darstellung von Farben grundlegende Varianten:

1. Es ist sicherzustellen, dass Information, die durch Farbe vermittelt wird, auch als Text oder andere visuelle Hinweise vorhanden ist. Vor allem bei digitalen Karten gibt es interaktive Methoden zur Anzeige von Informationen.
2. In Bildern können Farbe und Muster kombiniert werden. Das ist theoretisch geeignet, praktisch kommt es aber auf die Größe der Fläche an, ob das Muster noch lesbar ist und auf die Dichte der Information, die durch Schraffur oder Muster stark zunimmt. Nicht zu vergessen ist die Beeinflussung der Grundfarbe durch das darüber liegende Muster.
3. Es ist sicherzustellen, dass zusätzliche visuelle Hinweise verwendet werden, wenn Unterschiede der Textfarbe verwendet werden, zum Beispiel verschiedene Fonts, Schriftgrößen, Schnitte und Effekte wie Unterstriche. In der Kartografie bedeutet das, für Punkt- oder Liniendarstellung zusätzlich zur Farbe Form und Muster zu verwenden (Jenny und Kelso, 2007).
4. Ein Kontrastverhältnis von 3:1 unterstützt die Unterscheidbarkeit von Objekten, sodass sich z. B. Text gut vom Hintergrund abhebt. Damit sich Objekte z. B. Text und Hintergrund oder Text und ein Weblink gut voneinander unterscheiden lassen (für verstärkten Kontrast für sehbehinderte Nutzer werden das Verhältnis 4,5 bzw. 7:1 vorgeschlagen). Das World Wide Web Consortium schlägt dafür einen „Contrast Ratio“ Algorithmus vor, der beschreibt ob Farben von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unterschieden werden können. Für die Anwendung in Karten muss noch ein geeignetes Kontrastverhältnis gefunden werden, dabei sind auch die in Kapitel 4.3.2.1 beschriebenen Farbkontraste zu berücksichtigen.

Adobe (2013) schlägt zur Verbesserung der Unterscheidbarkeit von Farben vor, folgende Farbkombinationen zu vermeiden: Rot und Grün, Gelb und kräftiges Grün, Hellblau und Pink, Dunkelblau und Violett. Es wird auch darauf hingewiesen, dass pures Rot sehr dunkel erscheinen kann und deshalb Rot-Orange geeigneter ist, bläuliches Grün zu weniger Verwechslungen führt als gelbliches Grün und Grau mit Magenta, Hellrosa und Hellgrün verwechselt werden kann.

Verbesserungen durch die Änderung von Farbtönen werden von Vischeck (2013) vorgeschlagen: Eine Verstärkung des Rot-Grün Kontrastes führt meist zu einer Verbesserung der Unterscheidungsfähigkeit, da die meisten Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit Rot und Grün zumindest ansatzweise unterscheiden können. Rot-Grün Kontraste können durch die Veränderung der Sättigung und/oder der Gelb-/Blaufärbung verändert werden.

Die freie Software Visolve (2013) transformiert Bilder und rechnet rote Farben heller und grüne Farben dunkler, um eine Unterscheidbarkeit bei Farbenfehlsichtigkeit zu gewährleisten. Des Weiteren bietet die Software auch das Hervorheben von roten, grünen und gelben Flächen an, sowie *Hatching*, d. h. das Versehen von farbigen Flächen mit Mustern. Culp (2012) beschreibt ebenso eine Methode, die Farben bereits publizierter Karten mit Hilfe eines Algorithmus derart zu umzufärben, dass sie von Nutzern mit Farbenfehlsichtigkeit unterschieden werden können.

## 4.4 Relevante Arbeiten in der Kartografie

### 4.4.1 Kartografische Prinzipien zur Erstellung von Farbschemen

Beim Farbdesign von Karten sind laut Imhof (1972, S. 46) folgende Grundlagen zu beachten: die „physiologische und psychologische Farbenlehre, Vertrautheit mit der Ordnung der Farben, reproduktionstechnische Farbenlehre und die Lehre von der Symbolik und Harmonie der Farben“. Diese Grundlagen wurden in den vorangegangenen Abschnitten erläutert, nun soll darauf eingegangen werden, welche konkreten Prinzipien bei der Erstellung von Farbschemen zu beachten sind.

Generell bestimmt die Funktion, die die Farben in der Karte übernehmen, welches Farbschema gewählt wird. Die Funktion hängt vom Ziel der Karte und den zum Ziel führenden Handlungen, den *Tasks*, ab (vergl. Kap. 6.3). Beispiele für die Funktion von Farben sind z. B. (Dent et al., 2009, S. 260):

- die Erstellung einer Figur-Grund-Beziehung,
- die Erstellung einer visuellen Hierarchie,
- die Identifikation von Kategorien,
- die Verleihung von Ordnung und Struktur,
- die Betonung von Elementen.

Bei grafischer Darstellung erhält der Nutzer alle visuellen Eindrücke gleichzeitig, anders als z. B. bei der Sprache, wo die Information sequentiell vermittelt wird. Somit ist die Wahrnehmung aller Kartenobjekte abhängig von der Lage und Erscheinung der jeweiligen Objekte im Verhältnis zu allen Objekten (Robinson et al., 1995).

Robinson et al. (1995) nennen die folgenden relevanten grafischen Gestaltungsprinzipien: die Lesbarkeit, den visuellen Kontrast, die Figur-Grund-Beziehung und die hierarchische Struktur. Die Lesbarkeit von Farbe zeichnet sich v. a. als Unterscheidbarkeit aus. Diese wird einerseits beeinflusst durch die Objektgröße, aber auch durch die Familiarität des gewählten Symbols. Je kleiner die Objekte, desto stärker müssen die Kontraste der gewählten Farben zur Unterscheidbarkeit sein. Als Familiarität kann bei Farben die Assoziation der Farben mit dem dargestellten Phänomen bezeichnet werden, so ist z. B. Grün zur Darstellung von Grünflächen vertraut. Bei Darstellung von Phänomenen, die nicht physisch oder sichtbar sind, werden symbolische Farben gewählt Imhof (1972). Visueller Kontrast zwischen den Kartenelementen wird von Robinson et al. (1995) als wichtigster grafischer Faktor bezeichnet. Bei Farben ist der Kontrast umso größer, je mehr wahrnehmbare Farbparameter variiert werden (vergl. Kapitel 4.3.2.1).

Die Figur-Grund-Beziehung beschreibt wie gut sich Objekte vom Hintergrund abheben. Im Idealfall organisiert der Nutzer unbewusst einen visuellen Eindruck sofort in Vorder- und Hintergrund, dabei muss eine Darstellung visuell homogen sein, um als Vordergrund wahrgenommen zu werden. Die Figur-Grund-Wahrnehmung kann durch Farbe unterstützt werden, da sich durch Farbe der Kontrast herstellen lässt, der Grundlage für die Figur-Grund Wahrnehmung ist (Dent et al., 2009). Generell erscheinen dabei warme Farben eher im Vordergrund als kühle Farben.

Aufgrund der Komplexität der dargestellten Inhalte erfordert eine gute kartografische Darstellung eine hierarchische Struktur. Eine Struktur entsteht wenn Ähnlichkeiten, Verschiedenheiten und Beziehungen grafisch betont werden und die wichtigsten Elemente im Sinne einer Hierarchie hervorgehoben werden, sodass der Eindruck

entsteht, dass Gruppen von Elementen auf verschiedenen visuellen Levels liegen. Davon sollte es in Karten mindestens zwei geben.

Menschen sind in der Regel sehr empfindlich für Farbtonunterschiede, wenn ihnen Farben nebeneinander auf grauem Hintergrund präsentiert werden. Werden sie jedoch in der Karte verwendet, wird die Zuweisung von Farben zur Legende von umliegenden Farben beeinflusst (vergl. Kap. 4.3.2.2). Dennoch sind sich Kartografen nicht über eine maximal in Karten zu verwendende Anzahl an Farben einig. Robinson et al. (1995) setzen das Limit bei 8 bis 15 Farben zur Einkodierung; Bei Tonstufen nennt Imhof (1972) ein Maximum von 6 bis 8 Farben; Als Faustregel werden 7 plus/minus 2 Klassen genannt. Wie viele Farben im tatsächlichen Anwendungsfall angebracht sind, hängt von der Natur des dargestellten Phänomens ab. Bei regelmäßiger, systematischer Abfolge an Klassen, wie z. B. Höhengichtlinien oder Isophonen, kann eine größere Anzahl an Klassen dargestellt werden als in Choroplethenkarten, da abzusehen ist, welche Klassen aufeinanderfolgen und somit der Simultankontrast zwischen aufeinanderfolgenden Klassen konstant ist. Dennoch spricht Tufte (1990) ab einer Anzahl von 20 bis 30 Farben von negativen Effekten.

Robinson et al. (1995) sprechen sich bei der Darstellung quantitativer Inhalte für zwei Grundsätze aus: Farben aus der Karte sollen jenen der Legende zugewiesen werden können und sollten einen korrekten Eindruck darüber vermitteln, wie die Werte in der Karte verteilt sind. Es wird jedoch betont, dass es schwierig ist, verschiedene Funktionen in einer Farbfolge zu vereinen (vergl. Kap. 4.4.2). Als wichtigste symbolische Konnotation in einem sequentiellen Schema wird die Zuweisung dunklerer Farben zu höheren Werten genannt. In bipolaren Schemen wird somit das positive als auch das negative Extrem betont.

Prinzipien, die die Wahl eines geeigneten Schemas erleichtern, wurden zum Beispiel von MacEachren (1995) und Brewer (1992, 1994) erstellt. Einigkeit besteht über die generellen Anforderungen an ein Farbschema für univariate geordnete Skalen:

- Die Farben sollen einer wahrnehmbaren Ordnung entsprechen, d. h. der Ordnung der Originaldaten;
- die Abstände zwischen den Farben sollen repräsentativ für die Abstände zwischen den Werten oder Klassen sein;
- die Farben des Schemas werden alle als gleich wichtig wahrgenommen; und
- es sollen aufgrund der Farbwahl keine künstlichen Grenzen entstehen, die in den Originaldaten nicht existieren. (Wijffelaars et al., 2008, Levkowitz, 1996)
- Stark gesättigte, kräftige Farben sollen nur gezielt eingesetzt werden, nicht aber für große und eventuell benachbarte Flächen verwendet werden (Tufte, 1990).

#### 4.4.2 Arten von Farbschemen

Brewer (1994) hat grundlegende Farbfolge-Typen für die thematische Kartografie beschrieben:

- **Qualitative Skalen** bestehen aus verschiedenen Farbtönen, die im Idealfall eine ähnliche Helligkeit und Sättigung haben. Sie werden zur Darstellung von nominaler Information verwendet, deren Elemente keine natürliche Ordnung haben.
- **Sequentielle Skalen** sind für Werte geeignet, die sich entsprechend einer Reihenfolge von niedrig bis hoch, oder umgekehrt, reihen lassen. Das können entweder Werte auf einer Ordinalskala (kalt, warm, heiß), oder numerische Werte sein. Sequentielle Farbschemen können entweder aus Stufen gleichen Farbtönen (single-hue, gleiche Farbe mit verschiedenen Helligkeits- und Sättigungsstufen) oder aus Stufen über mehrere Farbtöne (multi-hue) bestehend aus zwei benachbarten Farben aus dem Farbkreis, z. B. von hellgelb bis dunkelrot, bestehen. Von ersteren sind maximal fünf bis sieben Klassen gut zu unterscheiden, *ColorBrewer* bietet sequentielle Skalen eines Farbtönen für bis zu neun Klassen an (Harrower und Brewer, 2003).
- **Divergierende Skalen** funktionieren wie die sequentiellen Skalen, haben aber einen neutralen Wert, z. B. Nullpunkt in der Mitte und somit zwei Pole, einen positiven und einen negativen. Sie werden z. B. in Differenzpegelkarten verwendet, die die Zu- und Abnahme von Pegeln zu einem Referenzzeitpunkt darstellen. Die beiden Pole sind gegensätzlich, das wird über die Farben kommuniziert werden. Daher wird ein kalt-warm Kontrast verwendet, wobei die kalten Farben generell die Abnahme darstellen. Sehr beliebt, aber ungeeignet aufgrund schlechter Lesbarkeit für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit, ist die Verwendung von Rot und Grün als gegensätzliches Farbpaar.

Als spezielle Art der sequentiellen Skalen können Imhofs Schemen zur Geländedarstellung (1965) gesehen werden. Sie fallen zwar in den Bereich der topografischen Kartografie, aber die Höhenstufen in Klassen ähneln auch stark thematischen Inhalten. Eine Auswahl an Farbfolgen soll hier dargestellt werden.

- Die **kontrastierende Farbfolge** soll durch eine Abfolge von möglichst stark kontrastierenden Farben zu einer guten Unterscheidbarkeit führen. Der Nachteil dieser Abfolge ist, dass die Kontinuität zerstört wird. Die Farben der DIN 18005-Teil 2 stellen ein Beispiel einer solchen Farbfolge dar.
- Die Abstufung nach dem Prinzip „**je höher, desto heller**“ schafft durch die Verdunkelung der tiefer liegenden Gebieten einen guten höhenplastischen Eindruck. In der thematischen Kartografie würde man die Farbfolge eher umkehren, nach dem Prinzip „umso mehr des dargestellten Phänomens, desto mehr Farbe“, um einen umgekehrten höhenplastischen Eindruck zu vermitteln (Robinson et al. (1995)). Robinson et al. (1995) sind der Meinung, dass eine sequentielle Abfolge unter Abnahme der Sättigung aber einer Zunahme der Helligkeit einer Farbe die effektivste Variante ist um die räumliche Verteilung der Werte zu zeigen. Sie beschreiben, dass die Veränderung dieser beiden primären grafischen Variablen eine spontane Assoziation mit der Höhe der Werte hervorruft, was als „magnitude message“ bezeichnet wird.
- Die **modifizierte Spektralfarbenskala** ist auch heute noch in verschiedenen Varianten vorherrschend. Sie entspricht einem breiten Sektor des Spektralfarbkreises: von Grün über Gelb bis Rotbraun. So wird laut Imhof (1965)

die Eigenschaft der Stetigkeit bewahrt und trotzdem eine größere Anzahl unterscheidbarer Stufen erreicht. Er sieht allerdings ein Problem bei der Wahl des Gelbtönen, wenn es „zu stark und zu rein gewählt“ wird: „Ein Eidottergelb dieser ausgedehnten Stufe verwüstet oft ganze Atlanten“ (Imhof, 1965, S. 337). Er weist also bereits auf das Einhalten der Stetigkeit der Abfolge und den Zusammenhang zwischen Objektgröße und Farbsättigung und Fläche hin. In Varianten dieser modifizierten Spektralfarbenskala wird daher die Gelbstufe übersprungen.

Ein Schema, in der wissenschaftlichen Visualisierung oft als Standardschema eingesetzt, ist die **Spektralskala**, umgangssprachlich Regenbogenskala, beginnend mit Rot, über Orange, Gelb, Grün, Blau, endend mit Violett, wird das gesättigte Spektrum präsentiert. 61 Prozent der Artikel (exklusive der medizinischen Abbildungen) der *IEEE Visualization Conference* von 2001 bis 2005 verwendeten dieses Schema (Borland und Taylor, 2007). Dieses ist jedoch aufgrund eines Mangels an nachvollziehbarer Ordnung schwer zu verstehen: „Perceptually, however, this scale does not appear linear. Equal steps in the scale do not correspond to equal steps in color, but look instead like fuzzy bands of color varying in hue, brightness and saturation. When mapped onto scalar data, this colormap readily gives the user the erroneous impression that the data are organized into discrete regions, each represented by one of the rainbow colors. This can lead the user to infer structure which is not present in the data and to miss details that lie completely within a single color region“ (Rogowitz, B. E. and L. A. Treinish 1993, zitiert in Bergman et al., 1995). Das Schema ist bereits offiziell umkämpft (siehe Borland und Taylor, 2007 oder Light und Bartlein, 2004) und eine Analyse zeigt, dass sich die *Neuroimaging-Community* bereits der „over-colorization“ bewusst ist (Fabrikant et al., 2012).

Es lässt sich zusammenfassen, dass das Thema Farbfolgen und -schemen in der Kartografie umfangreich behandelt wurde und diverse Varianten sequentieller Schemen durch Veränderung der Helligkeit, Sättigung und durch Farbtonübergänge verfügbar sind. In welcher Form diese angewandt werden, hängt vom Anwendungsfall ab. Während es als ausreichend erscheint, für z. B. fünf Klassen nur die Helligkeit eines Farbtönen zu variieren, erscheint es für manche thematische Anwendungen zielführend, assoziative Farbtöne in sequentieller Abfolge zu verwenden.

#### 4.4.3 Bibliotheken und Methoden zur automatischen Erstellung von Schemen

Nachdem Schementypen und Anforderungen definiert wurden, ist nun die Frage, wie man an ein brauchbares Farbschema kommt. Eine Variante ist die Verwendung bereitgestellter Schemen in „Bibliotheken“, eine zweite Variante ist die Verwendung von Software, in der Anforderungen formalisiert wurden und die Generierung von Farbschemen automatisch funktioniert.

Die bekannteste Bibliothek für Farbschemen ist *ColorBrewer* (Harrower und Brewer, 2003). Seit Jahren ist es möglich, auf der Webseite nach geeigneten Farbschemen für Choroplethenkarten zu suchen und dabei die Anzahl der Klassen, die Art der Daten - qualitativ, sequentiell oder divergierend - sowie das Ausgabegeräte und Farbenfehlsichtigkeit zu berücksichtigen. Zur besseren Wahl kann im Viewer die Farbe des Hintergrunds, der Grenzen, der Symbole für Städte und Straßen verändert werden, um eine realistische Anwendung der Farben zu simulieren. Die Ansicht der Farben in der Karte ist ausschlaggebend zur Evaluation der Eignung eines Schemas, denn auch wenn Farbfelder in der Legende unterscheidbar wirken, kann es

bei der Anwendung in der Karte zu verschiedenen Effekten kommen (siehe Kapitel 4.3). Zusätzlich kann das Aussehen der verwendeten Farben sich, je nach der für die Grenzen verwendeten Farben, ändern (Harrower und Brewer, 2003, Brewer et al., 1997). Insgesamt werden 35 Farbschemen in drei Gruppen (qualitativ, sequentiell, divergierend) zur Auswahl gestellt. Die Klassenbreite erstreckt sich von drei über zwölf Klassen, jedoch nicht für alle Farbschemen gibt es 12 Klassen, da das aus Gründen der Wahrnehmung nicht sinnvoll ist. Die Paletten wurden in einem qualitativen Test mit 2 CRT-, 2 LCD-Bildschirmen, zwei LCD-Projektoren, einem Farblaserdrucker und einem s/w Drucker auf Eignung für verschiedene Ausgabegeräte evaluiert. Konnten die Farben einer Ausgabe nicht klar unterschieden werden wurde das Farbschema als ungeeignet für das jeweilige Ausgabegerät klassifiziert (Harrower und Brewer, 2003). Die Frage ist, ob man mit so wenigen Versuchen eine gute Aussage treffen kann, denn das Angebot von Druckern und Monitoren am Markt ist groß und in den letzten Jahren ist die Nachfrage nach Tablets und Smartphones gestiegen und somit die Zahl der Varianten von Ausgabegeräten.

Wijffelaars et al. (2008) entwickelten eine Software, die äquidistante, sequentielle Farbpaletten im CIE  $L^*u^*v^4$  Farbsystem erstellt und vergleicht diese mit Brewer Paletten. Visuell ergibt sich, bei digitaler Betrachtung des Artikels, zwischen den so entstehenden Schemen und den Brewer-Schemen kaum ein Unterschied.

Robertson und O'Callaghan (1986) beschreiben eine computergestützte Methode, Skalen für univariate und bivariate Karten zu erstellen. Das *PRAVDAColor Tool* (Bergman et al. 1995) ermöglicht die Auswahl von Farben, berücksichtigt aber im Gegensatz zu den anderen Methoden die räumliche Verteilung und den Detailgrad der Objekte (*spatial frequency*), was auch für die Verwendung in Lärmkarten wünschenswert wäre. Sie beschreiben, dass Skalen, die eine Helligkeits-Komponente haben, eher für sehr detaillierte Karten verwendet werden können, als Skalen, die nur im Farbton wechseln, und sind damit nicht im Einklang mit der kartografischen Lehre, die diese Entscheidungen von der Art der Daten abhängig macht (Brewer, 1994). Es wird daher nicht weiter auf dieses Konzept eingegangen.

Steinrücken und Plümer (2013) beschreiben ein mathematisches Vorgehen, unterscheidbare Farben auf Basis gesetzter Bedingungen zu finden. Dabei berücksichtigen sie sowohl die Gleichabständigkeit der Farben als auch Farbenfehlsichtigkeit. Für die so entstehenden Farben wurden allerdings keine Farbcodes angegeben und anhand der Abbildungen lässt sich die Unterscheidbarkeit nicht nachvollziehen. Auch nicht, dass der Aspekt der Farbenfehlsichtigkeit berücksichtigt wurde, denn es werden sehr deutlich Rot und Grün als klar zu unterscheiden ausgewiesen.

Es bestehen also Ansätze, die Erstellung von Farbschemen zu formalisieren, die genannten sind aber noch nicht ausgereift genug für eine breite Anwendung. Besonders ist zu kritisieren, dass die erstellten Schemen nicht auf Anwendbarkeit überprüft wurden, sie haben daher wenig Wert. Wijffelaars et al. (2008) beschreibt lediglich eine informelle Studie, die die ästhetischen Aspekte der Skalen untersucht. In dieser schneidet ein blaues Schema am besten ab und es wurden keine Unterschiede zwischen den automatisch erstellten Schemen und den Brewer-Schemen festgestellt. Die Eignung zur Anwendbarkeit in verschiedenen kartografischen Szenarien bleibt somit offen. Ebenso müssten zusätzlich zu den Paletten Empfehlungen zur Verwendung mitgeliefert werden. Diese bestehen bei den Brewer-Schemen, ebenso wurden diese vor Veröffentlichung, zumindest auf die Unterscheidbarkeit der Farben hin, getestet. Dieser Test liegt aber nun schon zehn Jahre zurück und es ist fraglich, ob

<sup>4</sup> Dieser Farbraum wurde wie das  $L^*a^*b$ -System ebenso vom CIE-XYZ-Modell abgeleitet und ist ebenso gleichabständig.

die Schemen den aktualisierten Anforderungen für die neuen Ausgabegeräte standhalten.

## 4.5 Zwischenresümee: Die Herausforderung der Entwicklung eines Farbschemas

*„All colors, whether they are seen as direct or reflected light, are unstable. Every change in light or medium has the potential to change the way a color is perceived. [...] Not only are colors themselves unstable, ideas about colors are unstable as well“* (Holtzschue, 2011, S. 3).

Farben werden durch einen messbaren Reiz ausgelöst, wie sie in den Köpfen der Menschen genau interpretiert werden kann schwer nachvollzogen werden: „In visueller Wahrnehmung wird eine Farbe beinahe niemals als das gesehen, was sie wirklich ist, das heißt als das, was sie physikalisch ist“ (Albers, 1970). Jeder hat zu einem Farbbegriff eine andere Farbe im Kopf und die Wahrnehmung der Farben wird durch eine Vielfalt an Aspekten beeinflusst. Zum Beispiel spielt der Kontext der Farbnutzung eine Rolle und die damit verbundenen Assoziationen, aber auch Wechselwirkungen gemeinsam verwendeter Farben und Wissen und Erfahrungen der Nutzer, denn durch eine „Top-down-Verarbeitung“ können andere Aspekte der Gestaltung, wie die Form, vor der Farbe auf die Interpretation einwirken.

Monmonier (1996) spricht von einem „cartographic quagmire“, also von einem kartografischen Sumpf, wenn er an praktische Erfahrungen zum Farbdesign in Karten denkt. Das ist nicht zuletzt, weil das Thema Farben ein so weites Feld mit vielen Handicaps ist: „The barriers to developing useful color tools are significant. Color is subjective - culture, prevailing fashions, and individual preference can all affect the perceived quality of a color decision. Because no agreed-on syntax exists, as with text, a 'color spellchecker' isn't possible. In addition, color is an unusually interdisciplinary field and requires a challenging integration of concepts from diverse areas“ (Meier et al., 2004, S. 64).

Zwar gibt es in der Kartografie fertige Farbpaletten, wie zum Beispiel *ColorBrewer*, die für viele Anwendungsfälle passen. Diese sind aber zum einen endlich (Wijffelaars et al., 2008) und haben nicht für jeden Wunsch, z. B. für jede Klassenbreite, Schemen parat. Außerdem variiert das Format der Daten stark in den vielfältigen Anwendungsszenarien und wird bei den fertigen Paletten nur teilweise als Entscheidungskriterium angeführt. Ebenso wird die Komplexität der räumlichen Verteilung des gezeigten Sachverhalts kaum als Entscheidungskriterium für die Empfehlung eines Farbschemas berücksichtigt. In *ColorBrewer* werden zwar die Farben in einer Choroplethenkarte dargestellt, das ist schon ein gewaltiger Mehrwert gegenüber anderen Farbmischern, aber es kommt auf die visuelle Bewertung des Nutzers an, konkrete Empfehlungen fehlen. Harrower und Brewer (2003, S. 32) beschränken sich auf die folgende Aussage: „The more complex the spatial pattern of the maps, the harder it will be to distinguish slightly different colours“. Vorhandene Studien zum Vergleich verschiedener Schemen sind aufgrund der speziellen Gegebenheiten daher oftmals nicht auf andere Anwendungsfälle übertragbar. Für eine Berücksichtigung diverser Aspekte des Anwendungsfalles gibt es bisher keine umfangreichen Empfehlungen oder Software. Nach dem Einlesen in die zahlreichen kartografischen Arbeiten, die es zum Farbdesign gibt, sind die Kartenersteller bei der praktischen Erstellung der Schemen auf sich alleine gestellt und müssen diverse

Aspekte selbständig gewichten und in das Design einfließen lassen. Nachfolgend werden die wichtigsten Prinzipien zur Gestaltung eines Farbschemas und die Aspekte, die diese beeinflussen, zusammengefasst dargestellt:

- Eines der wichtigsten Prinzipien eines Schemas zur Darstellung geordneter Werte ist **Kontinuität**. Die Abfolge der Farben sollte eine klare nachvollziehbare Reihung darstellen, eine „hierarchical harmony“, wie Jones (2010a, S. 46) es ausdrückt. Das gelingt, wenn die Farbübergänge „weich“ gestaltet werden, das heißt kein schroffer Übergang zwischen Farbtönen besteht. Weiße Übergänge bestehen u. a. zwischen Helligkeits-Stufen eines Farbtons. Zur Kontraststeigerung, was einer besseren Unterscheidbarkeit entgegenkommt, können auch angrenzende Farbtöne verwendet werden, die eine nachvollziehbare Ordnung darstellen und deren Sättigung ausgeglichen ist. Die Farben sollen nicht ohne System in Helligkeit oder Sättigung variieren. In Richtung des Beginns bzw. am Endes des Schemas sollen jedoch Helligkeit oder Sättigung ab- oder zunehmen.

Nach Itten (1987) sollen etwa Farben nicht im Verhältnis 1:1 angewendet werden, d. h. für größere Flächen sollten keine zu kräftigen Farben verwendet werden, wenn diese Flächen nicht tatsächlich hervorgehoben werden sollen, weil sie z. B. einen Grenzwert darstellen. In Lärmkarten sind meistens vor allem die Flächen mit geringeren dB-Werten überrepräsentiert und sollen durch die Farbgestaltung nicht stärker aus dem Gefüge treten als Flächen mit hohen Werten. Variieren Sättigung und Helligkeit der Farben in größerem Maße kann es zu einer Tiefenwirkung kommen und Farben können ungewollt hervortreten (siehe Abb. 4.9). Auch hier gilt, zu Beginn bzw. am Ende des Schemas kann es gewünscht sein, plastische Effekte zu erzielen.

- **Äquidistante Farbabstände** sind ein großes Thema in der Farbgestaltung. Als gleichabständig werden Farben bezeichnet, wenn bei gleichem euklidischen Abstand ein gleicher Abstand zwischen den Farben empfunden wird. Munsell und CIE  $L^*a^*b$  sind zwei Systeme, die für ihre Gleichabständigkeit bekannt sind. Die dargestellten Pegel sind aber nicht linear sondern logarithmisch, es ist daher zweifelhaft, ob sich gleichabständige Farben zur Darstellung eignen. Um einen Einblick in die Effekte von Farbe auf die Interpretation von Pegeln zu erhalten, wurde ein Experiment durchgeführt, dessen Ergebnisse in Kapitel 7.2 beschrieben werden. Es kann an dieser Stelle schon vorweg genommen werden, dass die Farbschemen einen signifikanten Einfluss auf die Einschätzung der Lärmbelastung haben und Farbschemen, die eher gleichabständig sind, wie die Brewer-Schemen, zu einer Unterschätzung führten.
- Um Farben in verschiedenen Umgebungen und verschiedenen benachbarten Farben wiederzuerkennen, sollten sie eine gewisse **Stetigkeit** aufweisen. Im Idealfall ist die Zuordnung zu den Farbfeldern in der Legende problemlos möglich. Praktisch beeinflusst z. B. der Simultankontrast das Erscheinen einer Farbe durch benachbarte Farben. Helle Farben von hellen umgeben wirken dunkler als von dunklen Farben umgeben. Eine Farbe, von ihrer Komplementärfarbe umgeben, wirkt gesättigter als von einer gesättigten Farbe umgeben (siehe Abb. 4.7). Ebenso beeinflusst die Objektgröße die Wahrnehmung der Farbe und die Farbe wiederum die wahrgenommene Objektgröße. Helle Flächen wirken bei gleicher Objektgröße größer als dunklere, da sie eine stärkere Stimulierung der Retina hervorrufen (Schumann und Müller, 2000). Kleine

Objekte auf dunklem Hintergrund erscheinen weniger gesättigt als größere Objekte. Jedoch nimmt laut Lübke (2012) die Größe einer innenliegenden Fläche kaum Einfluss auf die Wahrnehmung der Helligkeit derselben. Ausschlaggebend ist alleine das Verhältnis der Helligkeit der beiden Flächen.

Auf diese Wahrnehmungseffekte hat man beim Entwurf von Farbschemen kaum Einfluss, da man nicht alle Möglichkeiten der räumlichen Anordnung in den Karten prognostizieren kann, zumal die Verteilung für verschiedene geografischen Einheiten variieren kann. Um ein gewisses Maß an Stetigkeit im Sinne der Zuordenbarkeit der Farben zur Legende und damit Unterscheidbarkeit zu erhalten, sind die Farbkontraste so zu gestalten, dass sie möglichst eindeutig zu unterscheiden sind. Je eindeutiger eine Farbe ist, desto leichter kann sie identifiziert werden, auch wenn es Wechselwirkungen mit benachbarten Farben gibt.

- Die **Komplexität des räumlichen Musters** beeinflusst die Farbwahrnehmung ebenso. Je komplexer und feiner das räumliche Muster ist, desto schwerer lassen sich Farben unterscheiden. Durch die automatische Kontrastverstärkung, die es uns Menschen vereinfachen soll Farben wahrzunehmen, wirken Farben an der Grenze zu ihren Nachbarn heller bzw. dunkler. Bei sequentiellen Skalen ohne Farbtonübergang kann es dadurch umso schwieriger werden die Farben den Farbfeldern der Legende zuzuordnen.
- Barrierefreiheit für Menschen mit **Farbenfehlsichtigkeit** sollte als Standard im Kartendesign gelten. die Praxis zeigt leider, dass das noch nicht der Fall ist und gerne Rot und Grün als Kontrastpaar verwendet werden. Farbtöne, die eindeutig Schwierigkeiten verursachen, sollten vermieden werden, schon kleine Änderungen im Farbton können zu großen Verbesserungen führen, wie z. B. eine Studie von Kröger et al. (2013) zeigt.
- Durch die **große Anzahl an digitalen Ausgabegeräten** und die mannigfachen Anwendungsszenarien beschränkt sich Farbenfehlsichtigkeit nicht mehr nur auf jene Nutzer, denen eine Störung diagnostiziert wurde, sondern treten vermehrt auch situativ bei anderen Nutzern auf. Es gibt dazu für die Kartografie noch keine Forschungsergebnisse, aber Quellen, die besagen, dass es durch das kleine Blickfeld bei der Bildschirmbetrachtung zu situativen Effekten kommen kann. Hinweise auf dieses Phänomen gaben die Ergebnisse der ersten Studie dieser Arbeit, nach der 23 Prozent der Teilnehmer Probleme hatten Zahlen auf Ishihara Tafeln zu entziffern, wie in Kapitel 7.2 beschrieben.
- Besonders interessant erscheint die Frage welche **emotionalen Reaktionen** Farbschemen hervorrufen. Bei der Anwendung für Umweltinformation stellt sich die Frage, bis zu welchem Maß die Information schön und harmonisch dargestellt werden soll, oder ob z. B. Grenzwertüberschreitungen bewusst durch kräftige Farben betont werden sollten. Fabrikant et al. (2012), beispielsweise, stellten stärkere, eher negative, Reaktionen auf kräftige Farben wie Pink und Orange fest, die ungewöhnlich eingesetzt wurden.
- Bei den emotionalen Reaktionen ist das **Vertrauen** in Karten nicht zu vergessen, auf das das Farbschema Einfluss nimmt. Es gibt bisher wenige Arbeiten zum Thema Vertrauen und Karte. Schiewe und Schweer (2013) behandeln

das Thema grundsätzlich, Skarlatidou et al. (2011) gehen auch auf die Einflüsse der Farbgestaltung ein. Laut einer ihrer Studien bewirkte ein qualitatives Schema aufgrund ihrer eindeutigen Lesbarkeit das größte Vertrauen. Ein blaues sequentielles Schema führte zur zweitbesten Einschätzung. Es bedarf hier noch ausgedehnter Forschung, um die konkreten Aspekte finden, die Reaktionen hervorrufen, schließlich können nicht nur Farbtöne, sondern auch Helligkeit und Sättigung eine Rolle spielen.

In der kartografischen Forschung und angrenzenden Forschungsgebieten gibt es bereits eine Vielzahl von Forschungsergebnissen zum Thema Farben. Diese sind jedoch teilweise mit Vorsicht zu genießen, denn einige Studien weisen methodologische Schwächen auf, so werden oft die Definitionen der getesteten Farben nur unzureichend als verbale Beschreibung bekanntgegeben. Eine verbale Farbbeschreibung ruft aber in den Köpfen verschiedener Nutzer verschiedene Bilder auf. Auch eine Abbildung der getesteten Farben alleine reicht zur Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse ebenso nicht aus und verhindert jede wissenschaftlich notwendige Wiederholbarkeit von Studien. Valdez und Mehrabian (1994) beschrieben auch das methodische Problem, dass die emotionale Resonanz auf Farben in vielen Studien aufgrund von Checklisten mit unklaren Begriffen beschreiben wurde, z. B. aufregend („exciting“). Anerkannte Bewertungssysteme sind hier z. B. das genannte *PAD Emotional Model* von (Russell und Mehrabian, 1977) und die grundlegenden Emotionen nach Plutchik (1980).

# 5

## Forschungsdesign

### 5.1 Forschungsmethode

Nach der theoretischen Einführung in die Öffentlichkeitsbeteiligung, in die akustischen Grundlagen und die Farben, wird vor dem Analysekapitel und dem empirischen Teil ein Überblick über Forschungsmethoden dieser Arbeit gegeben. Spezielle Forschungsmethoden, zum Beispiel Experimente und Studien, die im Rahmen der einzelnen Arbeitspakete angewandt wurden, werden im Zuge der jeweiligen Kapitel beschrieben.

Grundsätzlich verfolgt diese Arbeit den transdisziplinären Ansatz, gesellschaftlichen Herausforderungen mit wissenschaftlicher Forschung zu begegnen, die Lärminderung zum Senken der Gesundheitsgefährdung ist hierbei die Herausforderung. Die wissenschaftliche Forschung zielt darauf ab, das Bewertungs- und Kommunikationsmittel, die Lärmkarte, zu verbessern. Die Problemstellung ist daher klar aus der praktischen Verwendung der Karten, den entsprechenden Nutzungszielen und dem Status-Quo der kartografischen Darstellung in Lärmkarten abgeleitet. Diese Arbeit hat einerseits das Ziel, Anforderungen an Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung zu spezifizieren, sowie andererseits Aspekte zur Verbesserung der kartografischen Darstellung zu behandeln und ein Farbschema, für die Nutzergruppe der breiten Öffentlichkeit zu entwickeln. Zusätzlich soll die Übertragbarkeit der Ergebnisse diskutiert werden.

Gould und Lewis (1985, in Sharp et al. 2007, zitiert in Haklay und Nivala, 2010, S. 99ff.) nennen für diese Art der Entwicklung drei Prinzipien „early focus on users' and tasks“, „empirical measurement“ und „iterative design“. Sie sind Teil des nutzerorientierten Designs (orig. user-centered design, UCD), der übergeordneten Methode, die in dieser Arbeit verfolgt wird. UCD ist ein seit den 1980er Jahren bestehender Ansatz für Hard- und Software-Entwicklung, aber auch eine Design-Philosophie, die

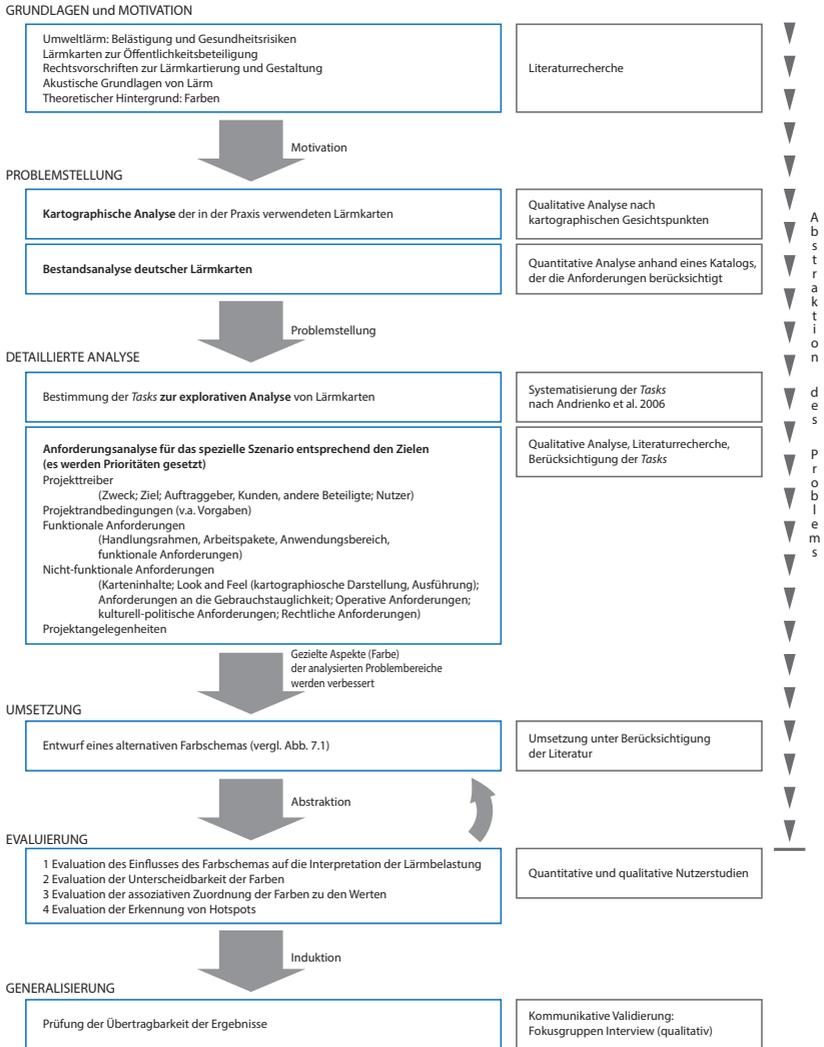


Abbildung 5.1: Das Forschungsdesign

für digitale und nicht-digitale Produkte angewandt werden kann. Der Grundgedanke ist, die Nutzer in das Zentrum des Entwicklungsprozesses zu stellen, d. h., dass es für die Entwickler notwendig ist, ein Bild darüber zu erhalten, was die tatsächlichen Nutzer mit dem Produkt tun werden (Haklay und Nivala, 2010). Dafür muss zuallererst bestimmt werden, wer die Nutzer sind, denn die Auftraggeber sind nicht

zwangsläufig auch die späteren Nutzer (Norman, 2002).

Daher bildet die Grundlage für die Entwicklung eine Anforderungsanalyse für Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung, die u. a. die Nutzer und Stakeholder charakterisiert (Kap. 6.4). Die Anforderungen werden auf Basis der Literaturanalyse, v. a. zu den akustischen Grundlagen und Farben, der kartografischen und der Bestandsanalyse und der Bestimmung der Tasks bei der Exploration von Lärmkarten festgelegt (Abb. 5.1). Die nachfolgend beschriebenen Forschungsfragen die Farben betreffend wurden daraus abgeleitet. Die Anforderungsanalyse gibt Auskunft über Projekttreiber, -randbedingungen, funktionale Anforderungen, nicht-funktionale Anforderungen und Projektangelegenheiten, wobei nicht-funktionale Anforderungen den Kern und die Grundlage für die kartografische Darstellung bilden.

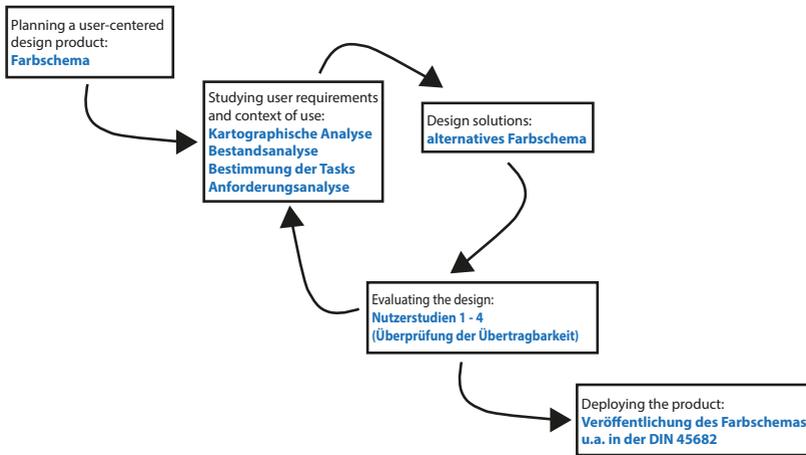
Auf Basis dieser Anforderungen wurde unter Berücksichtigung der theoretischen Grundlagen ein Farbschema iterativ entwickelt und in Nutzerstudien im Hinblick auf verschiedene Aspekte getestet (Abb. 5.2). Insgesamt wurden vier Nutzerstudien zur Evaluation des Schemas und zur Beantwortung der Forschungsfragen durchgeführt, bevor die endgültige Version feststand. Diese wurde dem Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI zur Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA) zur Abstimmung vorgelegt und auf der Webseite [www.coloringnoise.com](http://www.coloringnoise.com) veröffentlicht. Sie steht zur praktischen Anwendung bereit und Nutzer wurden aufgefordert, Feedback zu ihren praktischen Erfahrungen zu liefern.

Zur Überprüfung der Übertragbarkeit wurden verschiedene Aspekte beleuchtet. Einerseits wurde anhand der Ergebnisse der dritten Studie (Kap. 7.4) hergeleitet, ob das Farbschema zur Verwendung in anderen EU-Ländern geeignet ist. Andererseits wurde anhand eines Fokusgruppen-Interviews beleuchtet, ob die Ergebnisse dieser Arbeit auf die Visualisierung von Fluglärm zu übertragen sind, denn für dessen grafische Darstellung bestehen dieselben Vorgaben wie für Verkehrslärm. Aufgrund der grundsätzlichen Unterscheide spielt das Farbschema eine nachgeordnete Rolle. Zuletzt wurde die Übertragbarkeit auf durch Crowdsourcing gewonnene Daten behandelt. Auch hier stellte sich heraus, dass es primär um die Charakteristik der Daten, die sich stark von den amtlichen Daten unterscheidet, und nicht vorrangig um die Anwendung des Farbschemas geht. Die Überprüfung der Übertragbarkeit kann zwar als Teil der Evaluation gesehen werden, aber sie war nicht Teil des iterativen Prozesses.

Einen Überblick darüber, anhand welcher Methode die in Kapitel 5.3 gelisteten Forschungsfragen getestet wurden und wo sie beantwortet werden, bietet Tabelle 5.1.

## 5.2 Forschungsziele

Das übergeordnete Ziel (**Ziel 1**) dieser Arbeit ist, die Interpretation von Lärmkarten, wie sie zur Öffentlichkeitsbeteiligung verwendet werden, durch die Entwicklung eines neuen Farbschemas zu verbessern. Eine Vereinfachung der Nutzung im Sinne der *Usability* nach Standard ISO 9241-11:1998, mit den Parametern Effizienz, Effektivität und Nutzerzufriedenheit ist allerdings nicht angestrebt. Es ist vielmehr das Ziel, die Anforderungen Unterscheidbarkeit der Farben, visuelle Zuordenbarkeit zur Legende und sinngemäße Interpretation und Zuordnung zu den Werten zu erreichen. Das Hauptanliegen ist es, die relative Verteilung der Schallimmissionen, im Fall der RL 2002/49/EG des Lärmindex  $L_{den}$ , deutlich zu machen, sodass Hotspots bzw. lokale Maxima deutlich werden. Denn es besteht die Hypothese, dass die Verteilung



**Abbildung 5.2:** Die Arbeitsschritte eingebettet in das Konzept des nutzerorientierten Designs, das aus einem iterativen Entwicklungsprozess besteht (nach Haklay und Nivala, 2010, S. 100).

lung anhand des qualitativen DIN-Schemas nicht so schnell ins Auge sticht, wie mit einer überarbeiteten sequentiellen Skala, die assoziativ der Höhe der dB-Werte zugeordnet werden kann.

**Ziel 2** ist es, einen Anforderungskatalog für Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung zu entwickeln, der die Bedürfnisse von Stakeholdern berücksichtigt, geltendes Recht integriert, sowie eine Vielzahl nicht-funktionaler Anforderungen, die die kartografische Darstellung betreffen. Dieser Katalog soll die zielgerichtete Erstellung von Lärmkarten strukturieren und erleichtern.

**Ziel 3** ist es, ein Anwendungsfall-orientiertes, alternatives Farbschema zur DIN 18005-2:1991, zur Darstellung der Lärmindizes  $L_{den}$  und  $L_{night}$ , zu schaffen.

**Ziel 4** ist es, Ergebnisse zu erlangen, die auf andere EU Staaten übertragbar sind.

### 5.3 Forschungsfragen und Hypothesen

**Forschungsleitende Frage (LF):** Wodurch können Lärmkarten kartografisch verbessert werden?

**Herleitung:** Die grundsätzliche Annahme dieser Arbeit ist, dass diverse Aspekte der kartografischen Darstellung Einfluss auf die Interpretation haben. Es gilt zu erörtern, welche Aspekte für den spezifischen Anwendungsfall Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung vorrangig von Bedeutung sind.

**Tabelle 5.1:** Überblick darüber, anhand welcher Methode die einzelnen Forschungsfragen behandelt werden und wo sie beantwortet werden

Forschungsfrage	Getestet in:	Methode	Analyse	Beantwortet in:
1	Anforderungsanalyse	Analyse	qualitativ	Kapitel 6.4
2	resultiert aus der Beantwortung der Teilfragen			
2.1	Studie 1	Onlineexperiment	statistisch	Kapitel 7.2
2.1.1	Studie 1	Onlineexperiment	statistisch	Kapitel 7.2
2.2	Studie 3	Onlinestudie	statistisch	Kapitel 7.4
2.2.1	Studie 3	Onlinestudie	qualitativ	Kapitel 7.4
2.3	Studie 3	Onlinestudie	statistisch	Kapitel 7.4
2.4	Studie 2	Onlinestudie	statistisch	Kapitel 7.3
2.5	Studie 2	Onlinestudie	statistisch	Kapitel 7.3
3	Studie 4	Befragung	qualitativ	Kapitel 7.5
4	resultiert aus der Beantwortung der Teilfragen			
4.1	Studie 3	Onlinestudie	statistisch	Kapitel 8.2
4.2	resultiert aus der Beantwortung der Teilfragen			
4.2.1	Interview	Interview	qualitativ	Kapitel 8.3
4.2.2	Interview	Interview	qualitativ	Kapitel 8.3
4.3	kartografische Analyse	Analyse	qualitativ	Kapitel 8.4

### Forschungsfrage (F) 1: Welche Anforderungen werden an die Darstellung in Lärmkarten gestellt?

**Herleitung:** Für die nutzer- und Anwendungsfall-orientierte Entwicklung ist es notwendig, systematisch vorzugehen und Anforderungen an das Endprodukt zu bestimmen, die gegebenenfalls gewichtet werden können. Der Anforderungskatalog gibt den Entwicklungsrahmen vor und legt fest, wann Anforderungen erfüllt sind.

### Forschungsfrage 2: Welches Farbschema eignet sich zur (flächenhaften) Darstellung der Lärmindizes $L_{den}$ und $L_{night}$ am Bildschirm?

**Herleitung:** Da das Farbschema als grundlegendes Element der kartografischen Gestaltung ausgemacht wurde, wurde auf Basis des Anforderungskataloges nach potentiellen Farbschemen gesucht und ein alternatives Farbschema entwickelt und im Detail getestet, das sich zur Darstellung der Lärmindizes eignet.

#### Forschungsfrage 2.1: Beeinflussen bestimmte Farbschemen die Interpretation der Schallimmissionen?

**Hypothese (H) 2.1.a:** Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas mit kräftigen, gesättigten Farben höher eingeschätzt.

**Hypothese 2.1.b:** Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Pastelltönen geringer eingeschätzt.

**Hypothese 2.1.c:** Die Lärmbelastung wird bei Verwendung von Rottönen für hohe Werte als insgesamt höher eingeschätzt, da Rot eine Signalfarbe ist.

*Hypothese 2.1.d:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Blau- oder Grüntönen geringer eingeschätzt, weil Blau und Grün als kalte Farben mit ruhigeren Gebieten assoziiert werden.

**Forschungsfrage 2.1.1:** Zeigen sich Unterschiede bei unterschiedlicher Darstellung der niedrigsten Klasse des dargestellten Lärmindex (farblos vs. farbig)?

*Hypothese 2.1.1:* Die Belastung durch Lärm wird bei farbloser Darstellung der niedrigsten Klasse geringer eingeschätzt.

**Forschungsfrage 2.2:** Lassen sich anhand der Farben Assoziationen mit der Stärke der Lärmbelastung herstellen?

*Hypothese 2.2:* Die Farben lassen sich den Wirkungsklassen zuordnen. Daher lassen sich Rückschlüsse auf die Stärke der Lärmbelastung herleiten.

**Forschungsfrage 2.2.1:** Inwieweit kann anhand des Farbschemas auf die akustische Charakteristik von Lärm und auf die breite Spanne der dargestellten Werte geschlossen werden?

*Hypothese 2.2.1:* Durch die große Spanne an Farben des neu entwickelten Schemas, das durch vier Farbtonübergänge gekennzeichnet ist, wird der große dargestellte Wertebereich, sowie die Faustregel erkennbar, dass 6 bis 10 dB Erhöhung eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautheit bedeuten.

**Forschungsfrage 2.3:** Sind die Farben des vorgeschlagenen Schemas assoziativ den Werten zuzuordnen?

*Hypothese 2.3:* Niedrigen Werten werden grüne und gelbe Farbfelder zugeordnet, hohen Werten rote und lilafarbene Farbfelder.

**Forschungsfrage 2.4:** Sind die Farben auf verschiedenen Bildschirmen unterscheidbar?

*Hypothese 2.4:* Die Farben des vorgeschlagenen Schemas können bei Anzeige auf diversen digitalen Ausgabegeräten gut voneinander unterschieden werden und den richtigen Werten in der Legende zugeordnet werden.

**Forschungsfrage 2.5:** Sind die Farben des Farbschemas auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit geeignet?

*Hypothese 2.5:* Die Farben sind von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit zu unterscheiden.

**Forschungsfrage 3: Verbessert sich die Erfassung der relativen Verteilung der Schallimmissionen, wenn ein verbessertes Farbschema eingesetzt wird?**

*Herleitung:* Aufgrund der Tatsache, dass die Farben des alternativen Schemas mit Anstieg der dargestellten Werte einen Abfall der Helligkeit sowie einen Anstieg der Sättigung aufweisen, wird angenommen, dass lokale Maxima stark hervortreten und somit besser erkannt werden.

*Hypothese 3:* Das verbesserte Farbschema führt zu einem besseren Überblick über Hotspots.

**Forschungsfrage 4: Sind die Ergebnisse übertragbar?**

*Herleitung:* Die Entwicklung fand vor dem Hintergrund der Anwendung in Deutschland statt, d. h. es wurde der Status-Quo deutscher Lärmkarten berücksichtigt. Da Lärmkarten im Rahmen der europäischen Umgebungslärmrichtlinie RL 2002/49/EG zu erstellen sind, ist die Übertragbarkeit auf andere EU-Staaten von Interesse. Nachdem die Darstellung für alle Lärmquellen gleich zu erfolgen hat, wird auch überprüft, ob die Ergebnisse sich zur Darstellung von Fluglärm eignen. Aktuelle Strömungen der *Citizen Science* stellen Bürgern Sensoren zur Verfügung, um selbständig Lärm zu messen. Daher ist es auch von Interesse, die Übertragbarkeit auf dieses Szenario zu betrachten.

**Forschungsfrage 4.1:** Sind die Ergebnisse auf andere EU-Staaten übertragbar?

*Hypothese 4.1:* Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Ergebnisse auch auf andere EU-Staaten übertragbar sind.

**Forschungsfrage 4.2:** Sind die Ergebnisse auf die Darstellung anderer Lärmquellen übertragbar?

**Forschungsfrage 4.2.1:** Was sind die Mängel bestehender Lärmkarten für Fluglärm? Welche Aspekte werden von strategischen Karten nicht beschrieben, die zur Darstellung einer Lärmsituation hilfreich wären?

*Hypothese 4.2.1:* Fluglärmkarten zeigen ebenso wie Verkehrslärmkarten gemittelte Pegel, das scheint aber in Anbetracht der Charakteristika nicht ausreichend zu sein. Es fehlt vor allem die Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Geräusche für unterschiedliche Zeiteinheiten, wie tages- und stundenweise.

**Forschungsfrage 4.2.2:** Was sind die Charakteristika von Fluglärm, die durch Betroffene wahrgenommen werden und zum Beschreiben von Fluglärm geeignet sind?

*Hypothese 4.2.2:* Fluglärm unterscheidet sich grundsätzlich von Straßenlärm, v. a. im Hinblick auf die Periodizität. In der Regel reihen sich kurze, starke, also intermittierende Lärmereignisse aneinander, während es beim Verkehrslärm ein eher regelmäßiges Hintergrundgeräusch gibt.

**Forschungsfrage 4.3:** Sind die Ergebnisse auf die Darstellung von Lärmdaten aus Crowdsourcing übertragbar?

*Hypothese 4.3:* Die Ergebnisse sind grundsätzlich übertragbar, wenn das Datenformat der Daten mit dem der amtlichen Daten übereinstimmt, ansonsten unterscheiden sich die Charakteristika der Daten stark und die Darstellung muss entsprechend angepasst werden.



# 6

## Systematische Analyse der Lärmkarten in Deutschland

### 6.1 Kartografische Analyse deutscher Lärmkarten<sup>1</sup>

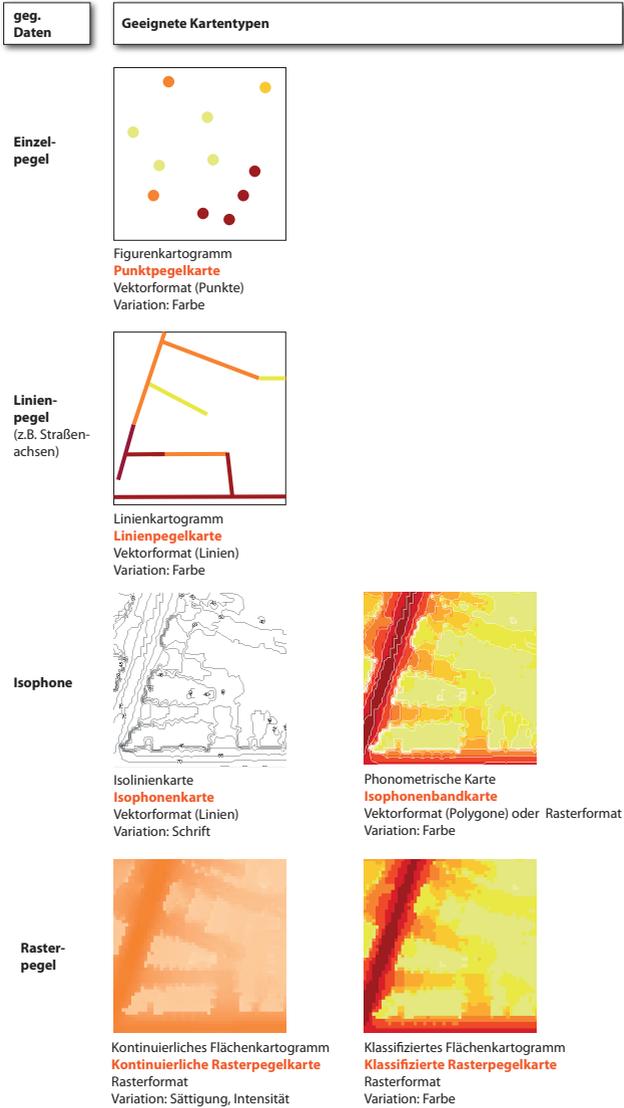
Als Basis der Problemstellung und aufbauend auf die Charakteristika von Lärm und Aspekte des Farbdesigns sollen hier einige relevante Aspekte der kartografischen Gestaltung von Lärminformation beschrieben werden. Eine ausführliche Analyse, durchgeführt im Rahmen des Forschungsprojektes „OptiLAP - Evaluierung und Optimierung der Lärmaktionsplanung nach der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG“ im Jahr 2012, ist als Veröffentlichung des Umweltbundesamtes verfügbar (Schiewe et al., 2012, weitere daraus resultierende Publikationen: Schiewe und Weninger, 2013, Kornfeld et al., 2012, Schiewe et al., 2012).

Da die 34. BImSchV wenige Anhaltspunkte für die grafische Darstellung gibt, außer dass Isophonen, d. h. Linien gleicher Lärmbelastung darzustellen sind (mögliche Kartentypen in Abb. 6.1), gibt es umfangreiche Mängel in den verwendeten Karten. Diese beginnen bereits bei den **Kartenrandangaben**, vielfach tragen die Karten weder eine eindeutige Überschrift, die klar über die gezeigten Inhalte informiert, noch wird die Quelle und die Aktualität der Inhalte eindeutig ausgewiesen. Ebenso sollten Fachausdrücke erklärt werden, oder auf eine Erklärung verwiesen werden, was nicht durchwegs der Fall ist.

Bei den **Karteninhalten** fällt auf, dass außer den darzustellenden Inhalten kaum Zusatzinformationen geboten werden, die zu einem umfangreicheren Verständnis des Inhalts führen. So wäre beispielsweise die Angabe der Zahl der betroffenen Bewohner ein grundlegender Aspekt, um das Ausmaß des Problems für die Maßnahmensetzung

---

<sup>1</sup> Dieser Abschnitt fasst die Ergebnisse des Forschungsprojektes OptiLAP zusammen (vergl. Schiewe et al., 2012).



**Abbildung 6.1:** Aufgrund unterschiedlicher Datenformate sind mehrere Kartentypen möglich, i.d.R. ist aber eine flächenhafte Darstellung vorgeschrieben und daher Isophonenbandkarten und klassifizierte Rasterpegelkarten gängig (Schiewe et al., 2012).

zu bewerten. Ansätze, wie z. B. die Lärmkennziffer (vergl. Bönnighausen und Popp, 1988), versuchen durch die Verknüpfung der dB-Werte mit Bevölkerungszahlen ein vollständigeres Bild zu geben.

Zu einem besseren Verständnis würden auch **qualitative Angaben** zu den dB-Werten helfen, die für Laien eher abstrakt erscheinen. Denkbar sind die Angabe von Referenzwerten (vergl. Abb. 3.2) oder Wirkungsklassen. Letztere Variante wurde im Farbschema umgesetzt und die Angabe von Wirkungsklassen generell empfohlen (vergl. Abb. 7.14).

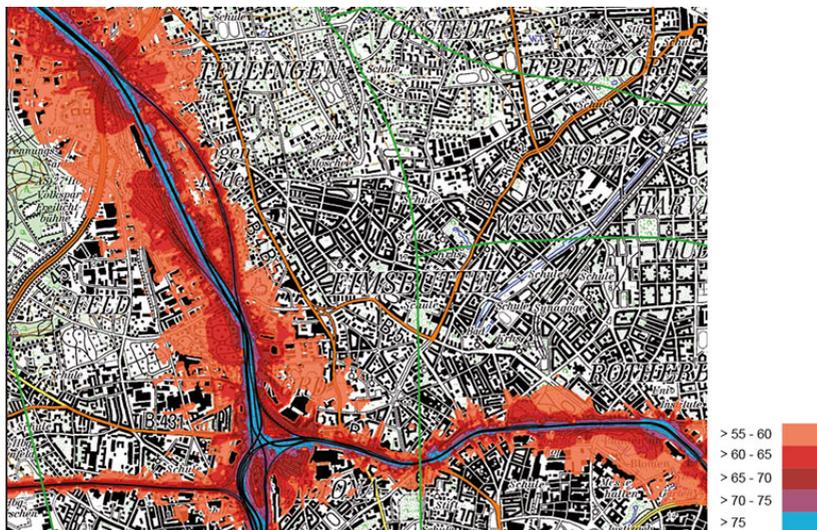
Die **Grundkarte** im Hintergrund hat die wichtige Aufgabe, die Orientierung zu ermöglichen. Dafür ist die Balance zu halten zwischen ausreichend Information und zu viel Information. Landmarks und topografische Zusatzinformationen, wie U-Bahn Haltestellen, können einen guten Anhaltspunkt zur Orientierung geben (Abb. 6.2). Die Entscheidung für oder gegen die Beschriftung von Straßen sollte im Hinblick auf den Maßstab erfolgen. Ebenso erfolgt die grafische Darstellung gesamt im Hinblick auf den Maßstab. Besonders bei digitalen Karten werden die Inhalte adaptiv den Zoomstufen angepasst. Durch die verringerte Auflösung des Bildschirms im Gegensatz zum Druck ergeben sich auch gesonderte Anforderungen an den Grafikstil: kursive Schriften mit Serifen sind zu vermeiden, ebenso Haarlينien; kleine Schriftgröße oder zu großer Detailgrad und Abstände zwischen Objekten müssen größer sein als im Druck (Abb. 6.3). Leider werden oft amtliche Grundkarten, die für den Druck optimiert sind, ohne Bearbeitung online zur Verfügung gestellt.



**Abbildung 6.2:** Darstellung des Lärmindex  $L_{den}$  für den Verkehrslärm der Stadt Hamburg. In der Karte sind lediglich bebaute Flächen und Gewässer eingezeichnet, was die Orientierung nicht erleichtert (Freie Hansestadt Hamburg, 2007).

In Diskussionsrunden mit Experten im Bereich Lärmkartierung bestand allgemeiner Konsens darüber, dass die **Farben** nach DIN 18005-2:1991 (Abb. 1.1) nicht ästhetisch und geeignet sind. Aus kartografischer Sicht bestehen folgende Probleme:

- Die Farben variieren stark in der Helligkeit, deshalb können sie nicht in eine



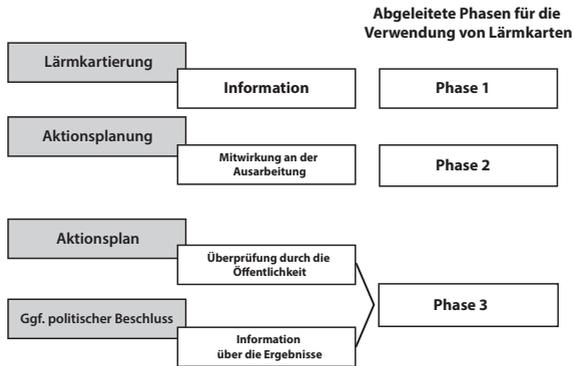
**Abbildung 6.3:** Die DTK 100 im Hintergrund eignet sich nur eingeschränkt zur digitalen Verwendung, da feine Haarlinien bei geringer Bildschirmauflösung nur bedingt darstellbar sind und der Detailgrad zu groß ist (Eisenbahn-Bundesamt, 2011).

intuitive Abfolge gebracht werden.

- Stark gesättigte Farben betonen mittlere Werte und überrepräsentieren sie somit.
- Farben mit starker Signalwirkung, wie Rot, repräsentieren Werte in der Mitte des Schemas, was ebenso zu einer Überrepräsentation führt.
- Das verwendete Rot und das Grün ist für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit nicht zu unterscheiden.
- Die Farben werden nicht entsprechend gängiger Assoziationen eingesetzt. Helles Blau ist ungeeignet zur Darstellung der höchsten Werte, vor allem kombiniert mit der Signalfarbe Rot, denn es wird als kalte Farbe nicht mit Extremwerten assoziiert und erregt weniger Aufmerksamkeit als die Rottöne.
- Das Schema wurde 1991 veröffentlicht, dementsprechend hält es den Anforderungen von heute nicht mehr stand. Die Farben sind nicht an die Darstellung am Bildschirm angepasst und entsprechende Farbcodes fehlen.

Die **Einbindung der Öffentlichkeit** erfolgt in verschiedenen Phasen, die Karten müssen daher an den jeweiligen Verwendungskontext angepasst werden. Abbildung 6.4 gibt einen Überblick über mögliche Phasen. In Phase 1 geben selbsterklärende Karten Information und Überblick über die Lärmsituation. Sie werden meistens im Internet publiziert. In Phase 2, wenn die Karten als Grundlage zur Mitwirkung und

Ausarbeitung dienen, werden bestimmte Aspekte der Diskussion hervorgehoben, oder Karten an den Kommunikationskontext angepasst, z. B. für öffentliche Diskussionen oder andere Veranstaltungen. In Phase 3 dienen die Karten der Kommunikation der Ergebnisse, d. h. Planungsmaßnahmen sollen nachvollziehbar gemacht werden. Es eignen sich beispielsweise Pegeldifferenzkarten.



**Abbildung 6.4:** Die Einbindung der Öffentlichkeit hat je nach Phase verschiedene Ziele, an die die Karten anzupassen sind (Schiewe et al., 2012, nach Bonacker et al., 2008).

Im nächsten Kapitel wird diese kurz zusammengefasste qualitative Analyse in einer Bestandsanalyse der Lärmkarten der 27 deutschen Ballungsräume mit Zahlen unterlegt.

## 6.2 Bestandsanalyse der Lärmkarten der 27 Ballungsräume

Im Folgenden wird ein Überblick über die Straßenlärmkarten der 27 Ballungsräume mit über 250.000 Einwohnern gegeben, die 2007 zur Erstellung und Veröffentlichung von Lärmkarten verpflichtet waren<sup>2</sup>. Die internetbasierte Bestandsanalyse wurde im März 2013 durchgeführt und umfasst Karten, die nach einer Internetsuche mit den Schlagwörtern „Lärmkarte + [jeweilige Stadt]“ einfach zu finden waren. Zu beachten ist, dass diese Analyse lediglich zeigt, welche Lärmkarten zu diesem Zeitpunkt im Internet zugänglich waren. Welche Lärmkarten tatsächlich in der Lärmaktionsplanung verwendet wurden und anhand welcher Lärmkarten die Öffentlichkeit beteiligt wurde, bleibt offen. Dennoch liefert das Ergebnis wichtige Erkenntnisse, denn die Karten im Internet haben die größte Reichweite und potenziell die größten Nutzerzahlen. Untersucht wurden klassische Kartenbestandteile, Bestandteile eines GIS und Aspekte, die die Lärmdarstellung betreffen (siehe Fragenkatalog Anhang B.1 und Diagramme Anhang B.2). Web-GIS der Bundesländer, die oft Karten parallel zu den Ballungsräumen veröffentlichen, wurden nicht im Detail untersucht.

### Ergebnisse

<sup>2</sup> Eine Liste der Ballungsräume ist unter folgendem Link des Umweltbundesamtes zu finden: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie/laermkarten> (Zugriff im September 2014)

- Was das **Format** betrifft, wurde für fünf Ballungsräume ein Web-GIS *und* PDFs der Karten angeboten, von neun nur PDFs und von zwölf nur ein Web-GIS (Abb. B.2). Sechs Ballungsräume boten die Karten in einem anderen Bildformat an, fünf davon zusätzlich zu den anderen Formaten. Lediglich Bremen veröffentlichte die Lärmkarte lediglich im unhandlichen JPEG Format. In 25 Ballungsräumen wurde vom Bundesland zusätzlich ein Web-GIS angeboten (Abb. B.1), d. h. für den Großteil der Ballungsräume war die Information grenzübergreifend vorhanden.
- Die **Kartenrandangaben** entsprachen zumeist *nicht* den kartografischen Standards: Nur knapp mehr als die Hälfte der Kommunen gaben einen aussagekräftigen Kartentitel an, der Auskunft darüber gibt, welches Thema für welche Region zu welchem Zeitpunkt dargestellt wird (Abb. B.3). Im Rest der Fälle gab es keinen gut sichtbaren Titel, z. B. nur eine kleine Überschrift in der Legende, die unter Umständen sogar extra aufgerufen werden muss, oder keinen aussagekräftigen Titel, d. h. z. B. der Name des Ballungsraumes oder das Jahr der Aufnahme wurden nicht genannt.

Mehr als die Hälfte der Karten verfügten über keine vollständige **Legende** (Abb. B.4). So wurde z. B. nicht erläutert, was es bedeutet, wenn in einem Bereich keine farbigen Schallpegel eingezeichnet sind - unterschreiten Pegel in diesen Bereichen die in der Legende dargestellten Klassen, oder wurden die Werte für das Gebiet nicht berechnet. Des Weiteren fehlte in vielen Beispielen die Erklärung von Kartenzeichen der Grundkarte, oft wurden nur Kartenzeichen zur Darstellung der Lärmsituation angeführt. Wurde eine vollständige Legende angezeigt, befand sich diese in acht von elf Fällen am Seitenrand (Abb. B.5).

**Qualitative Ergänzungen** zur Legende, die beschreiben, was die dargestellten dB-Werte bedeuten, waren in keiner der Karten vorhanden (Abb. B.6).

In zehn Karten gab es sowohl einen grafischen, als auch einen numerischen **Maßstab**, in 13 Karten zumindest eine der beiden Varianten und in vier Fällen gar keinen (Abb. B.7).

Der **Herausgeber** wurde in 21 Karten angegeben (Abb. B.8), Quelleninformation hingegen nicht einmal in der Hälfte der Fälle. Die Quelle der Lärminformation wurde nur in fünf Fällen bekannt gegeben (Abb. B.9), auch das Erhebungsdatum wurde nur in zwölf Karten angegeben (Abb. B.10). In zwei Drittel der Ballungsräume wird entweder eine E-Mail Adresse oder eine Telefonnummer zur Kontaktaufnahme angegeben (Abb. B.11).

- Die Hälfte der Kommunen bot einen aussagekräftigen **Begleittext**, eine **Erläuterung** oder einen **weiterführenden Link** mit Information zur dargestellten Information an (Abb. B.12). Zur Lärmkartierung allgemein wurde in zehn Fällen ein weiterer Link angegeben, sowie drei Mal ein Begleittext (Abb. B.13).
- Was die **kartografische Darstellung** betrifft, wurde für rund die Hälfte der Ballungsräume zur verbesserten Orientierung eine Überblickskarte, sowie Landmarks in der Karte geboten (Abb. B.14 und B.15). Topografische Information gab es in 15 Karten (Abb. B.16). Einschlägige thematische Information wurde außer über Parkplätze keine gegeben. Der Anteil der farbigen Karten

ist etwas größer als jener der schwarzweißen (Abb. B.17). Die Schallpegel heben sich auf farbigen Grundkarten jedoch schwer ab (Abb. 6.5). Von den 17 Ballungsräumen, die Information in einem Web-GIS zeigten, wurden Karteninhalte in 15 Anwendungen der Zoomstufe angepasst (Abb. B.18). Mehr als die Hälfte der Karten ist jedoch nicht in jeder Zoomstufe klar lesbar (Abb. B.19). Bei den Grundkarten gab es eine große Vielfalt, in einigen Web-GIS werden mehrere zur Auswahl angeboten. Bekannte Webmapping-Dienste wie *OpenStreetMap* und *Google Maps* wurden nur drei Mal angeboten, in acht Fällen wurden nur Datensätze, die aus Gebäuden und Straßen bestehen, als Grundkarte verwendet (Abb. B.20). Für sieben Ballungsräume gab es in den Karten keine Kartenbeschriftung (Abb. B.21).

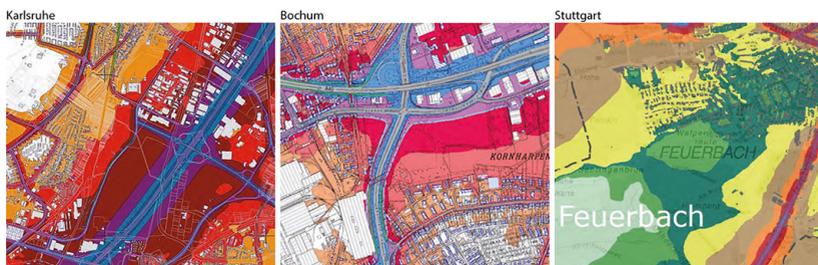
- Als **Lärminformation** wurde  $L_{den}$  in 16 Karten gleich zu Beginn angezeigt (Abb. B.22). Ein Differenzpegel oder Fassadenpegel wurde in den 17 Web-GIS Varianten keinmal bzw. nur einmal zur Auswahl angeboten (Abb. B.23 und B.24). Der Lärmindex wurde zur Hälfte in Isophonenbandkarten und zur Hälfte in klassifizierten Rasterpegelkarten dargestellt (Abb. B.25), dabei wird in 18 Fällen die unterste Klasse farblos dargestellt (Abb. B.26), was allerdings nur in der Hälfte der Fälle in der Legende auch so angegeben ist (Abb. B.27). Da das **Farbschema** in der 34. BImSchV festgeschrieben ist, aber keine fixen Farbwerte vorgegeben sind, sind die Varianten vielfältig (Abb. 6.6). Bremen, Aachen und Augsburg weichen etwas stärker ab (Abb. 6.7). Bei der Klassenbildung hat sich weniger als ein Drittel (8) an die Mindestangaben lt. 34. BImSchV gehalten, vier stellen elf Klassen nach DIN 18005-1:2002, dar, die anderen geben im unteren Bereich mehr Klassen an (Abb. B.28). Das Berechnungsgebiet war in zwei Drittel der Fälle eingezeichnet, allerdings wird dies nur in einem Drittel auch in der Legende vermerkt (Abb. B.29). Nach einer subjektiven Bewertung sind die dargestellten Lärmindizes in zehn Fällen gut lesbar und in 13 Fällen in manchen Zoomstufen schwer lesbar (Abb. B.30).
- In den Web-GIS wird eine breite Auswahl an klassischen **GIS-Funktionen** geboten, wie Adresssuche und Entfernungen messen, in einigen Fällen auch die Möglichkeit den Kartenausschnitt herunterzuladen (Abb. B.31). Die Gebrauchstauglichkeit der GIS-Systeme wurde nicht untersucht.

### 6.3 Tasks zur explorativen Analyse von Lärmkarten

Wie schon an einigen Stellen dieser Arbeit erwähnt, ist es im Sinne eines nutzerorientierten Ansatzes wichtig, bei der Erstellung von Karten das tatsächliche Ziel der Nutzer vor Augen zu haben. Dafür ist es hilfreich, die *Tasks*, das sind die Nutzungsziele und zum Ziel führende Handlungen, zu bestimmen, denn von diesen hängen die Anforderungen zur Darstellung und die Inhalte ab. Im Folgenden wird ein Überblick über *Tasks* gegeben, die bei der Nutzung von Lärmkarten ausgeführt werden und erörtert, wie die verwendeten Daten charakterisiert sind.



**Abbildung 6.5:** In Bonn, Dresden und Nürnberg werden ebenso die Farben nach DIN 18005-1:2002 verwendet, allerdings wird der Lärmindex auf farbigen Grundkarten, im Fall von Nürnberg auf einer Karte von Google Maps, gezeigt, was die Lesbarkeit teilweise erschwert.



**Abbildung 6.6:** In Karlsruhe, Bochum und Stuttgart werden die Farben nach DIN 18005-1:2002 verwendet. In Stuttgart werden im Gegensatz zu den anderen beiden Städten auch die Klassen unter 55 dB dargestellt.

### 6.3.1 Beschreibung der in Lärmkarten verwendeten Daten

Ein Datensatz besteht aus zwei oder mehr Komponenten, deren einzelne Elemente (*records*) eine Struktur aufweisen. Ein Datensatz über die Einwohner eines Bundeslandes in einem bestimmten Jahr hat drei Komponenten: das Bundesland, die Einwohner und das Jahr (Andrienko und Andrienko, 2006).

Jedes Element in einem Datensatz wird einerseits durch einen Kontext, andererseits durch einen Wert, z. B. eine Beobachtung oder Berechnung, beschrieben. Der Kontext ist z. B. der Zeitpunkt oder der Ort an dem ein Wert gemessen wurde. Datenkomponenten, die auf den Kontext hinweisen, werden nach Andrienko und Andrienko (2006) „referrer“ oder „referential component“ genannt. In dieser Arbeit wird dafür im Weiteren der Begriff Bezugskomponente eingesetzt. Das Ergebnis einer Messung oder Beobachtung ist das Attribut oder „characteristic component“. Als klassische Bezugskomponenten bezeichnen Andrienko und Andrienko (2006), nach Klir (1985), Zeit, Raum und Populationen, zum Beispiel die Einwohnerzahl oder die Anzahl von Bäumen gleicher Art. Die Bezugskomponente ist die unabhängige Komponente, Attribute sind von dieser abhängig. Weitere Eigenschaften, die Daten spezifizieren, sind:

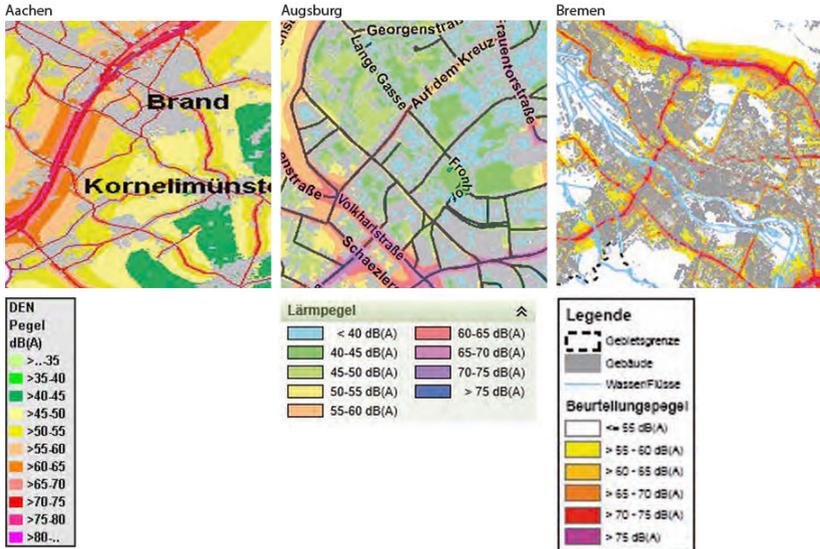


Abbildung 6.7: Die Farben der Lärmkarten von Aachen, Augsburg und Bremen weichen von den vorgegebenen ab. Die schlechte Qualität der Ausschnitte hängt mitunter damit zusammen, dass die Karten von Aachen und Bremen als PDF und JPEG in schlechter Auflösung angeboten werden.

- die Ordnung (*ordering*): Daten sind geordnet, wenn sie, wie z. B. die Zeit eine natürliche Ordnung besitzen und sonst ungeordnet, wie z. B. räumliche Elemente.
- die Distanz zwischen den Elementen (*distance*)
- die Merkmale (*continuity*): diskret oder kontinuierlich bei Attributen in Bezug zur Bezugskomponente (Klir, 1985, in Andrienko und Andrienko, 2006)

Räumliche Daten zum Beispiel, sind kontinuierlich, mit Distanzen zwischen den Elementen, es gibt aber keine natürliche Ordnung im Gegensatz zur Zeit (Andrienko und Andrienko, 2006). Tabelle 6.1 gibt einen Überblick über die in Lärmkarten verwendeten Daten.

Tabella 6.1: Überblick der Daten einer Lärmkarte nach RL 2002/49/EG und 34. BImSchV

	Bezugskomponente	
	Attribut oder Bezugskomponente vom Typ Population	Attribut (in Bezug auf die Bezugskomponenten)
<b>Komponenten</b>	<p><b>Räumlicher Bezug:</b> Punkt, Linie, Fläche (Polygon, Raster) = Teilmengen des Raumes</p>	<p><b>Zeitliche Komponente:*</b> Strategische Lärmkarten stellen in der Regel die gemittelten Werte für ein Jahr dar, d. h. pro Karte beziehen sich die Attribute auf die Zeitspanne von einem Jahr. Einzig in Differenzpegelkarten besteht die zeitliche Komponente aus zwei Zeitpunkten, dem der Berechnung und dem der Prognose.</p>
<b>Eigenschaften</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ungeordnet, da es keine natürliche Ordnung der Elemente gibt</li> <li>• mit Distanz</li> <li>• kontinuierlich</li> <li>• Nominalskala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geordnet</li> <li>• mit Distanz</li> <li>• kontinuierlich</li> <li>• Intervallskala</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geordnet</li> <li>• mit Distanz</li> <li>• diskret</li> <li>• Ratioskala</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• logarithmisch geordnet</li> <li>• mit Distanz</li> <li>• kontinuierlich</li> <li>• Ratioskala</li> </ul>

\* Die Zeitliche Komponente besteht in Lärmkarten zwar grundsätzlich, dennoch ist sie z. B. zur Bestimmung von *Totals* zur Analyse von räumlichen und zeitlichen Daten zu vernachlässigen, da sie pro Karte nur eine Ausprägung hat.

### 6.3.2 Die Bestimmung von *Tasks* zur Datenanalyse

Bertin (1974) definierte Fragetypen und Frage-Stufen, die auch „Stufen des Erfassens“ genannt werden. Die Anzahl der Fragetypen wird durch die Anzahl der Komponenten einer Grafik bestimmt. In einem Diagramm, in dem ein Wert auf einer Zeitachse aufgetragen wird, gibt es zum Beispiel zwei Komponenten. In einer Lärmkarte ebenso, den geografischen Raum und die dargestellte Schallimmission, sofern man die Zeit, da sie für die gesamte Lärmkarte gleich bleibt, ausblendet. Die beiden Fragetypen sind:

- Wie hoch ist  $L_{den}$  an Ort  $y$ ?
- An welchem Ort hat der  $L_{den}$  den Wert  $x$ ?

Bertin definiert zu jedem Fragetyp drei „Stufen des Erfassens“:

- a) *Elementare Stufe des Erfassens (elementary)*: sind Fragen, die nur eine einzige Komponente betreffen. Z. B.: Wie hoch ist der  $L_{den}$  an Ort  $y$ ?
- b) *Mittlere Stufe des Erfassens (intermediate)*: Fragen zu einer Gruppe von Komponenten. Z. B.: Wie hoch ist der  $L_{den}$  im Bezirk?
- c) *Die obere Stufe der Erfassung oder die Gesamterfassung (overall)*: Fragen beziehen sich auf die gesamte Komponente. Z. B. Wie hoch ist der  $L_{den}$  in Hannover?

So klar und logisch Bertins Theorie klingen mag, sie hat einige Probleme. Er erklärt seine Theorie anhand eines Beispiels, das den Preis einer Aktie zu einer bestimmten Zeit angibt. Die beschriebenen Beispiele lassen wenig Zweifel an der Eignung der Theorie aufkommen. Erst wenn man die Fragetypen und Frage-Stufen anhand eines anderen Beispiels durchdenkt, wird die Theorie unklar. Nachfolgende Argumentation folgt jener von Andrienko und Andrienko (2006).

Zum Ersten fällt ein klarer Unterschied der Komponenten Raum und Zeit auf. Während die Komponente Zeit geordnet ist, ist der Datensatz der Komponente Raum ungeordnet. Das ist v. a. in der mittleren Stufe des Erfassens bei Fragen zu einer Gruppe von Komponenten ersichtlich (Andrienko und Andrienko, 2006). Während man fragen kann, wie hoch der  $L_{den}$  in den ersten drei Monaten des Jahres 2011 war und sich genau nachvollziehen lässt, welcher Zeitraum gemeint ist, lässt sich der geografische Raum nur vergleichbar klar abgrenzen, wenn entweder Koordinaten angegeben werden, oder der Raum klar in Sub-Komponenten, wie Stadtteile und Bezirke geteilt ist. Ist der Raum nicht in klar abgrenzbare Sub-Komponenten geteilt, sind Fragen nach der mittleren Stufe des Erfassens kaum zu beantworten. Zum Beispiel würde man zur Beantwortung der Frage „Wie hoch ist der  $L_{den}$  in der Siedlung am Waldrand?“ zusätzliche Information darüber benötigen, wie der Raum „Siedlung am Waldrand“ abgegrenzt werden kann. Raum und Zeit sind folglich nicht als gleichwertige und von der Struktur ähnliche Datenformate zu verwenden.

Da der Unterschied zwischen Komponenten wie Raum, Zeit und zum Beispiel Preis, wie oben genannt, schnell auffällt, unterscheiden Andrienko und Andrienko (2006) prinzipiell zwischen den zwei Komponententypen Bezugskomponente und Attribut. Diese sind „not equivalent in terms of their roles in the data“ (2006, S. 50). Besonders offensichtlich wird die Notwendigkeit dieser Unterscheidung, wenn man versucht für die Komponenten Zeit und Wert Beispiele für Bertins zweiten Fragetyp zu finden (Andrienko und Andrienko, 2006). Eine Umkehrung der Frage, z. B. nach

dem Trend des Preises während der ersten drei Tage, ist absurd - Wie war der Trend der Tage zu den ersten drei Preisen? - denn der Preis hängt von der unabhängigen Bezugskomponente Zeit ab. Daher können, entsprechend Andrienko und Andrienko (2006), Bertins Stufen des Erfassens nur für Attribute (Messungen, Berechnungen, Beobachtungen etc.) Anwendung finden, nicht aber für Bezugskomponenten.

Zum Zweiten fällt auf, dass Bertins Aussage „Es zeigt sich, dass es zu einer Information genauso viele Typen von Fragen wie Komponenten gibt“ (Bertin, 1974, S. 18) klar zu widerlegen ist. Wenn eine weitere Komponente, im Fall der Lärmkarten z. B. Betroffene, dazu kommt, verändert sich die Anzahl der Fragetypen, entgegen Bertins Aussage, um mehr als eins. Seine Annahme stimmt nur für den Fall in dem es ein Attribut, z. B. den Preis und die beiden Bezugskomponenten Zeit und Ort gibt und auch nur in der ersten Stufe des Erfassens, wie später beschrieben. Die Bezugskomponenten sind miteinander verknüpft, die Frage nach dem Preis an einem bestimmten Ort könnte ohne eine Zeitangabe, z. B. einem Datum, in einer multitemporalen Abbildung nicht akkurat beantwortet werden.

Die Anzahl der möglichen Fragen pro Komponente steigt also nicht nur um eins. Koussoulakou und Kraak (1992) haben beobachtet, dass bei räumlich-zeitlichen Daten die Stufen des Erfassens jeweils für die räumliche und zeitliche Komponente angewandt werden können. Es ergeben sich dadurch  $3 \cdot n$  Dimensionen der Stufen des Erfassens für einen Datensatz mit  $n$  Bezugskomponenten (Andrienko und Andrienko, 2006).

Die Anzahl der möglichen Fragen steigt mit jeder Komponente um eine je nach Datenlage zu bestimmende Zahl, denn die Komponenten können, wenn es zwei Attribute oder ein Attribut und eine Bezugskomponente der Art Population gibt, verschieden miteinander kombiniert werden. Es kann zum Beispiel bei einer Frage mit den Komponenten Ort, Ergebnis einer Berechnung (z. B.  $L_{den}$ ) und der Population (Anzahl der Betroffenen) folgende Fragen gestellt werden:

- Wie hoch ist die Anzahl der Betroffenen in Musterstadt?
- Wie hoch ist die Anzahl der Betroffenen in den Bändern mit einem  $L_{den}$  von über 65 bis 75 dB?
- Wie hoch ist der  $L_{den}$  in Bändern mit 20 000 und 50 000 Betroffenen?
- An welchen Orten leben 20 000 und 50 000 Betroffene?
- Wo ist die Anzahl der Betroffenen zwischen 20 000 und 50 000 und der  $L_{den}$  65 bis 70 dB?

Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten haben Andrienko und Andrienko (2006), aufbauend auf Bertins Theorie, einen umfassenden Ansatz entwickelt, um *Tasks* für die explorative Datenanalyse von räumlich-zeitlichen Daten zu bestimmen (Kapitel 6.3.3). Sie argumentieren, dass (auch) *explorative* Datenanalyse „task-driven“ ist, da ein Nutzer eine Visualisierung nicht nur anschaut, sondern nach „etwas Interessantem“ sucht. Beispiele dafür können Muster in der Datenverteilung oder lokale Anomalien sein.

Andrienkos Ansatz wird nachfolgend erklärt und später auf den Anwendungsfall Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung angewendet. Er ist, wie die Adaption auf Lärmkarten zeigt, mit Einschränkungen auch für räumliche Daten mit eingeschränkter zeitlicher Komponente zu nutzen<sup>3</sup>. Bei räumlich-zeitlichen Daten kann einerseits

<sup>3</sup> Grundsätzlich haben Lärmkarten eine zeitliche Komponente, aber nachdem generell Werte für ein Jahr dargestellt werden, ist diese zu vernachlässigen.

nach der räumlichen Verteilung und andererseits nach dem zeitlichen Trend gefragt werden (Koussoulakou und Kraak, 1992). Im Falle des Fehlens einer zeitlichen Komponente beziehen sich die *Tasks* auf die räumliche Verteilung und Position von Attributen.

Bei der systematischen Betrachtung von *Tasks* werden zwei Gruppen unterschieden: elementare *Tasks* (*Elementary Tasks*) und synoptische *Tasks* (*Synoptic Tasks*). Elementare *Tasks* betreffen einzelne Elemente des Datensatzes, wie in Bertins erster Stufe des Erfassens. Synoptische *Tasks* sind entsprechend Bertins zweiter und dritter Stufe des Erfassens *Tasks*, die eine Gruppe von Elementen oder die Gesamtheit der Elemente betreffen. Die Grundintention bei synoptischen *Tasks* ist das Verhalten zu erklären. Unter Verhalten wird eine bestimmte Struktur der Attribute, d. h. Charakteristik der Elemente verstanden, die zu einer Bezugskomponente oder einer Gruppe von Elementen einer Bezugskomponente gehören (Andrienko und Andrienko, 2006).

*Tasks* werden weiter nach dem Ziel unterteilt, d. h. nach der Information, die gefunden werden soll. Die tatsächlich ausgeführte Handlung im Rahmen der Analyse (z. B. Zoomen, Filtern, Layer einblenden etc.) leitet sich aus der Frage ab, ist aber nicht entscheidend für die Gliederung. Es wird grundsätzlich zwischen

- a) *Lookup* bzw. *Pattern Identification*,
- b) *Comparison* bzw. *Behaviour Comparison* und
- c) *Relation-Seeking* unterschieden.

Letztere zwei Kategorien zählen zu den *Relational Tasks*. Bei *Direct Comparison* wird die Beziehung zwischen Attributen bestimmt: Inwiefern sind die Elemente  $x$  und  $y$  verwandt? *Inverse Comparison* bestimmt die Beziehung zwischen Bezugs-komponenten. *Tasks* des Typs *Relation-Seeking* bestimmen Beziehungen zwischen Attributen oder Bezugs-komponenten: Welches Element des Datensatzes ist auf eine bestimmte Art verwandt mit dem Element  $x$ ?

Bei einigen relationalen *Tasks* werden *Lookup Tasks* als *Subtasks* zur Beantwortung der Frage benötigt. Zum Beispiel hat der Wert im Jahr 2000 den Wert von 65 dB überschritten? Es muss zuerst der Wert des Jahres 2000 identifiziert werden, bevor er mit dem Wert 65 dB verglichen wird. Eine Aufstellung der *Tasks* zur explorativen Analyse von Lärmkarten befindet sich im nachfolgenden Kapitel.

### 6.3.3 Aufstellung der *Tasks* zur explorativen Analyse von Lärmkarten durch betroffene Bürger

Da der Ansatz von Andrienko und Andrienko (2006) sehr umfangreich ist und sich für Lärmkarten für Öffentlichkeitsbeteiligung diverse Fragetypen je nach Anwendungs-Szenario bestimmen lassen, wird der Anwendungsfall für die Aufstellung von Beispielfragen weiter eingeschränkt. Öffentlichkeitsbeteiligung umfasst viele verschiedene Anwendungsfälle, so werden zur Öffentlichkeit neben den Bürgern auch juristische Personen und Vereinigungen gezählt. Diese Anwender haben alle andere Ziele und dadurch *Tasks* zur Kartennutzung (van Elzakker, 2001). Daher macht es Sinn, Fragetypen je nach Anwendungs-Szenario zu entwickeln. Tabelle 6.2 beschreibt *Tasks*, die betroffene Bürger an Lärmkarten haben können. Dieser Anwendungsfall ist im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung der offensichtlichste.

Elementare *Tasks* spielen in der explorativen Datenanalyse nur eine untergeordnete Rolle (Andrienko und Andrienko, 2006). Bei der „Analyse“ von Lärmkarten

durch die Öffentlichkeit jedoch sind elementare *Tasks* häufig. Bei der Nutzung statischer Karten durch betroffene Bürger werden v. a. *Lookup Tasks* und *Comparison* als elementare *Tasks*, sowie *Pattern Identification* und *Pattern Comparison* als synoptische *Tasks* ausgeführt. Bei letzteren eher der direkte Vergleich von Attributen oder Mustern. Der Grund dafür ist, dass anhand einer Lärmkarte mit dem  $L_{den}$  eines Jahres nicht alle *Task*-Typen verwendet werden können. Zum Beispiel kann nicht nach der zeitlichen Verteilung gefragt werden, nur nach der räumlichen. Die zeitliche Verteilung kann entweder anhand von zwei Lärmkarten verschiedener Jahre oder anhand von Differenzpegelkarten analysiert werden.

**Tabelle 6.2:** *Tasks* bei der Verwendung einer Lärmkarte aus Betroffenensicht. Der Karteninhalt besteht aus folgenden geografischen Inhalten: Straßen, Gebäuden, Landmarks und der Schallimmission ( $L_{den}$ ,  $L_{night}$ ) als klassifiziertes Raster für ein bestimmtes Jahr. *Tasks*, die bei der Exploration anhand von Lärmkarten nicht gefragt werden können, werden in Grau dargestellt.

	Elementare <i>Tasks</i>	Synoptische <i>Tasks</i>
Lookup	<p><b>Direct Lookup:</b> Die Referenz ist bestimmt, das entsprechende Attribut muss gefunden werden.</p> <p><b>Ziel:</b> Einen bestimmten Wert zu finden. Klassische Frage von Bürgern mit direkter Betroffenheit oder Interesse.</p> <p><b>Bsp.:</b> Wie hoch ist der <math>L_{night}</math> vor meinem Schlafzimmerfenster?</p>	<p><b>Pattern Identification</b></p> <p><b>Behaviour Characterisation bzw. Pattern Definition:</b> Beschreiben der räumlichen Verteilung (zeitlich ist nicht möglich, da die Karte Werte eines Jahres zeigt)</p> <p><b>Ziel:</b> Erfassung der Gesamtsituation, um einen Überblick zu erhalten.</p> <p><b>Bsp.:</b> Wie ist der <math>L_{den}</math> in Hamburg im Jahr 2012 verteilt?</p>
	<p><b>Inverse Lookup:</b> Das Attribut ist bestimmt, die entsprechende Referenz muss gefunden werden.</p> <p><b>Ziel:</b> Beantwortung einer präzise definierten Frage mit klarem Ziel. Kann von Interesse sein, um weitere betroffene Bereiche zu finden. Ist ähnlich der Mustererkennung und pattern search, aber präzisere Fragestellung.</p> <p><b>Bsp.:</b> Wo beträgt der <math>L_{den}</math> im Stadtteil Barmbek 65 bis 70 dB?</p>	<p><b>Pattern Search:</b> Räumliche oder zeitliche Einheiten mit bestimmter Verteilung suchen</p> <p><b>Ziel:</b> Erfassung einer konkreten Struktur</p> <p><b>Bsp.:</b> Wo gibt es in Hamburg Lärm-Hotspots bzw. regionale Maxima?</p>

Tabelle 6.2: (fortgesetzt)

Elementare Tasks	Synoptische Tasks
<p><b>Comparison</b> <b>Ziel:</b> Den Wert nicht nur zu suchen, sondern mit anderen Werten zu vergleichen; hierbei wird die grundsätzliche Struktur erfasst, indem jeweils gezielt Elemente verglichen werden. Das Interesse ist im Gegensatz zur Muster-Identifikation zielgerichtet.</p>	<p><b>Behaviour (Pattern) Comparison</b> <b>Ziel:</b> Das Muster nicht nur suchen, sondern mit anderen Mustern vergleichen; hierbei wird die grundsätzliche Struktur erfasst, indem jeweils gezielt Elemente verglichen werden.</p>
<p><b>Direct Comparison:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit bestimmten Attributen</li> </ul>	<p><b>Direct Comparison:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit einem bestimmten Muster</li> </ul>
<p><b>Bsp.:</b> Überschreitet der <math>L_{den}</math> an der Landstraße den Wert von 65 dB?</p>	<p><b>Bsp.:</b> Konzentrieren sich hohe Pegel auf die Stadtmitte, oder gibt es diese auch in den Randbezirken?</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Werten derselben Attribute verschiedener Bezugskomponenten; zwischen verschiedenen zeitlichen Bezugskomponenten kann nicht verglichen werden, denn es wird nur ein Jahr abgebildet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen dem Verhalten derselben Attribute verschiedener Bezugskomponenten Sets</li> </ul>
<p><b>Bsp.:</b> Wie unterscheidet sich der <math>L_{den}</math> an der Autobahn von dem an der Bundesstraße?</p>	<p><b>Bsp.:</b> Wie unterscheidet sich der <math>L_{den}</math> im Stadtzentrum von dem im Umkreis?</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Werten verschiedener Attribute derselben Bezugskomponenten; zwischen verschiedenen Attributen kann nicht verglichen werden, denn es gibt nur eines.</li> <li>• Zwischen Verhalten verschiedener Attribute (teilweise) verschiedener Bezugskomponenten Sets; zwischen verschiedenen Attributen kann nicht verglichen werden, denn es gibt nur eines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Verhalten verschiedener Attribute derselben Bezugskomponenten Sets</li> <li>• Zwischen verschiedenen Attributen kann nicht verglichen werden, denn es gibt nur eines.</li> </ul>
<p><b>Inverse Comparison:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit bestimmten Bezugskomponenten</li> </ul>	<p><b>Inverse Comparison:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mit bestimmten Bezugskomponenten Sets</li> </ul>

Tabelle 6.2: (fortgesetzt)

	Elementare Tasks	Synoptische Tasks
	<p><b>Bsp.:</b> In welchen Bezirken ist der <math>L_{den}</math> über 65 dB?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezugskomponenten von verschiedenen Werten desselben Attributs</li> </ul>	<p><b>Bsp.:</b> Ist der <math>L_{den}</math> im Norden oder Süden der Stadt größer?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezugskomponenten Sets eines Attributs mit verschiedenem Verhalten</li> </ul>
	<p><b>Bsp.:</b> Wie weit ist der Bezirk mit dem niedrigsten <math>L_{den}</math> von dem mit dem höchsten <math>L_{den}</math> entfernt?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezugskomponenten von bestimmten Werten verschiedener Attribute; es gibt nur ein Attribut.</li> </ul>	<p><b>Bsp.:</b> Wo sind die Bereiche mit den höchsten und niedrigsten <math>L_{den}</math>?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezugskomponenten Sets von verschiedenen Attributen mit bestimmtem Verhalten; es gibt nur ein Attribut.</li> </ul>
<p><b>Relation-Seeking</b></p>	<p><b>Ziel:</b> Nicht nur vergleichen, sondern eine Verbindung zwischen Attributen zu suchen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Attributen und gleichzeitig zwischen Bezugskomponenten</li> </ul> <p><b>Bsp.:</b> Gibt es zwei Stadtteile in Hamburg, die ähnliche Maxima haben?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Attributen einer spezifizierten Bezugskomponente und Attributen einer anderen Bezugskomponente</li> </ul> <p><b>Bsp.:</b> In welchem Bezirk überschreitet der <math>L_{den}</math> 80 dB wie im Bezirk Barmbek?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Werten eines Attributs für teilweise verschiedene Bezugskomponenten, in einem Datensatz mit mehreren Bezugskomponenten, zum Beispiel Zeitpunkten</li> </ul>	<p><b>Relation-Seeking</b></p> <p><b>Ziel:</b> Muster und Verhalten nicht nur zu vergleichen, sondern eine Verbindung zu suchen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen dem Verhalten von Attributen; da es nur ein Attribut gibt, kann das Verhalten verschiedener Attribute nicht verglichen werden.</li> </ul>

Tabelle 6.2: (fortgesetzt)

Elementare Tasks	Synoptische Tasks
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen Werten von verschiedenen Attributen gleicher Bezugskomponente: es gibt nur ein Attribut</li> </ul>	

## 6.4 Anforderungsanalyse zur Erstellung von Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung

### 6.4.1 Einleitung

„The first stage in the development of any product is to develop the requirements“ (Haklay et al., 2010, S. 110). Eine Anforderung ist eine Spezifikation eines in Entwicklung stehenden Produkts, die Eigenschaften, Funktionalitäten und Qualitäten an ein Produkt beschreibt (Grande, 2011). Im nutzerorientierten Design (UCD, vergl. Kap. 5.1) werden Funktionalitäten einer Applikation direkt aus den Anforderungen der Nutzer abgeleitet (Haklay et al., 2010, S. 111). Es ist nicht möglich, vollständige Anforderungen zu beschreiben, bevor man über die Interessenseigner (Stakeholder), den Nutzungskontext, die Ziele und Ähnliches Bescheid weiß. Diese Elemente sind einzelne Anforderungselemente; die Anforderungen als Gesamtes können als Netzwerk aus diesen, in Beziehung stehenden, Anforderungselementen gesehen werden. Der Katalog der Anforderungen stellt die Grundlage für die Umsetzung des Produktes dar.

Nachfolgend werden zuerst die gängige Lehrmeinung zur Konzeption von Karten beschrieben und Mängel aufgezeigt. Diese können durch Anwendung der danach umrissenen Anforderungsanalyse ausgeglichen werden. Zur Beantwortung der **Forschungsfrage 1 „Welche Anforderungen werden an die Darstellung in Lärmkarten gestellt?“** werden danach die beschriebenen Ansätze für den Zweck der Anforderungsanalyse für Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung theoretisch adaptiert und praktisch mit Inhalten gefüllt. Die Analyse wurde allgemein für Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung durchgeführt und muss für jede weitere Anwendung speziell an die vorherrschende Praxis angepasst werden, denn Ziele und Interessenseigner können variieren. So werden sich gewisse Anforderungen an eine digitale Lärmkarte stark von den Anforderungen an eine analoge Lärmkarte unterscheiden.

### 6.4.2 Vom Kartenentwurf zur kartografischen Projektplanung

In der Kartografie beschreiben verschiedene Lehrbücher die Konzeption von Karten und die Kartenredaktion (z. B. Hake et al., 2002, Tyner, 2010, Jones, 2010b). Hake et al. (2002) beschreiben den Prozess der Kartenkonzeption als „Summe der gedanklichen Ansätze und Vorstellungen zu Form und Inhalt eines kartografischen Produktes“ (Hake et al., 2002, S. 287). In der Kartenkonzeption werden zuerst der Zweck des Vorhabens und die Kartenfunktion geklärt (Pragmatik), dann der Sachinhalt (Semantik) und zuletzt die Art der Darstellung (Syntaktik). Diese gliedert sich in die Strukturierung von Daten und die Gestaltung der kartografischen Darstellung (ibid.). Dieser Ablauf erweist sich als sinnvoll, jedoch wird nicht beschrieben,

nach welchen Kriterien Karteninhalt und Darstellung bestimmt werden sollen und welche Daten dafür erhoben werden müssen.

Tyner (2010, S. 12) beschreibt den „mapping process“ etwas genauer und stellt fest, dass dieser linear verläuft: „Creating a map can be compared to writing a paper, a thesis, or a book. The stages fall into four categories: planning, analysis, presentation, and production/reproduction“:

- a) **Planung:** Der Kartograf bestimmt Zweck, Thema, Zielgruppe, Präsentationsort und -form der Karte. Aus diesen Spezifikationen ergibt sich der zu verwendende Datentyp.
- b) **Analyse:** Der Schritt der Analyse besteht aus der Datensammlung, -analyse und Synthese. Im Fall der Lärmkarten sind die Daten großteils als Ergebnis von Berechnungen durch beauftragte Ingenieurbüros vorhanden.
- c) **Präsentation:** Der Karteninhalt, sowie Kartenbestandteile wie Titel, Legende, Maßstab und zusätzliche Erläuterungen in Form von Text und Illustrationen werden in ein Layout gebettet. Dazu muss das Format (digital, analog etc.) feststehen.
- d) **Überprüfung und gegebenenfalls Überarbeitung**
- e) **Produktion**

Jones (2010a) beschreibt einen Ansatz, der die Konzeption vor der Umsetzung stark in den Vordergrund rückt. Nach einer Auflistung von fünf Prinzipien für gutes Kartendesign, veröffentlicht 1996 von der *Society of British Cartographers*, besagt der erste Grundsatz „concept before compilation“. Während dieser Phase sollen grundlegende Fragen beantwortet werden, die ein nutzerorientiertes Vorgehen im Kartendesign betonen:

- Wieso/wofür wird die Karte hergestellt?
- Wer werden die Nutzer sein?
- Was werden die Nutzer mit der Karte machen?
- Wie werden sie die Karte nutzen?
- Wo werden sie die Karte nutzen?
- Was ist das Medium für die Kartennutzung?

Es ist auffällig, dass die Analyse des Kontexts, in dem die Karten verwendet werden, und die Zielgruppe in kartografischen Lehrbüchern erst in den letzten Jahren ausführlicher berücksichtigt werden. In Hake et al. z. B. werden die Begriffe Zielgruppe oder Präsentationsform gar nicht erwähnt. Sie sind Grundpfeiler der Kartenkonzeption und somit umfangreich zu beleuchten: „Eine Voraussetzung für die Anforderungsermittlung stellt die Identifikation der Interessenseigner dar, denn ein komplexes Problem kann nur effektiv gelöst werden, wenn die Bedürfnisse der verschiedenen Stakeholder-Gruppen befriedigt werden“ (van Husen, 2007, S. 44). Erst durch die Integration des *User-Centered Designs* (UCD) erlangte dieser Aspekt auch in der Kartografie langsam Bedeutung (siehe Kap. 5.1). Preece et al. (2002, S. 203) sprechen sich eindeutig für eine nutzerorientierte Vorgehensweise aus: „If

users' voices and needs are clearly heard and taken into account, then it is more likely that the end result will meet users' needs and expectations.“

Für viele Projekte, zum Beispiel Umweltinformationssysteme, ist es auch sinnvoll, nationale und internationale Standards, wie die der (*International Organization for Standardization*) (ISO) oder des *Deutschen Instituts für Normung* (DIN) sowie Gesetze als Randbedingungen und Einschränkungen zu berücksichtigen. Auch diese haben traditionell keinen fixen Ort in der kartografischen Projektplanung. Allerdings werden sie im GIS-Management berücksichtigt. Behr (2000) integriert diese Aspekte in die Anforderungsanalyse für die Einführung von GIS-Systemen, der Schwerpunkt liegt bei seinem Modell eher bei der Integration des Systems in bestehende Organisationsstrukturen, er nennt aber auch die Analyse der grafischen und alphanumerischen Information, Informationsflüsse und Arbeitsabläufe und Nutzer als Teil der Analysephase. Die Nutzer teilt er dabei in drei Gruppen und reiht aber externe Nutzer und Bürger, die im Rahmen dieser Arbeit die höchste Priorität haben, an letzter Stelle:

- a) Primäre Nutzer: Mitarbeiter, die vollzeitlich am System arbeiten
- b) Sekundäre Nutzer: gelegentliche Arbeit mit dem System oder der erzeugten Informationsprodukte
- c) Tertiäre Nutzer: indirekt Betroffene und externe Informationsnutzer, wie Kunden und Bürger

Erst neuere Literatur, wie Naumann (2013), greift das Konzept der Anforderungsanalyse aus der Software-Entwicklung für die Entwicklung von Umweltinformationssystemen auf und rückt somit auch interaktive Aspekte in den Fokus der Betrachtung. So bekommen zum Beispiel die funktionalen Anforderungen, die zur Bestimmung der Funktionen von interaktiven Karten und Web-GIS wichtig sind, sowie das Interaktionsdesign, neben den Nutzer-Anforderungen, einen fixen Platz, Aspekte der grafischen Darstellung hingegen kommen zu kurz.

Man kann zusammenfassen, dass mit steigender Komplexität der Produkte, von der Papier-Karte zu Informationssystemen, auch die Anforderungen steigen. Die „neuen“ Anforderungen werden im GIS-Management und der Konzeption von Informationssystemen berücksichtigt, oftmals überwiegen aber die technischen Anforderungen, während grafische und kartografische Aspekte vernachlässigt werden.

### 6.4.3 Verschiedene Ansätze zur Anforderungsanalyse

In der Literatur, vor allem im Bereich Software-Entwicklung, findet man Grundlagen zur Durchführung von Anforderungsanalysen, die wesentlich umfangreicher sind, als die Prozessbeschreibungen in der kartografischen Literatur. Weitere Begriffe, die teilweise synonym zum Begriff Anforderungsanalyse verwendet werden, sind Anforderungskatalog, Anforderungserhebung und Anforderungsmanagement, auf Englisch *requirements elicitation*, *requirements analysis* oder *establishing requirements*. Diese Begriffe werden von den Autoren für den jeweiligen Anlass ausgelegt. Im Weiteren wird der Begriff Anforderungsanalyse verwendet, da eine Analyse, also das strukturierte Sammeln, Auswerten und Interpretieren von Daten, am ehesten die umfangreichen Vorarbeiten zur Entwicklung eines Produktes beschreibt.

Die Berücksichtigung von Nutzerbedürfnissen, Anforderungen, Erwartungen und deren Diskussion und Analyse ist unumgänglich, um ein geeignetes Produkt, z. B. eine Karte zu entwerfen und zu entwickeln. Dabei müssen z. B. die Nutzer, ihre

Fähigkeiten, die *Tasks* (vergl. Kap. 6.3), Ziele und der Nutzungskontext bekannt sein. Das ist eine Voraussetzung, um die Nutzer beim Erreichen ihrer Ziele gut zu unterstützen. Durch das Beschreiben von Qualitäten und Einschränkungen wird klar, was vom Produkt erwartet wird. Randbedingungen, wie Standards, stellen zusätzlich wichtige Spezifikationen dar. Aber auch physische Anforderungen, wie die mögliche Druckgröße dürfen nicht vernachlässigt werden (Alexander und Beus-Dukic, 2009, S. 137). Der Prozess der Anforderungsanalyse erscheint in der Theorie einfach, besteht aber in der Praxis aus mehreren umfangreichen Schritten, denn: „[Requirements] are not sitting about, waiting to be 'captured'. Each of the many different situations demands a varied set of techniques“ (Alexander und Beus-Dukic, 2009, S. 4). Um stabile, d. h. überprüfbare, umfassende Anforderungen zu erhalten, ist eine Datensammlung und die Interpretation und Analyse der gesammelten Daten notwendig (Preece et al., 2002). Die meisten Ansätze bestehen daher aus vier Phasen: der Anforderungsermittlung, der -analyse, der -dokumentation und -prüfung (van Husen, 2007). Grande (2011) nennt die Tätigkeiten Anforderungen ermitteln, dokumentieren, abstimmen und verwalten als Haupttätigkeiten des Anforderungsmanagements.

Die **Identifikation der Interessenseigner (Stakeholder)** ist entsprechend dem *user-centered design* eine notwendige Vorarbeit und Voraussetzung für die Anforderungsermittlung: „Requirements cannot be observed or asked for from the users, but have to be created together with all the stakeholders“ (Alexander und Beus-Dukic, 2009, S. 7). Des Weiteren kann das Ziel dieser Arbeit, die Verbesserung ausgewählter kartografischer Aspekte nur erreicht werden, wenn der Nutzerkreis klar definiert ist: „Usability can only be defined in terms of the target user population“ (Nuseibeh und Easterbrook, 2000). Da die Bedürfnisse verschiedener Interessengruppen berücksichtigt werden sollten, müssen diese klar abgegrenzt werden. Pouloudi (1997, cited in Sharp et al., 1999) definiert Stakeholder „as these participants [in the development process] together with any other individuals, groups or organisations whose actions can influence or be influenced by the development and use of the system whether directly or indirectly.“ Das sind bei Lärmkarten alle, die Einfluss auf die Erstellung haben, aber auch alle, die durch die Erstellung von Lärmkarten und deren nachfolgende Nutzung, z. B. in der Lärmaktionsplanung, betroffen sind. McDonald (2013, S. 341) definiert folgende Gruppen: „noise mapping and action planning authorities, environmental groups and agencies, politicians, transport authorities, local government councils, land use planners, and, of course, the general public“. Obwohl diese Definition alle wichtigen Gruppen inkludiert, ist auch folgende Definition für den Anwendungsfall Lärmaktionsplanung anwendbar: „Stakeholders are people who have a stake or interest in the project“ (Cotterell et al., 1995, cited in Sharp et al., 1999). Stakeholder oder Interessenseigner sind daher Kartennutzer, in die Administration involvierte, Kunden, Ersteller, Entwickler und Experten. Sie haben alle Interessen, die es im Rahmen der Anforderungsanalyse zu berücksichtigen gilt und die in verschiedenen Arbeitsphasen zu tragen kommen. So sind etwa Nutzer nicht stark am Entwicklungsprozess interessiert, sondern am Endprodukt, das sie nutzen. Um Interessenseigner zu systematisieren, schlagen Alexander und Beus-Dukic (2009) vor, diese in Begünstigte und andere zu gliedern. „Andere Stakeholder“ sind die, die das Produkt liefern, an den täglichen Arbeiten integriert sind und direkten Einfluss haben, z. B. Experten, Auftraggeber, Regularien (Gesetze, Verordnungen, Standards, Normen, Richtlinien etc.). Standards und andere Regularien sind zwar keine Personen, aber ihre Vertreter und Hüter stellen einen bedeutenden Anteil aller Anforderungen dar. Das zeigt, dass nicht alle Anforderungen auf Seiten der Nutzer entstehen (Alexander und Beus-Dukic, 2009). Begünstigte

**Tabelle 6.3:** Methoden zur Datensammlung im Rahmen einer Anforderungsanalyse Preece et al. (2002).

Methoden	Wofür	Vorteil
<b>Befragung</b>	Um spezielle Fragen zu beantworten, v. a. Ja/nein-Fragen	Man kann kostengünstig viele Leute erreichen
<b>Interviews</b>	Zum Erforschen von Themen	Der Interviewer kann seine Fragen anpassen und nachhaken
<b>Fokusgruppen und Workshops</b>	Um viele Standpunkte zu erfassen	Konfliktbereiche werden erfasst; der Kontakt zwischen den Akteuren gefördert
<b>Beobachtung</b>	Um den Kontext der Nutzung erfassen	Liefert Erkenntnisse, die durch andere Methoden nicht gemacht werden können
<b>Untersuchen der Dokumentation</b>	Über Regulationen und Standards erfahren	Es müssen keine Nutzer miteinbezogen werden

sind diejenigen, die sozial, funktional, oder finanziell positiv oder negativ betroffen sind.

Die **Datensammlung** stellt den ersten wichtigen Schritt beim Aufstellen von Anforderungen dar. Geeignete und umfangreiche Daten bilden die Basis der späteren Anforderungen. Nachdem Nutzer in der Regel nicht konkret formulieren können, was sie sich für ein Produkt wünschen, da sie mitunter nicht wissen, was für Möglichkeiten bestehen, kann man sie nicht danach fragen (Alexander und Beus-Dukic, 2009). Es gibt daher einen Methoden-Mix, der sich zur Datensammlung eignet: Befragungen, Interviews, Fokusgruppen und Workshops, Beobachtungen, das Untersuchen von Dokumentationen und den Nutzern Prototypen zeigen (z. B. Alexander und Beus-Dukic, 2009, Preece et al., 2002). Tabelle 6.3 gibt einen Überblick über die Vorteile einzelner Methoden. Manche Methoden benötigen das direkte Einbeziehen von Akteuren. Beste Ergebnisse können erzielt werden, wenn diese in Kombination miteinander eingesetzt werden, denn “different methods result in understanding different requirements“ (Preece et al., 2002, S. 212). Methoden, wie Beobachtung, Interviews und Workshops ermöglichen es, nachzuhaken und durch die Gruppendynamik umfangreichere Ergebnisse zu erzielen. Neben diesen klassischen Methoden werden auch Prototyping, kognitive Techniken, wie *card sorting* und Protokollanalyse als mögliche Methoden aufgeführt (Nuseibeh und Easterbrook, 2000).

Die **Beschreibung von Tasks** ist grundsätzlich wichtig, um einen besseren Einblick in die Nutzungsziele zu erhalten, die Nutzer haben, wenn sie das Produkt verwenden. Paelke und Sester (2007) nennt die Analyse der *Tasks* als Teil der Methoden zur Anforderungsanalyse. Geeigneter erscheint es jedoch, die Task-Analyse zusätzlich zu den anderen Methoden anzuwenden, da das Ergebnis einen wichtigen Bestandteil der Anforderungsanalyse stellt. Preece et al. (2002), z. B. führt die Task-Analyse als weiteren Schritt nach der Datenerhebung anhand der oben genannten Methoden an. Sie beschreiben zwei Methoden: Szenarios und *Use Cases*. Szenarios beschreiben die Handlungen der Nutzer in einer Geschichte ohne formale Regeln: „They describe how a system is used by narrating a concrete and detailed sequence of events in use“ (Paelke und Sester, 2007). Paelke und Sester (2007) z. B. verwendet einen szenario-basierten Prozess um Anforderungen für mobile Karten zu erheben (Paelke et al., 2005). Der Vorteil von Szenarios ist, dass das Erzählen von Geschichten für Menschen eine natürliche Tätigkeit ist. Der Text soll somit auf einfache Art die Anforderungen und Bedürfnisse beschreiben. *Use Cases*, ursprünglich

für die objektorientierte Programmierung entwickelt, beschreiben v. a. die Interaktion zwischen Produkt und Nutzer nach formalen Kriterien und sind daher weniger geeignet für analoge Lärmkarten. Speziell für die Geovisualisierung haben Andrienko und Andrienko (2006) einen Ansatz entwickelt, um *Tasks* für die explorative Analyse systematisch zu beschreiben. Diese maßgeschneiderte Methode eignet sich eher zur Beschreibung kartografischer Fragestellungen als Szenarien und *Use Cases* und wurde daher für diese Arbeit verwendet (siehe Kap. 6.3). Szenarien können als ergänzende Methode eingesetzt werden, um Informationen über den gesamten Nutzungskontext zu erhalten.

Nach der Datensammlung und -analyse erfolgt die **Dokumentation**. Hier ist die Formulierung der Anforderungen nicht unerheblich. Geeignet sind einfache Sätze, die Beschreibung der Anforderungen soll kurz und im Imperativ sein (van Husen, 2007). Während Ulrich und Eppinger (2000, in van Husen, 2007) die Begriffe „muss“ und „sollte“ vermeiden, meint Grande (2011), dass die Verwendung von „muss“ die Wichtigkeit einer Anforderung ausdrückt. Jeder Satz sollte nur eine Anforderung enthalten, die begründet werden soll, während der Lösungsweg nicht Inhalt einer Anforderung ist. Des Weiteren sollte das Subjekt eindeutig sein und die Anforderung exakt überprüfbar. Worte wie „soll“, „sollte“, „wird“, „werden“ können verwendet werden um einen Wunsch auszudrücken oder um die spätere Umsetzung der Anforderung anzudeuten (Grande, 2011). Der Einsatz von spezifischen Beschreibungsmethoden (z. B. Formeln) eignet sich, um Missverständnisse und Fehler zu vermeiden. Wenn möglich, werden alle Anforderungen mit Qualitäts- und Quantitätsangaben versehen (van Husen, 2007).

„Die Anforderungsanalyse ist nur bedingt formalisierbar, da die potentiellen Anwendungsbereiche und auch die technischen Möglichkeiten breit aufgestellt sind“ (Naumann, 2013, S. 124). Deshalb gibt es einige verschiedene Herangehensweisen, die sich v. a. im Detailgrad stark unterscheiden. Anforderungen können beispielsweise nach Soll- und Muss-Kriterien bzw. in Forderungen und Wünsche geteilt werden (van Husen, 2007), sinnvoller erscheint jedoch die Unterscheidung von funktionalen Anforderungen und nicht-funktionalen Anforderungen. Funktionale Anforderungen beschreiben, was ein Produkt tun soll, um sich als nützlich im Kontext des Nutzers zu erweisen (v. a. bei interaktiven Produkten), während nicht-funktionale Anforderungen Aussagen über die Randbedingungen, z. B. Qualitäten, Usability oder „Look and Feel“, bei der Entwicklung geben. „Sie ergeben sich häufig im Kontext der funktionalen Anforderungen“ (Naumann, 2013, S. 126). Preece et al. (2002) erweitern die Anzahl der Anforderungsarten um folgende Liste, was auch der Anwendung in der Kartografie entgegen kommt:

- **Funktionale Anforderungen** geben Informationen darüber, was das Produkt machen sollte. Sie beschreiben eher Aspekte von interaktiven Produkten, z. B. wie mit diesen interagiert werden kann.
- **Daten-Anforderungen** spezifizieren die verwendeten Daten. Das ist auch in der Kartografie notwendig, um daraus Darstellungsmöglichkeiten abzuleiten.
- Anforderungen, die durch die **Produkt-Umwelt** oder den **Nutzungskontext** entstehen, beschreiben die Umstände unter denen das Produkt genutzt wird. Es wird unterschieden zwischen dem physischen Umfeld, z. B. der Nutzung bei Informationsveranstaltungen, dem sozialen Umfeld, z. B. Karten zur Kollaboration oder zur Information einzelner, dem Organisationsumfeld, z. B. welche Kommunikationsstrukturen für Rückfragemöglichkeiten gibt es und

dem technischen Umfeld, das z. B. bestimmt welche Technologie, wie Browser Plugins, als vorhanden vorausgesetzt werden können.

- **Nutzer-Anforderungen** beschreiben die speziellen Charakteristika der Nutzergruppe.
- **Usability-Anforderungen** definieren Usability Ziele.

Aus der Software-Entwicklung ist das sehr umfangreiche *Volere* Template bekannt (Robertson und Robertson, 2006). Das Template besteht aus 27 Einzelpunkten zu den fünf Bereichen Einflussfaktoren (*project drivers*), Randbedingungen (*project constraints*), funktionale Anforderungen (*functional requirements*), nicht-funktionale Anforderungen (*non-functional requirements*) und Projektangelegenheiten (*project issues*). Dieses und ähnliche Templates unterstützen das Ordnen und Organisieren von Anforderungen.

Im letzten Schritt erfolgt die Überprüfung der Anforderungen. Qualitätskriterien, in Anlehnung an den IEEE Standard 830-1998 (IEEE, 1998), sind z. B. Korrektheit, Eindeutigkeit, Vollständigkeit, Konsistenz (keine Widersprüche, konsistente Terminologie), Gewichtung (Muss-, Soll- und Wunschanforderung), Verifizierbarkeit, Nachvollziehbarkeit, Fähigkeit zur Änderung (Naumann, 2013, S. 126). Eine Anforderung ist überprüfbar, wenn bekannt ist, wie sie zu testen ist, oder bewiesen werden kann, dass sie erfüllt wird (Alexander und Beus-Dukic, 2009, S. 52).

#### 6.4.4 Anforderungen an Lärmkarten in der Lärmaktionsplanung unter Berücksichtigung verschiedener Einsatzmöglichkeiten und Formate<sup>4</sup>

Bei der Erstellung von Lärmkarten gibt es gesetzliche Vorgaben, Standards zur Darstellung und kartografische Konventionen, die berücksichtigt werden müssen. Aus diesen werden Grenzen und Möglichkeiten erfasst und mit den Anforderungen in Einklang gebracht. Die Anforderungen ergeben sich aus dem Projektziel, den Interessen verschiedener Gruppen und den technischen Möglichkeiten. Ausständige Informationen, die Anforderungen betreffend, wurde anhand verschiedener Methoden und Quellen erhoben. So wurden im Projekt *OptiLAP*<sup>5</sup> eine qualitative Analyse der in der ersten Phase verwendeten Lärmkarten erstellt, die mitunter als Problemstellung für diese Arbeit gilt (siehe Kap. 6.1). Es wurden im Rahmen dessen Gespräche mit den Projektpartnern (*Umweltbundesamt, Lärmkontor GmbH, konsalt Gesellschaft für Stadt- und Regionalanalysen und Projektentwicklung mbH*) und bei einem Workshop zum Thema „Information und Mitwirkung der Öffentlichkeit bei der Lärmaktionsplanung“ auch mit Akteuren aus ausgewählten Kommunen geführt. Um einen umfangreichen Überblick über den Status-Quo der Lärmkarten der zur Kartierung verpflichteten Kommunen, zu erhalten wurde eine Bestandsanalyse durchgeführt (siehe Kap. 6.2). Des Weiteren wurden Informationen verwendet, die durch Mitarbeit im Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI zur Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA) erlangt wurden.

Ziel der Analyse ist die Betrachtung der Lärmkartierung aus kartografischer Sicht, nicht aus technischer oder um schädliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesundheit zu mindern. Es wird anhand des *Volere* Templates nach Robertson und Robertson

<sup>4</sup> Die Anforderungen werden im Hinblick auf die kartografische Darstellung betrachtet, Aspekte von GIS und interaktiven Karten wurden ausgeblendet.

<sup>5</sup> siehe Schiewe et al., 2012

(2006) vorgegangen, das für die Kartografie bzw. die spezifische Fragestellung adaptiert wurde. In den Vordergrund rücken bei dieser Analyse die nicht-funktionalen Anforderungen, die so im Original nicht auftauchen. Hinzugefügt wurden die Punkte *Tasks* (8d) und die „Look and Feel Requirements“ (11) wurden gemeinsam mit dem hinzugefügten Punkt „Karteninhalte“ (10) unter dem Punkt „Nicht-funktionale Anforderungen“ gesetzt. Die „Appearance Requirements“ (11a) wurden umbenannt in „Anforderungen an die kartografische Darstellung“ und in Unterpunkte geteilt. Sie bilden mit dem Unterpunkt „Anforderungen an die Farben“ den Kern der Analyse. Unter den „Operativen Anforderungen“ wurden die beiden Punkte „Kontext der Verwendung,“ und „Zeitpunkt der Verwendung in der Lärmaktionsplanung“ ergänzt. Unter den Projektangelegenheiten wurde der Punkt „Zeitplan“ (26) hinzugefügt.

Um ein gewisses Maß an Überprüfbarkeit der Kriterien zu leisten, wird bei Anforderungen, die direkte kartografische Aspekte behandeln, ein **Erfolgskriterium (EK)** angegeben, das angibt, unter welchen Bedingungen eine Anforderung erfüllt ist.

Im Sinne des *user-centered designs*, das für Öffentlichkeitsbeteiligung als zielführend erachtet wird, werden im Weiteren v. a. Nutzer-Anforderungen beschrieben. Die Anforderungen anderer Interessenseigner, wie sie normalerweise im Rahmen einer Anforderungsanalyse beschrieben werden, werden nachrangig behandelt. Die Anforderungen sind vorrangig auf die Darstellung von flächenhaften Schallimmissionen abgestimmt. Anforderungen an ein Web-GIS werden nur behandelt, sofern sie die Darstellung oder die digitale Ausgabe betreffen, daher werden Funktionen und Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion vernachlässigt.

### Projekttreiber (*Project Drivers*)<sup>6</sup>

#### 1 Der Zweck des Projektes (*The Purpose of the Project*)

##### 1a Nutzer Angelegenheiten oder Hintergrund der Bestrebungen (*The user business or background of the project effort*)

Lärmkarten bilden die Grundlage für die Lärmaktionsplanung, das ist gesetzlich festgeschrieben (siehe Kap. 2.3.3). Sie spielen daher eine wichtige Rolle in der Kommunikation der Lärmbelastung. Die Öffentlichkeit erhält anhand von Lärmkarten einen Überblick über die Lärmsituation an einem bestimmten Ort. Bestenfalls werden daraufhin die Maßnahmen des Lärmaktionsplanes besser nachvollzogen. Laut Aussagen von Experten erfüllen, aber aktuelle Lärmkarten dieses Ziel oft nicht.

##### 1b Projektziele (*Goals of the Project*)

Die Motivation, Lärmkarten zu erstellen, ist für die meisten Kommunen extrinsisch, d. h. sie sind dazu verpflichtet. Das eigentliche Ziel, die Information „deutlich, verständlich und zugänglich“ zu vermitteln (RL 2002/49/EG, 2002, Art. 9, Abs. 2), ist auferlegt und die Erfüllung des Ziels kaum messbar. Deshalb variieren die tatsächlichen Ziele zwischen ehrgeizigen und motivierten Kommunen und anderen.

Die übergeordneten Ziele, „schädliche Auswirkungen, einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder

---

<sup>6</sup> Aspekte, die für diese allgemeine auf die Lärminformation bezogene Analyse nicht wichtig erschienen, wie zum Beispiel die Reaktionszeit, wurden zwar in der Liste belassen, aber in Grau dargestellt. Für die Entwicklung eines Web-GIS sind sie zu beachten. Die originalen englischen Bezeichnungen sind neben den Übersetzungen in runde Klammern gesetzt und kursiv geschrieben.

sie zu mindern“ sind in der RL 2002/49/EG der EU festgehalten (Art. 1, Abs. 1).

2 Auftraggeber, Kunden und andere Beteiligte und Betroffene (*The Client, the Customer, and other Stakeholders*)

2a Der Auftraggeber (*The Client*)

Vertreter der Kommune

2b Der Kunde (*The Customer*)

Der Kunde ist normalerweise derjenige, der das Produkt kauft, oder der Personenkreis für den das Produkt erstellt wird. Lärmkarten werden nicht als Produkt verkauft, aber ihr Zweck und der Personenkreis der davon Nutzen trägt, sind klar abgrenzbar. Infolgedessen ist im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung die Öffentlichkeit, also die Kartennutzer, als Kunden zu sehen, für die das Produkt Lärmkarte erstellt und verbessert wird.

2c Andere Beteiligte und Betroffene, außer den Nutzern (*Other Stakeholders*)

Beteiligte, die keine direkten Nutzer sind, sind v. a. die Ingenieursbüros, die an der Berechnung und Erstellung der Karten beteiligt sind. Sie schaffen die Datengrundlage, ihr Wissensstand und ihre Erfahrungen mit der Technologie sind daher auf Expertenlevel.

3 Praktische Kartennutzer (*Users of the Product*)

3a Praktische Nutzer (*The Hands-On Users of the Product*)

Siehe Tabelle 6.4

3b Priorisierung (*Priorities assigned to Users*)

Betroffene und interessierte Bürger haben als Fokusgruppe der Kartennutzung Priorität.

3c Nutzerbeitrag (*User Participation*)

Siehe Tabelle 6.4

3d Mit der Wartung und Instandhaltung betraute Nutzer (*Maintenance Users and Service Technicians*)

**Projekt (Rand)bedingungen (*Project Constraints*)**

4 Fixe Vorgaben (*Mandated Constraints*)

4a Vorgaben zur Lösung (*Solution Constraints*)

Für rechtliche Vorgaben siehe Kapitel 2.3.3

4b Implementationsumgebung (*Implementation Environment of the Current System*)

4c Zusatzprodukte (*Partner or Collaborative Applications*)

Eine Beschreibung oder Broschüre, die die Berechnung der Lärmindizes überblicksmäßig beschreibt und die zentrale Aussage zusammenfasst, wie es in der RL 2002/49/EG (Art. 9.2) gefordert wird.

Tabelle 6.4: Die praktischen Nutzer von Lärmkarten

Gruppe	Rolle und Verantwortung	Erfahrung und Wissen	Erfahrung mit der Technologie	Andere Charakteristika	Nutzerbeitrag
<b>Experten</b>	Berater: Verantwortung zur sachlichen Vorgehensweise	Expertenlevel	Zahlreich, aber Erfahrungen aus Expertenblick		Thematisches Expertenwissen
<b>Interessensgruppen</b>	Opposition: Verantwortung eine Position zu Gunsten der zu Vertretenden zu beziehen	Expertenlevel	Zahlreich, Expertenblick und Nutzersicht	Kritische Haltung, stehen eher auf Seiten der Nutzer oder der Umwelt	Kritik und Einsatz für die jeweiligen Prioritäten
<b>Politik</b>	Entscheider: Verantwortung ausgeglichen, begründete Entscheidungen zu treffen	Kaum Wissen bis Grundwissen	Unterschiedlich, eher wenig	Verfolgung politischer Interessen	
<b>Verwaltung</b>	Ausführende Organe: Verantwortung ausgeglichen, begründete Entscheidungen zu treffen	Grundwissen bis Expertenlevel	Wenig bis zahlreich		Praktische Erfahrungen mit Lärmkarten
<b>Medien</b>	Kommunikatoren: Verantwortung als Stimmungsgeber durch die Berichterstattung	Kaum Wissen bis Grundwissen	Unterschiedlich, eher wenig	Große Reichweite	
<b>Betroffene Bürger</b>	„Leidensträger“: Verantwortung sich einzubringen	Kaum Wissen bis Grundwissen, vereinzelt Expertenwissen	Unterschiedlich, wenig bis viel Erfahrung	Nur bestimmte Gruppen bringen sich bei Foren und ähnlichen Veranstaltungen ein, v. a. gut gebildete Männer über 40	Sichtweise der Betroffenen und Anwender
<b>Interessierte Bürger</b>	Beobachter: Verantwortung sich einzubringen	Kaum Wissen bis Grundwissen, vereinzelt Expertenwissen	Unterschiedlich, wenig bis viel Erfahrung	siehe oben	Sichtweise der Anwender

#### 4d Kommerzielle Software (*Off-the-Shelf Software*)

Keine, die zwingend verwendbar ist, allerdings gibt es zur Berechnung und Visualisierung der Schallimmissionen in Deutschland mehrere Varianten, unter anderem *CadnaA* von der *DataKustik GmbH*, *IMMI* von *Wölfel Meßsysteme*, *SoundPLAN* von der *SoundPLAN GmbH* und *LI-MA* der *Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft mbH*.

#### 4e Erwartete Nutzungsumgebung (*Anticipated Workplace Environment*)

Generell kann bei der Kartennutzung zwischen zwei Nutzungsformen unterschieden werden:

- den digitalen Lärmkarten und
- den analogen Lärmkarten.

Die Nutzung digitaler Karten findet v. a. im Internet statt, wo sich Personen informieren oder gezielt beteiligen. Unterschieden werden kann die klassische Anwendung am Computer und die mobile Anwendung am Smartphone und Tablet, die bisher kaum berücksichtigt wird. Analoge Karten finden bei Lärmforen, bei Diskussionen, am Amt und in Broschüren Verwendung. Die Grenze zwischen digitalen und analogen Karten wird derzeit in der Praxis kaum gezogen und im Kartendesign berücksichtigt. Neun der 27 Kommunen die in der zweiten Runde der Lärmkartierung 2012 verpflichtet waren Karten zu erstellen, haben ein PDF angeboten, eine weitere Kommune eine Karte in einem anderen Bildformat. Diese PDFs werden meistens eher für die analoge Verwendung optimiert und dann digital zur Verfügung gestellt. Da die Darstellung je nach Nutzungsform stark variiert ist diese zu Beginn festzulegen. Diese Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit der digitalen Nutzung.

#### 4f Terminliche Vorgaben (*Schedule Constraints*)

Lärmkarten müssen laut EU-Richtlinie 2002/49/EG alle fünf Jahre erstellt werden und die Schallimmissionen des vorangegangenen Jahres enthalten. Das Datum der Bereitstellung der Karten und des Lärmaktionsplanes wird bekannt gegeben und sollte eingehalten werden.

#### 4g Finanzielle Vorgaben (*Budget Constraints*)

Das zur Verfügung stehende Budget variiert zwischen den Kommunen, es gibt keine festgelegte Summe, z. B. pro Einwohner, die vom Bundesland oder Bund zur Verfügung gestellt wird.

### 5 Namenskonventionen und Definitionen (*Naming Conventions and Definitions*)

#### 5a Definitionen und Akronyme der im Projekt verwendeten Wörter (*Definitions of all terms, including acronyms, used in the project*)

Siehe Anhang A

#### 5b Überblick und Erläuterung der Daten (*Data Dictionary for any Included Models*)

Eine allgemeine Erläuterung der Daten befindet sich in Kapitel 6.3.1.

6 Relevante Gegebenheiten und Annahmen (*Relevant Facts and Assumptions*)

**Funktionale Anforderungen (*Functional Requirements*)**

7 Der Handlungsrahmen (*The Scope of the Work*)

7a Die aktuelle Situation (*The Current Situation*)

Siehe Kapitel „Umgebungs­lärm und Lärmkartierung“ 1.1, „Rechtliche Grundlagen“ 2.3.3, „Kartografische Analyse“ 6.1 und „Bestandsanalyse“ 6.2.

7b Der Kontext der Arbeit (*The Context of the Work*)

Siehe „Abgrenzung der Arbeit“ 1.3

7c Vorgänge bei der Verwendung von Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung (*Work Partitioning*)

Siehe Tabelle 6.5

8 Anwendungsbereich (*The Scope of the Product*)

8a Die Grenze des Anwendungsbereichs (*Product Boundary*)

Der Anwendungsbereich ist die Öffentlichkeitsbeteiligung.

8b Liste der *Use Cases* (*Product use case list*): Sind bei der Entwicklung eines Lärm-GIS oder Umweltinformationssystems zu empfehlen, werden hier aber da der Schwerpunkt bei der Kartendarstellung liegt, nicht aufgeführt.

8c Beschreibung der individuellen *Use Cases* bzw. Szenarien (*Individual Product Use Cases*): siehe oben

8d Nutzerfragen, die sich an Lärmkarten ergeben (*Tasks*)

Für eine systematische Auflistung der Nutzerfragen, die sich an Lärmkarten ergeben, siehe Kapitel 6.3.

9 Anforderungen an Funktionen und Daten des Produkts (*Functional and Data Requirements*)

9a Funktionale Anforderungen (*Functional Requirements*)

9b Anforderungen an die Daten (*Data Requirements*)

Die Daten müssen mit gesetzlichen Vorgaben konform sein. Sie sind vollständig, falls nicht, muss das klar anhand von kartografischen Gestaltungsmitteln und Zusatzinformation kommuniziert werden. *EK*<sup>7</sup>: Die Daten werden ausschließlich aus verlässlichen Quellen bezogen, somit kann eine einwandfreie Berechnung nach Vorgaben sichergestellt werden. Sie werde bei der Kartenerstellung nicht verändert. Die Quelle, der Ersteller, das Erhebungs- und Erstellungsdatum werden auf der Karte angegeben. Angaben in der Legende erläutern klar den dargestellten Inhalt und eventuell nicht berechnete Flächen.

**Nicht-funktionale Anforderungen (*Non-functional Requirements*)**

---

<sup>7</sup> Das Erfolgskriterium gibt an, wann eine Anforderung erfüllt ist.

**Tabelle 6.5:** Prozesse rund um Lärmkarten zur Öffentlichkeitsbeteiligung, deren Ergebnisse Input (in) für Lärmkarten oder Output (out) daraus darstellen

Name des Vorgangs	Input für LK und Output aus LK	Zusammenfassung
Politik entscheidet über Gesetze und Verordnungen	Gesetze und Verordnungen (in)	Entsprechend des politischen Programms werden Gesetze zum Schutz der Menschen und der Umwelt geschaffen
Ingenieurbüros berechnen Daten	Daten (Ergebnisse der Berechnungen) (in)	Berechnung auf Basis der Richtlinien und Verordnungen
Ingenieurbüros erstellen Karten	Karten (in)	Erstellung tlw. auf Basis von Richtlinien und Verordnungen
Kommunen führen LAP durch	Massnahmen zur Lärminderung (out)	Maßnahmen zur Lärminderung werden auf Basis der Erkenntnisse aus Lärmkarten gesetzt
Kommunen verwenden Lärmkarten	Kommunikation mit den Bürgern (out)	Kommunikation der Lärmsituation auf Basis der Lärmkarten in öffentliche Veranstaltungen, Broschüren und im Internet
Medien kommunizieren die Ergebnisse und die Lärmproblematik	Medienberichte (out)	Medien identifizieren, was von Interesse für die Öffentlichkeit sein könnte und berichten darüber
Bürger informieren sich	Kommunikation (out)	Interessierte Bürger informieren sich anhand von Lärmkarten über die Lärmsituation einer Region
Interessierte Bürger beteiligen sich	Beteiligung/Beiträge (out)	Interessierte Bürger beteiligen sich auf der Basis der in den Lärmkarten enthaltenen Information an Aktionen mit dem Ziel der Lärminderung
Betroffene Bürger beteiligen sich	Beteiligung/Beiträge (out)	Betroffene Bürger erhalten im Idealfall anhand von Lärmkarten ein Instrument um ihre Interessen zu vertreten. Sie beteiligen sich auf verschiedene Arten, die von den Kommunen geboten werden oder durch Eigeninitiative
Interessensgruppe teilt Expertenwissen	Expertenwissen (out)	Beurteilen die Lärmkarten anhand ihres Wissens kritisch
Interessensgruppe teilt Anwenderwissen	Anwenderwissen (out)	Beurteilen die Lärmkarten im Hinblick auf die Anwendung

10 Karteninhalte

10a Grundkarte

Wird nach kartografischen Normen erstellt; siehe Punkt 11a und Kapitel 6.1.

10b Schallimmissionen in Form der Lärmindizes  $L_{den}$  und  $L_{night}$ :

- Flächenhafte Darstellung mittels klassifiziertem Rasterpegel oder Iso-phonenbandkarte (Abb.6.1) (verpflichtend)
- Zusätzlich eventuell Darstellung des Fassadenpegels oder Differenz-pegels

10c Betroffenenzahlen (nur die tabellarische Angabe ist verpflichtend)

11 *Look and Feel Requirements*

11a Anforderungen an die kartografische Darstellung (abgeleitet aus den *Appearance Requirements*)

- Kartengrundlage
  - Die Kartengrundlage muss an das Kartenformat angepasst werden. *EK*: Der Maßstab und der Detailgrad werden durch das Format (Größe, analog/digital) bestimmt, sodass der Inhalt gut lesbar ist und die Darstellung entsprechend der *Tasks* Sinn ergibt.
  - Die Kartengrundlage ermöglicht die Orientierung in der Karte. *EK*: Sie beinhaltet ausreichend Topografie und Beschriftung, um eine Orientierung zu ermöglichen, d. h. die Nutzer finden Punkte von Interesse einfach.
  - Der Hauptinhalt, die Schallimmission, hebt sich deutlich von der Kartengrundlage ab. *EK*: Der Hauptinhalt wird sofort als solcher erkannt. Es darf keine Ablenkung durch andere Karteninhalte geben.
  - Lärmindizes können einfach in einer angemessenen Zeit abgelesen werden. *EK*: Die gewählte Darstellung ist den Nutzern bekannt (wie Höhenschichtlinien), um eine schnelles<sup>8</sup> Ablesen zu ermöglichen.
  - Gebiete, für die es keine Berechnung gibt, müssen gekennzeichnet werden. *EK*: Der gesamten Fläche der Karte lässt sich eindeutig ein Wert zuordnen.
- Kartentyp

Der Kartentyp muss den Vorgaben entsprechen. *EK*: Die Lärmindizes müssen als Isophonen-Bänder dargestellt werden, d. h. auch eine Darstellung als klassifizierte Rasterpegel ist möglich.

---

<sup>8</sup> Wie „schnell“ definiert wird hängt vom Nutzungskontext ab. Bei einer Diskussion auf Grundlage eines Wandplans bei einem Forum können sich die Nutzer eventuell länger zum Explorieren der Karte Zeit nehmen als wenn sie in einem Web-GIS einen kleinen Ausschnitt einer Karte sehen. Generell ist die Aufmerksamkeitsspanne bei Internetnutzung geringer, d. h. Funktionen wie Adresssuche und Ausgabe von Kontextinformation bei *mouseover* sollten Standard sein.

- **Anforderungen an die Farben**

- **Das Farbschema ermöglicht sowohl eine sinngemäße Zuordnung der Farben zur Legende, als auch Interpretation der Lärmsituation**

Die Farben sind intuitiv den ansteigenden Werten und deren Charakteristik zuzuordnen (F 2.2, 2.3). *EK*: Die verwendeten Farben müssen nach wahrnehmbaren Parametern zu ordnen sein. Sie erscheinen entweder alle gleich wichtig, oder es werden Farben, die spezielle Klassen spezifizieren, durch ihre qualitative Aussage richtig interpretiert.

Das Farbschema führt weder zu einer Über-, noch zu einer Unterschätzung der Schallimmissionen (F 2.1, 2.3). *EK*: Der Lärm wird anhand der Darstellung weder überschätzt, noch unterschätzt werden.

Das Farbschema ermöglicht die relative Erfassung der Lärmsituation, d. h. Hotspots werden anhand von erkennbaren Wirkungsklassen (Kap. 7.1.2) im Farbschema möglichst ohne Legende erkannt (F 3). *EK*: Gebiete werden anhand des neuen Farbschemas richtiger entsprechend der relativen Lärmbelastung eingeschätzt als mit dem DIN-Schema.

- **Visuelle Zuordenbarkeit**

Die Farben sind den Werten in der Legende visuell klar zuzuordnen (F 2.4, 2.5). *EK*: Die Farben müssen eindeutig einer Klasse in der Legende zuzuordnen sein.

- **Unterscheidbarkeit**

Die Farben sind generell und bei Darstellung auf verschiedenen Bildschirmen unterscheidbar (F 2.4). *EK*: Die Farben sind voneinander unterscheidbar, d. h. sie sind klar voneinander zu unterscheiden und einer Klasse der Legende zuzuordnen.

Die Unterscheidbarkeit ist bei Darstellungen in verschiedenen Maßstäben gegeben. *EK*: Auch die Farben von kleinen, detaillierten Flächen müssen den Klassen in der Legende gut zuzuordnen sein.<sup>9</sup>

Farben bei Anwendung für verschieden große Flächen müssen deutlich unterscheidbar sein. *EK*: Auch die Farben von kleinen, detaillierten Flächen müssen den Klassen in der Legende gut zuzuordnen sein.

Die Farben sind auch von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit deutlich zu unterscheiden (F 2.5). *EK*: Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit sind in der Lage „Problem-Farbpaare“ zu unterscheiden.

---

<sup>9</sup> Die Unterscheidbarkeit bei verschiedenen Maßstäben wurde in dieser Arbeit nicht explizit getestet, aufgrund der natürlichen Anordnung der Isophonen ergeben sich aber verschieden große Flächen. Zusätzlich war durch die Onlinestudie aufgrund der verschiedenen Bildschirmauflösungen der Nutzer gewährleistet, dass die Karten in unterschiedlicher Größe dargestellt wurden.

- Symbolik

Die Karte verwendet Symbole, die eindeutig für die Nutzer verständlich sind. *EK*: Die Bedeutung der Symbole ist mit durchschnittlicher Erfahrung nachvollziehbar.

- Beschriftung und Landmarks

Landmarks sind eindeutig zu erkennen. *EK*: Landmarks, z. B. U- und S-Bahn Symbole, sind mit bekannten, intuitiv erkennbaren Symbolen dargestellt.

Beschriftung ist vorhanden und lesbar. *EK*: Die Größe der Beschriftung ist dem Maßstab anzupassen. Bei kleinem Maßstab müssen Details weggelassen werden und nur Beschriftung, die dem Überblick dient verwendet werden.

### 11b Anforderungen an die Ausführung (*Style Requirements*)

- Allgemeine Kartenbestandteile

- Die Karte muss einen Titel tragen, der einen eindeutigen Hinweis auf den Karteninhalt gibt.
- Die Karte muss mit einem Datum versehen sein, das Information über die Aktualität der Daten gibt.
- Quellenangaben müssen vorhanden sein.
- Es muss ein Maßstab angegeben sein.
- Eine Kartenlegende muss alle in der Karte dargestellten Inhalte erklären.

- Anforderungen an Bildschirmkarten

- Die Farben müssen im RGB Modus sein.
- Die Strichstärke muss angepasst werden. *EK*: Es dürfen keine Haarlinien verwendet werden. Die Linienstärke muss an den Maßstab und die Auflösung angepasst werden.
- Die Objektgröße muss angepasst werden. *EK*: Die Objekte müssen in ihrer Größe dem gegebenen Maßstab und der Auflösung angepasst werden, ggf. ist zu generalisieren.
- Der Abstand zwischen Objekten muss angepasst werden. *EK*: Die Objekte müssen in ihrer Größe dem gegebenen Maßstab und der Auflösung angepasst werden, ggf. ist zu generalisieren.
- Der Detailgrad muss angepasst werden. *EK*: Der Detailgrad ist so zu wählen, dass der Karteninhalt bei gegebenem Maßstab und Auflösung gut lesbar sind.
- Die Schriftart muss angepasst werden. *EK*: Bei digitaler Verwendung dürfen aufgrund mangelnder Auflösung keine kursiven- oder Serifenschriften verwendet werden.

### 12 Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit

12a Anforderungen die Benutzerfreundlichkeit betreffend (*Ease of Use Requirement*)

Das Produkt ist von Bürgern mit einer durchschnittlichen Bildung, kaum kartografischen Kenntnissen und akustischem Grundwissen einfach zu verstehen und zu nutzen, d. h. die grundlegenden *Tasks (Lookup)* und (*Pattern Comparison*) sind auszuführen. *EK: Tasks* sind von einer gemischten Teilnehmergruppe mit dem neuen Farbschema besser auszuführen als mit dem DIN-Schema.

12b Personalisierung und Internationalisierung (*Personalization and Internationalization Requirements*)

Personalisierung, im Sinne der Adaptierung der Karte an Nutzer bzw. Nutzungskontexte, wird im Kontext der Verbesserung der kartografischen Darstellung als nachrangig bzw. für analoge Karten als hinfällig gewertet. Internationalisierung im Kontext der Öffentlichkeitsbeteiligung einer Kommune ist auf kurze Sicht eher nachrangig. Langfristig jedoch, ist eine Erhöhung der Vergleichbarkeit von Lärmkarten verschiedener Kommunen und Länder ratsam und wird in dieser Arbeit angestrebt. Lärmkarten sind daher unter Einhalten der Vorgaben in erster Linie für die Öffentlichkeitsbeteiligung der Kommune zu gestalten. In zweiter Linie sind internationale Standards und Konventionen in Betracht zu ziehen, um die Vergleichbarkeit der Karten international zu erhöhen. *EK: Die Ergebnisse dieser Arbeit sind auf andere EU-Staaten übertragbar (F 4).*

12c Anforderungen an das Lernen der Karten (*Learning Requirements*)

Durchschnittliche Bürger sollten zum Verstehen der Karten kaum Lernzeit benötigen. Nach dem Lesen des Informationstexts und der Definitionen sind alle *Tasks* zu bewältigen. *EK: Tasks* sind von einer gemischten Teilnehmergruppe gut zu auszuführen. Verwendete Bildsprache und Farben sind assoziativ.

12d Anforderungen, die das intuitive Verständnis der Karten betreffen (*Understandability and Politeness Requirements*)

Die in der Karte dargestellten Lärmindizes sind nachvollziehbar. Unterstützend wirken qualitative Zusatzangaben und Erklärungen. *EK: Trotz mangelnder Grundkenntnisse der Akustik kann der Karteninhalt anhand der Erläuterungen verstanden werden.*

12e Zugänglichkeit (*Accessibility Requirements*)

Die Karten können auch von Menschen mit Farbsehschwäche interpretiert werden. *EK: Menschen mit Farbsehschwäche können die Farben eindeutig unterscheiden und ablesen. (F 2.5)*

13 Anforderungen an die Performance (*Performance Requirements*)

13a Reaktionszeit (*Speed and Latency Requirement*)

13b Sicherheitsanforderungen (*Safety-critical Requirement*)

13c Anforderungen an die Genauigkeit (*Precision or Accuracy Requirements*)

Die Genauigkeit der Daten entsprechend Vorgaben muss gewährleistet sein. *EK: Es werden nur Daten aus zuverlässigen Quellen verwendet. Die*

Daten dürfen für die Kartierung nicht verändert werden und wenn, dann unter Einhaltung der Vorgaben und physikalischen Gesetze.

Die Kartierung darf den „Charakter“ der Daten nicht verschleiern. Es darf nicht der Anschein erweckt werden, dass z. B. unvollständige Daten vollständig sind. *EK*: „Ungereimtheiten“ in den Daten, z. B. Unvollständigkeit, Lücken etc. müssen gekennzeichnet und in der Legende erklärt werden.

13d Anforderungen an die Verlässlichkeit und Erreichbarkeit (*Reliability and availability requirements*)

13e Anforderungen an die Robustheit und Fehlertoleranz (*Robustness or fault-tolerance requirements*)

13f Anforderungen an das Datenvolumen (*Capacity Requirements*)

Steht die Karte im Internet als PDF zum Download bereit, ist ihre Größe für einen Standardnutzer zum Download mit Standardinternetanschluss bewältigbar und der Bildaufbau beim Zoomen in das PDF auch nach dem Download ist angemessen<sup>10</sup>, was in der Praxis zurzeit nicht der Fall ist.

13g Anforderungen an Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit (*Scalability or Extensibility Requirements*)

13h Anforderungen an die Lebensdauer (*Longevity Requirements*)

14 Operative und umgebungsbedingte Anforderungen (*Operational and Environmental Requirements*)

14a Erwartetes physisches Umfeld der Verwendung (*Expected Physical Environment*)

Die Anforderungen sind an den jeweiligen Nutzungskontext anzupassen:

- Die Karte ist in einer Broschüre verwendbar (großer Maßstab).
- Die Karte ist kleinmaßstäbig, z. B. als Wandplan, verwendbar, der einen Überblick gibt.
- Die Karte kann bei Lärmforen projiziert werden.
- Die Karte ist digital am Bildschirm verwendbar.

14b Kontext der Verwendung

- Selbstauskunft anhand digitaler Karten im Internet oder anhand analoger Karten bei einem Aushang am Amt
- Verwendung bei Diskussionen, z. B. bei Veranstaltungen zur Öffentlichkeitsbeteiligung, Bürgerforen etc.
- Verwendung in Präsentationen, z. B. von Ergebnissen

14c Zeitpunkt der Verwendung in der Lärmaktionsplanung (Abb. 6.4)

*Phase 1: Information über die derzeitige Lärmsituation*

<sup>10</sup> Was als angemessen gilt, ist entsprechend dem Stand der Technik zu bewerten. Die Lärmkarte für Hamburg wurde 2007 als PDF mit einer Größe von 17 MB angeboten, die Nutzung ist durch den langsamen Bildaufbau sehr beschwerlich.

*Phase 2:* Lärmkarten dienen der Mitwirkung der Öffentlichkeit an der Ausarbeitung eines Lärmaktionsplanes und sind somit Diskussionsgrundlage

*Phase 3:* Zur Überprüfung der Maßnahmen

14d Einbindung in angrenzende Systeme (*Requirements for Interfacing with Adjacent Systems*)

Lärmkarten sind ein eigenständiges Produkt, sie müssen daher nicht zwangsläufig an bestehende Systeme gekoppelt werden. Jedoch sind sie als Grundlage der Lärmaktionsplanung so zu gestalten, dass sie in diese eingebunden werden können und werden oftmals mit weiterer Umweltinformation in einem Web-GIS angeboten.

14e Verbreitung und Bereithaltung (*Productization Requirements*)

Um Lärmkarten zu einem zur Veröffentlichung geeigneten Produkt zu machen, werden die genannten Anforderungen eingehalten und digitale Karten in einem Standardformat angeboten.

14f Anforderungen an die Veröffentlichung der Versionen (*Release Requirements*)

15 Wartungsanforderungen (*Maintainability and Support Requirements*)

15a Wartungsanforderungen (*Maintenance Requirements*)

15b Anforderungen an die Unterstützung zur Verwendung der Karten (*Supportability Requirements*)

In Broschüren und im Internet verwendete Karten sind selbsterklärend bzw. beinhalten einen Erklärungstext. Lediglich bei Foren verwendete Karten dürfen nicht selbsterklärend sein, wenn sie von einem Experten erklärt werden.

15c Anforderungen an die Adaptierbarkeit (*Adaptability Requirements*)

16 Sicherheitsanforderungen (*Security Requirements*)

16a Anforderungen an die Zugänglichkeit (*Access Requirements*)

Der Karteninhalt ist für die breite Masse technisch und auch inhaltlich zugänglich, was durch eine passende Darstellung und entsprechende Formate erreicht wird.

16b Anforderungen an die Rechtsschaffenheit (*Integrity Requirements*)

16c Datenschutz-Anforderungen (*Privacy Requirements*)

Kommen z. B. zum Tragen wenn die Öffentlichkeit aktiv beteiligt wird, etwa durch ein *participatory GIS*, oder Zahlen der Betroffenen veröffentlicht werden.

16d *Audit Requirements*

16e *Immunity Requirements*

17 Kulturelle und politische Anforderungen (*Cultural and Political Requirements*)

17a Kulturbedingte Anforderungen (*Cultural Requirements*)

Die Zeichensprache und Farben der Karten sind „kulturunabhängig“ zumindest in der Region der Verwendung verständlich.

17b Politische Anforderungen (*Political Requirements*)

Die Darstellung und der Inhalt in den Karten unterliegen keinen politischen Motiven und sind sachlich korrekt.

18 Rechtliche Anforderungen (*Legal Requirements*)

Siehe Kapitel 2.3.3

**Projektangelegenheiten (*Project Issues*)**

19 Offene Punkte (*Open Issues*)

20 Fertigprodukte (*Off-the-Shelf Solutions*)

20a Produkte von der Stange (*Ready-made Products*)

20b Wiederverwendbare Komponenten (*Reusable Components*)

Kartografische Darstellungsvarianten können auch für andere Umweltinformationssysteme verwendet werden.

20c Kopierbare Produkte (*Products that can be copied*)

21 Neue Probleme (*New Problems*)

21a Effekte auf die bestehende Produktumwelt (*Effects on the Current Environment*)

Lärmkarten erleichtern die Kommunikation, führen zu mehr Anschaulichkeit und einer gesteigerten Nachvollziehbarkeit, was den Prozess allgemein erleichtert.

21b Effekte auf bereits vorhandene Karten (*Effects on the Installed Systems*)

Effekte auf Karten der Kartierungsrunden 2007 und 2012 bestehen nicht.

21c Potenzielle Nutzerprobleme (*Potential User Problems*)

Nutzerprobleme, die speziell durch die neue Version entstehen, werden nicht erwartet.

21d Einschränkungen der erwarteten Produktumwelt, die die neue Karte hemmen könnten (*Limitations in the Anticipated Implementation Environments that may inhibit the new Product*)

Keine erwartet

21e Folgeprobleme (*Follow-up Problems*)

Keine spezifischen erwartet

22 Projekt-Aufgaben (*Tasks*)

22a Projekt Planung (*Project Planning*)

22b Planung der Entwicklungsphasen (*Planning of the Development Phase*)

23 Migration zum neuen Produkt (*Migration to the New Product*)

23a Anforderung an die Migration zur neuen Karte (*Requirements for Migration to the New Product*)

23b Daten die an das neue System angepasst werden müssen (*Data that have to be modified or translated for the new system*)

24 Risiken (*Risks*)

25 Kosten (*Costs*)

26 Zeitplan

Der Zeitplan der Veröffentlichung der Lärmkarten ist laut EU vorgegeben.

27 Benutzerdokumentation und Schulung (*User Documentation and Training*)

27a Anforderungen an die Dokumentation (*User Documentation Requirements*)

Die Dokumentation (Erklärung der Karteninhalt, akustischer Kennwerte etc.) ist allgemein verständlich.

27b Training der Nutzer (*Training Requirements*)

28 Warteraum (*Waiting Room*)

29 Lösungsideen (*Ideas for Solutions*)

### 6.4.5 Beantwortung der Forschungsfrage 1

#### **Forschungsfrage 1: Welche Anforderungen werden an die Darstellung in Lärmkarten gestellt?**

*Herleitung:* Für die nutzer- und anwendungsfallorientierte Entwicklung ist es notwendig systematisch vorzugehen und Anforderungen an das Endprodukt zu bestimmen, die gegebenenfalls gewichtet werden können. Der Anforderungskatalog gibt den Entwicklungsrahmen vor und legt fest, wann Anforderungen erfüllt sind.

In die Anforderungsanalyse flossen Erkenntnisse aus einer Literaturrecherche, der kartografischen Analyse, der Bestandsanalyse und aus persönlichen Gesprächen mit Akteuren der Lärmaktionsplanung und Behördenvertretern.

Grundsätzlich kann zwischen funktionalen- und nicht-funktionalen Anforderungen unterschieden werden, beide stellen den Kern der Anforderungsanalyse dar. Nachdem in dieser Arbeit statische Lärmkarten betrachtet werden, sind die nicht-funktionalen Anforderungen von größerer Bedeutung. Sie umfassen die Karteninhalte, die kartografische Darstellung und Ausführung, die Gebrauchstauglichkeit und die operativen und umgebungsbedingten Anforderungen. Die Karteninhalte sind in Lärmkarten weitgehend vorgeschrieben, diese Rahmenbedingungen sind in den Projektrandbedingungen als Teil der Anforderungsanalyse festgehalten. Freiheit besteht bei der kartografischen Darstellung und Ausführung, deshalb wurden dafür umfangreiche Anforderungen definiert, die insgesamt das Ziel haben die Nutzerfreundlichkeit zu bessern.

Da die Farben die grafische Variable zur Darstellung sind und es bisher außer dem Konferenzbeitrag von Alberts und Alferez (2012) keine wissenschaftlichen Arbeiten gibt, die dieses Thema im Speziellen behandeln, wurden detaillierte Anforderungen für die Farben erstellt und das entwickelte Farbschema im Hinblick darauf getestet. Die Anforderungen betreffen folgende drei Aspekte:

- Unterscheidbarkeit,
- visuelle Zuordenbarkeit und
- die sinngemäße Zuordnung der Farben zur Legende und Interpretation der Lärmsituation.

Die ersten beiden Aspekte betreffen die visuelle Wahrnehmung, der dritte die Assoziation, die mit den Farben und dargestellten Werten verbunden wird. Sie wurden alle drei aus den *Tasks* abgeleitet. Die Unterscheidbarkeit der Farben und die Zuordnung zu den Farbfeldern in der Legende ist eine Grundvoraussetzung für Ableseaufgaben (*Lookup Tasks*) und diverse Vergleiche (*Pattern Comparison*). *Tasks* wie die Musteridentifikation (*Pattern Identification*) oder die Suche nach Verbindungen (*Relation-Seeking*) hingegen werden durch assoziative Farben erleichtert, da sie die intuitive Interpretation unterstützen.

Neben den Anforderungen an die Farben bestehen im Hinblick auf die kartografische Darstellung auch Anforderungen an die Grundkarte, die verwendeten Symbole, die allgemeinen Kartenbestandteile und deren Anpassung an die Nutzungsumgebung.

## 6.5 Zwischenresümee: Praktische Beispiele, *Tasks* und Anforderungen bilden die Problemstellung

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die verwendeten Lärmkarten in Deutschland, welche *Tasks* Nutzer damit erfüllen wollen und welche Anforderungen an Lärmkarten zur Verwendung in der Öffentlichkeitsbeteiligung bestehen.

Die kartografische Analyse und die Bestandsanalyse sind als Problemstellung zu sehen, sie zeigen die Mängel und Probleme der Lärmkarten auf und quantifizieren diese. Da die grundsätzliche Darstellungsart als Isophonen-Bänder gesetzlich vorgegeben ist, besteht Handlungsbedarf v. a. beim Farbschema, denn das zurzeit verwendete nach DIN 18005-2:1991 entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen. Weiterer Handlungsbedarf neben den akustischen Inhalten besteht bei den Kartenrandangaben, die oft unvollständig sind, den Zusatzinformationen, die zum Verständnis der Inhalte notwendig sind und der Grundkarte, die großteils nicht den Anforderungen einer Bildschirmkarte entspricht.

Als Grundlage für das Design von Darstellungsvarianten wurden die *Tasks* bestimmt, die von den Nutzern ausgeführt werden. Dass zum Beispiel die Suche bestimmter Werte (*Lookup*) eine gute Unterscheidbarkeit der Farben voraussetzt, oder die Identifikation von Mustern ein Farbschema, dass die Werte sinnvoll entsprechend ihrer Charakteristik präsentiert, wurde in den Anforderungen an die Farben berücksichtigt.

Die Anforderungsanalyse beantwortet die Forschungsfrage 1 „*Welche Anforderungen werden an die Darstellung in Lärmkarten gestellt?*“ und gibt einen systematischen Überblick über Aspekte, die bei der Erstellung von Lärmkarten zu berücksichtigen sind. Sie spezifiziert Anforderungen v. a. in den folgenden Bereichen: Projekttrandbedingungen, funktionale Anforderungen und nicht-funktionale Anforderungen. Die Projekttrandbedingungen beschreiben den Kontext, in dem Lärmkarten verwendet werden und die Interessenseigner. Funktionale Anforderungen wurden in dieser Arbeit vernachlässigt, würden aber bei der Entwicklung eines Lärm-GIS gezielt nötige Funktionen beschreiben. Die nicht-funktionalen Anforderungen bilden den Kern, denn sie definieren die Anforderungen an die kartografische Darstellung.

Die Anforderungen an die Farben, die in diese Kategorie fallen, wurden etwas genauer ausgearbeitet. Es werden hier die Unterscheidbarkeit, die visuelle Zuordenbarkeit der Farben zur Legende und die sinngemäße Interpretation entsprechend der Werte und ihrer Bedeutung genannt. Aus diesen Anforderungen wurden die weiteren Forschungsfragen abgeleitet und anhand der Nutzerstudien beantwortet.



# 7

## Entwicklung und Evaluierung des Farbschemas

### 7.1 Entwicklung eines neuen Farbschemas

Dieses Kapitel beschreibt die Entwicklung eines neuen Farbschemas, die nachfolgenden die Evaluation desselben in Experimenten und Studien. Im Laufe der Arbeit ergab sich eine Mitarbeit im Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI zur Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA). Die regelmäßigen Diskussionen flossen in die Entwicklung ein und das Farbschema wurde zur Aufnahme in die DIN vorgelegt, die endgültige Beschlussfassung stand zum Zeitpunkt der Publikation noch aus. Bei der Konzeption des Farbschemas fand daher eine starke Orientierung am konkreten Anwendungsfall Lärmkarten statt. Das heißt, in der Evaluation entsprachen sowohl die Aufgaben sowie die Gestaltung der Karten, im Hinblick auf die Lärmimmission, realen Beispielen. Durch die Verteilung des Schallpegels im Raum z. B. ergibt sich immer eine bestimmte Abfolge von Farben, es werden in der Regel nur bei Abschattung durch Gebäude oder bei bestimmten topografischen Gegebenheiten Klassen übersprungen. Des Weiteren sind stark belastete Flächen meistens nur sehr klein, liegen an den Straßen und kollidieren somit mit dem Symbol derselben. Diese praktischen Beispiele unterscheiden sich daher mitunter von Beispielen, die man für klassische Grundlagenforschung erstellen würde. Diese Tatsache ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen, dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse auf ähnliche Anwendungsfälle übertragbar sind.

Obwohl die Entwicklung iterativ verlief und die Ergebnisse der Studien bei der Entwicklung berücksichtigt wurden (Abb. 7.1), werden die einzelnen Schritte hier gesammelt beschrieben. Dabei werden jeweils die Ergebnisse, die Einfluss auf das Schema nahmen zusammengefasst, eine umfangreichere Auswertung ist jedoch in den entsprechenden Kapiteln zu lesen. Die Konsequenzen der Ergebnisse auf die

Entwicklung des Farbschemas sind jeweils am Ende des Resümees des jeweiligen Kapitels zusammengefasst.

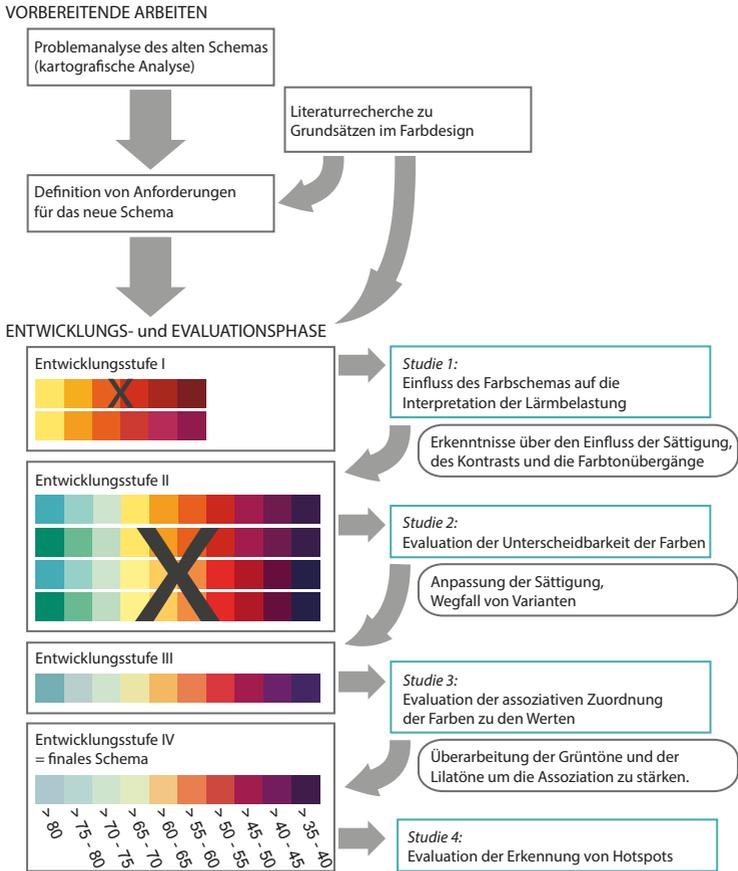


Abbildung 7.1: Überblick über das iterative Vorgehen bei der Farbschemenentwicklung.

### 7.1.1 Methodisches Vorgehen

Bei der Entwicklung des Farbschemas wurde wie folgt vorgegangen (Abb. 7.1):

- a) Eine **Problemanalyse** des alten Schemas (Kap. 6.1) und die **Definition von Anforderungen** (Kap. 6.4) für die Anwendungsfall-orientierte Entwicklung eines neuen Schemas bilden die Basis. Die definierten Anforderungen sind die Unterscheidbarkeit, die visuelle Zuordenbarkeit und die sinngemäße Zuordnung der Farben zur Legende und Interpretation der Lärmsituation.
- b) Nach einer **Literaturrecherche** von Forschungsergebnissen und **Grundsätzen zum Farbdesign** allgemein und in Karten (Kap. 4) wurden diese bei der Entwicklung berücksichtigt.
- c) Nachdem das bestehende Schema 1991 veröffentlicht wurde und seit 2006 in der 34. BImSchV festgelegt ist, ist die Systematik bekannt. Daher erfolgte eine grobe **Orientierung am DIN-Schema**, was die Anzahl der Klassen und die eher bipolare Logik angeht.
- d) Die Entwicklung erfolgte **iterativ**, das heißt Erkenntnisse und Ergebnisse aus Studien wurden Schritt für Schritt im Farbschema berücksichtigt. Das heißt allerdings, dass das letzte vorgeschlagene Schema nicht alle Studien durchlaufen hat, sondern, dass eine Übertragbarkeit der Ergebnisse angenommen wurde.

### 7.1.2 Theoretische Grundlagen und praktisches Vorgehen

Das praktische Vorgehen baute auf den allgemeinen Grundlagen für die Gestaltung von Farbschemen auf (Kap. 4):

- Grundsätzlich soll für ansteigende Werte eine sequentielle Farbabfolge gegeben sein, d. h. die Helligkeit nimmt in eine Richtung ab (Brewer, 1994). Die finalen Farbschemen wurden im Munsell-Farbsystem definiert, daher wurde eine Helligkeitsänderung mit einer Änderung der Sättigung und des Farbtons kombiniert, d. h. mit ansteigenden Werten sinkt die Helligkeit, während die Sättigung zunimmt. Mehr Farbe und mehr Sättigung steht für mehr eines Phänomens, in diesem Fall mehr Lärm bzw. bei den niedrigeren Tönen mehr Ruhe.

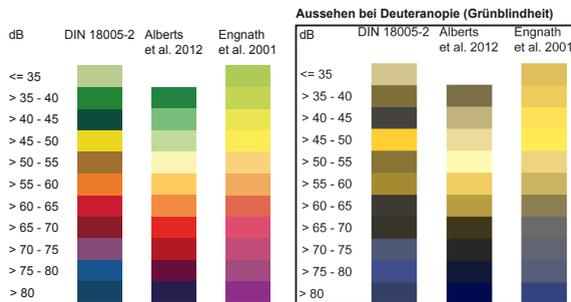
Die Entscheidung für Farbtonübergänge wurde getroffen, da eine große Spanne an Werten dargestellt werden sollte. Luria et al. (1996, zitiert in MacEachren, 1995) beschreibt, dass die Fähigkeit zur Farbunterscheidung für bis zu zehn Farbtöne „truly astronomical“ ist und dann mit einem Anstieg der Anzahl stark abnimmt. Albers (1970) stellte fest, dass 60 Prozent seiner Malerestudenten nicht in der Lage waren, aus Farbpaaren die jeweils dunklere Farbe zu bestimmen. Zwar hat er keine Farbcodes überliefert, die über die Schwierigkeit der Aufgabe Auskunft geben, aber zu geringe Helligkeitsstufen *können* Probleme bereiten. Zur besseren Unterscheidbarkeit wurden kräftige Farben gewählt, diese heben sich auch besser vom Hintergrund ab als helle. Zusätzlich fördert das die Konsistenz der Erkennbarkeit der Farben bei Darstellung auf verschiedenen Geräten.

Die Farben zur Darstellung von ansteigenden Werten sollen eine Einheit bilden, d. h. es soll sich aufgrund der Helligkeits- und Sättigungsabstufungen

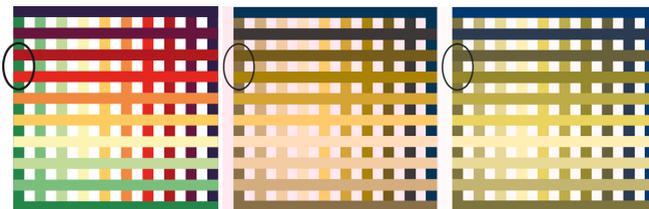
eine **harmonical hierarchy** (Jones, 2010b) bilden. Diese harmonische Hierarchie, soll einen logisch nachvollziehbaren Überblick über die Verteilung der Schallpegel geben, sodass Bereiche, von denen eine hohe Belastung ausgeht und Bereiche von denen eine niedrige Belastung ausgeht, eindeutig definiert werden können.

- Lärm ist zwar messbar, hat aber keine physische Präsenz, daher können Farben nicht mit der physischen Erscheinung assoziiert werden, sondern müssen mit der Charakteristik des Sinneseindrucks übereinstimmen. In diesem Beispiel wird versucht, über die Farben eine Assoziation mit dem Level der Belästigung herzustellen. Daher wurden bekannte **Konnotationen**, Grün für nicht besorgniserregend und rötliche Töne als Warnfarben, eingesetzt.
- Um eine intuitive und schnelle Interpretation zu ermöglichen, wurden drei **Wirkungsklassen** gebildet, für die jeweils ein assoziativer Hauptfarbton gewählt wurde. Die verschiedenen Schattierungen eines Farbtons sollen als Einheit erkannt werden. Die Wirkungsklassen wurden entsprechend der in Kapitel 1.2 beschriebenen Grenzwerte gebildet und sind in Einklang mit Empfehlungen der (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2008). Die zwei Grenzen wurden bei 55 dB und 70 dB gezogen, da der Lärm bei 55 dB in urbanen Räumen beginnt belästigend zu wirken und sich ab 70 dB eine hohe Belästigung einstellt (vergl. Abb. 2.6).
- Es war das Ziel, die **akustische Charakteristik von Lärm** zu berücksichtigen. Dazu zählt einerseits die logarithmische Natur des Schalldruckpegels und andererseits, dass sich die wahrgenommene Lautheit bei einem Anstieg von 6 bis 10 dB verdoppelt. Die Farben sollten so gewählt werden, dass die wahrgenommenen Abstände den Abständen zwischen den dB-Werten oder Klassen entsprechen. Das war, neben der besseren Unterscheidbarkeit, ein Grund zur Wahl von Farbtonübergängen, da diese besser geeignet sind, größere Wertespanssen zu präsentieren, wie auch Ergebnisse der Studien zeigen. Übergänge zwischen Wirkungsklassen bzw. einzelnen Klassen wurden bewusst hervorgehoben. So wurde z. B. der Kontrast für die Klasse ab 55 dB etwas stärker gestaltet, um zu betonen, dass Lärm ab diesem Wert belästigend wirkt.
- Die Lesbarkeit für Menschen mit **Farbenfehlsichtigkeit** war ein wichtiges Anliegen, daher wurde die Kombination von Ampelgrün und -rot vermieden. Für die Simulation einer Farbenfehlsichtigkeit wurde der Farbproof Modus von *Adobe Illustrator* und die Software *Color Oracle* für Windows und Mac verwendet, die beide den Bildschirminhalt entsprechend simulieren. Für die Umwandlung von Bildern wurde die Software *Eye.syde* verwendet. Je nach Software und Bildschirm kann man starke Unterschiede erkennen, das heißt es kann aufgrund dieser Hilfsmittel nur eine Annäherung, aber keine Sicherheit geben.
- Es gibt wenige **vorhandene Farbschemen**, die offiziell bzw. in der Literatur zur Darstellung des Schallpegels vorgeschlagen werden. Einerseits ist das das Schema der DIN 18005-2:1991, andererseits die Schemen von Alberts und Alferez (2012) und Engnath und Koch (2001) (Abb. 7.2). Beide Beispiele lehnen sich stark an die Farben der DIN an, sind allerdings bipolar gestaltet. Das Rot und das Grün im Alberts-Schema sind jedoch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit schwer zu unterscheiden (Abb. 7.3) und die Sättigung nicht ausgeglichen, weswegen ab Entwicklungsstufe II zwar die Idee des

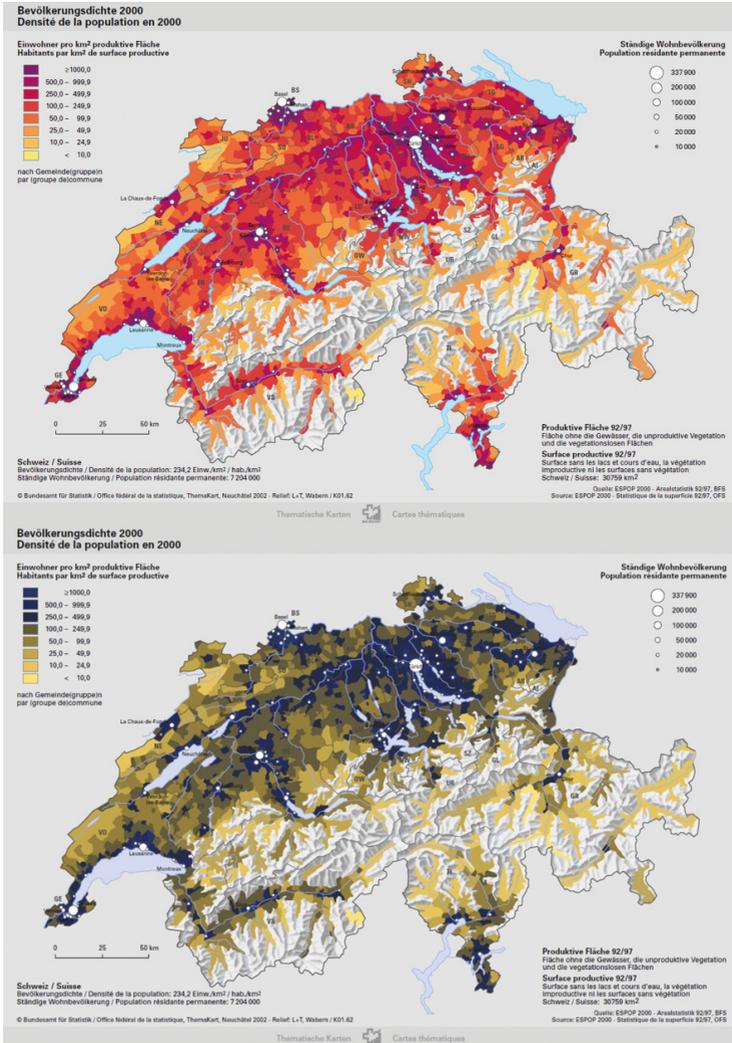
Schemas übernommen wurde, nicht aber die einzelnen Farbtöne. Um die Unterscheidbarkeit der verwendeten Farben für normalsichtige Nutzer und jene mit Farbenfehlsichtigkeit zu gewährleisten, wurde der Blauanteil für die jeweiligen Wirkungsklassen des Schemas variiert, denn eine Variation des Rot- und Grünanteils ist zwar für normalsichtige Nutzer erkennbar, nicht aber für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit. Daher hat sich besonders die Farbe Lila für die höchsten Klassen als brauchbar gezeigt. Im Gegensatz zu dunklem Rot ist Lila durch seinen Blauanteil für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit von Orange und Rot besser zu unterscheiden wie auch die Karte in Abbildung 7.4 zeigt. Als Alternative zum typischen Ampelgrün, wie es z. B. im Alberts-Schema verwendet wird, wurden in Entwicklungsstufe II zwei Grüntöne mit unterschiedlich starkem Blauanteil verwendet. Der mit dem geringeren Blauanteil konnte nach einer Studie ausgeschlossen werden, da er in Verbindung mit Rot keine guten Ergebnisse lieferte.



**Abbildung 7.2:** Diese drei Farbschemen wurden zur Darstellung der Schallimmissionen in offiziellen Lärmkarten vorgeschlagen (DIN 18005-2:1991, Alberts und Alferez, 2012, Engnath und Koch, 2001). Auf der rechten Seite ist abgebildet, wie sie bei Deuteranopie erscheinen (Konvertierung mit der Software Eye.syde).



**Abbildung 7.3:** Die von Alberts und Alferez (2012) vorgeschlagenen Farben für Normal-sichtige (links), bei Deuteranopia (Mitte) und bei Protanopia (rechts). Die Markierung zeigt welche Farbtöne bei Farbenfehlsichtigkeit schwer zu unterscheiden sind (Konvertierung mit der Software Eye.syde).



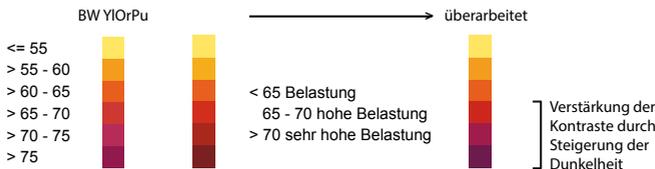
**Abbildung 7.4:** Ein klassisches Schema, das von Gelb bis Dunkelrot verläuft, wird für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit lesbarer, wenn der Blauanteil im Rot erhöht wird und die dunkelroten Klassen durch die Farbe Lila ersetzt werden, wie die Simulation von Deuteranopia (unten) zeigt (Kartenquelle: Bundesamt für Statistik Schweiz, 2002, Konvertierung mit der Software Eye.syde).

- Nach einer Analyse der wichtigsten Rechtsvorschriften (Kap. 2.3.3) ist eine Anzahl von mindestens sieben Farben zur Darstellung des  $L_{den}$  und  $L_{night}$  nötig, inklusive der optionalen Klassen werden acht Farben benötigt. Zur Darstellung des Tag- und Nachtindexes machte es Sinn ein gemeinsames Farbschema zu verwenden, denn dann steht eine Farbe für jeweils eine Klasse. Im vorgeschlagenen Schema wurden noch zwei weitere Klassen hinzugefügt, es besteht somit aus **10 Klassen** und deckt eine Spanne von „kleiner 35 dB“ bis „größer 80 dB“ ab. Kartografische Konvention sind zwar 7 plus/minus 2 Klassen, aber in der Praxis werden aufgrund der Vorgaben in der DIN 18005-2:1991 oftmals 10 Klassen verwendet. Würden somit weniger als 10 Farben vorgeschlagen werden, bestünde die Gefahr, dass die Anwender selbstständig Farben ergänzen.
- Die Farben wurden **für die digitale Verwendung am Bildschirm optimiert** und in *Adobe Illustrator* erstellt. Mit der Software *Munsell Conversion - Version 12.14.3d*<sup>1</sup> wurden die Farbwerte im dreidimensionalen Munsell-Farbsystem dargestellt, was einem Verständnis der Helligkeits- und Sättigungsverteilung entgegenkommt. Bei der Bearbeitung der Farben im Munsell-Farbsystem ist darauf zu achten, dass die Farben auch im RGB-Farbraum darstellbar sind. Ansonsten liefern Programme wie *Adobe Illustrator* Fehlermeldungen und empfehlen einen ähnlichen Ton innerhalb des Farbraumes.
- Die zur Verfügung stehende **Hardware** waren ein *Fujitsu Siemens* Lifebook E-Series und ein *Fujitsu Siemens* Bildschirm P22W-5 ECO IPS, sowie ein *Apple MacBook* (Version 6.1, Ende 2009) und ein *Apple iPad mini* (Modell A1432 von 2012). Keines der Geräte war kalibriert, da das Farbschema unter den gleichen Bedingungen getestet werden sollte, wie sie auch bei den Nutzern herrschen.

### 7.1.3 Iterative Entwicklungsstufen

#### 7.1.3.1 Entwicklungsstufe I

Die ersten beiden Schemen sind in Abbildung 7.5 zu sehen, die RGB-Farbwerte werden in Tabelle 7.1 aufgelistet, sie wurden im ersten Experiment getestet (Kap. 7.2). In diesem Experiment wurden Karten mit nur sechs Klassen, entsprechend 34. BImSchV, gezeigt, daher enthält das Farbschema lediglich sechs Farben.



**Abbildung 7.5:** Farbschemen der ersten Entwicklungsstufe, die im ersten Experiment getestet wurden. Das Schema rechts zeigt die Ergebnisse der Überarbeitung nach dem ersten Experiment.

<sup>1</sup> Die Software kann auf [www.wallkillcolor.com](http://www.wallkillcolor.com) gekauft werden.

**Tabelle 7.1:** Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas I

Farbe	BW YlOrPu			BW YlOrRd			Bezeichnung
	R	G	B	R	G	B	
1	255	230	99	255	229	98	Gelb
2	243	156	29	246	173	27	helles Orange
3	232	93	29	232	95	31	Orange
4	205	56	50	210	45	29	Rot
5	182	42	87	167	40	28	Magenta/dunkles Rot
6	145	26	77	121	32	32	dunkles Magenta/Weinrot

Das Ergebnis des Experiments zeigte klare Effekte der Farbschemen auf die Interpretation der Lärmbelastung. Die Konsequenzen für die Weiterentwicklung der Schemen, die sich daraus ergeben, sind folgende (weiterentwickeltes Schema in Abb. 7.5, rechts):

- es sollten Farben mit **hoher Sättigung** gewählt werden, da diese zu einer höheren Einschätzung der Lärmbelastung führen, was erwünscht ist, da der logarithmische Schalldruckpegel leicht unterschätzt wird, ebenso die wahrgenommene Lautheit;
- **Farbtonübergänge** führten zu einer höheren Einschätzung der Lärmbelastung, diese wurden daher beibehalten.
- Es wurde schlussgefolgert, dass **stärkere Kontraste**, v. a. für höhere Werte, eher der logarithmischen Skala entsprechen und somit zu einer realistischeren Einschätzung der Lärmbelastung führen.

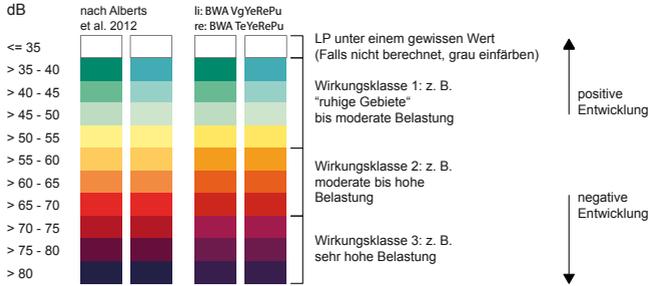
### 7.1.3.2 Entwicklungsstufe II

Diese Entwicklungsstufe berücksichtigte die Ergebnisse des ersten Experiments, d. h. die Farben des Schemas wurden entsprechend den oben genannten Punkten angepasst und das Schema auf 10 Klassen erweitert. Dafür wurde eine Klasse für die höchsten Werte eingefügt, sowie drei Klassen für die niedrigsten Werte. Für letztere wurden Grüntöne gewählt um die Assoziativität zu fördern. So entsteht eine Art bipolares Schema, bei dem beide Enden der Skala betont werden, die positiven niedrigen Werte und die negativen hohen Werte.

Zusätzlich wurde als weitere Variante das Alberts und Alferes Schema (Alberts und Alferes, 2012) (Abb. 7.3) weiterentwickelt, indem die grünen Farbfelder ersetzt wurden, das helle Gelb gegen ein etwas kräftigeres Gelb getauscht wurde und Farbfelder, für die *Adobe Illustrator* die Warnung gab, dass die Farbe außerhalb des RGB-Farbraumes liegen, angepasst wurden. Dadurch sind im neuen Farbschema nur vier der ursprünglichen Farben enthalten.

Die so entstehenden Schemen (Abb. 7.6, Tab. 7.2) folgen dem gleichen Muster, unterscheiden sich aber durch kleine Details. Jedoch nur in den eigenen Schemen „BW VgYeMaPu“ und „BW TeYeMaPu“, die sich lediglich in den Grüntönen für die ersten drei Werte des Schemas unterscheiden, sind Wirkungsklassen durch Farbtöne gekennzeichnet. Diese sind auch bei einer Simulation einer Farbenfehlsichtigkeit klar erkennbar (Abb. 7.7).

Die Farbschemen dieser Stufe wurden in der Studie zum Test der Unterscheidbarkeit der Farben getestet (Kap. 7.3) und das Schema BW TeYeMaPu bei der

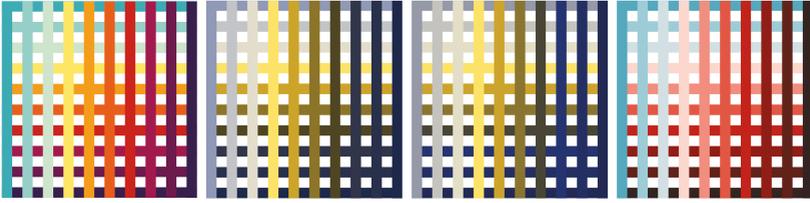


**Abbildung 7.6:** Die zwei linken Schemen sind an die Schemen von Alberts und Alferez (2012) angelehnt. Die anderen beiden wurden entsprechend der Wirkungsklassen entwickelt. Die Farben wurden in Kartenausschnitten der Studie 2 zur Unterscheidbarkeit (Kap. 7.3) angewandt.

**Tabelle 7.2:** Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas II

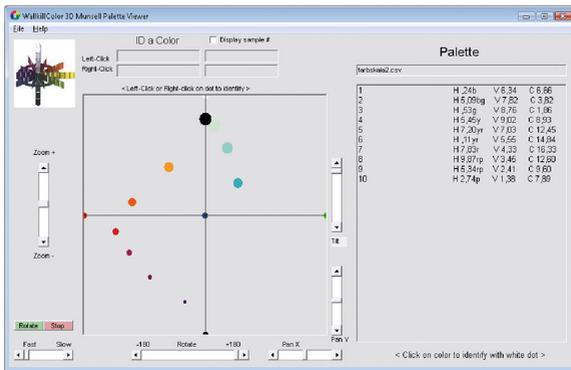
Farbe	nach Alberts et al.			Eigene Schemen			Bezeichnung
	R	G	B	R	G	B	
1	3	137	106	3	137	106	Grün
bzw.	66	171	180	66	171	180	dunkles Blaugrün
2	105	186	147	105	186	147	Mittelgrün
bzw.	150	207	198	150	207	198	Blaugrün
3	188	220	193	188	220	193	Hellgrün
bzw.	206	228	204	206	228	204	
4	255	240	135	255	230	99	Gelb
5	254	204	92	243	156	29	helles Orange
6	252	141	60	232	93	29	Orange
7	228	38	37	205	38	28	Rot
8	179	6	34	161	26	77	Magenta
9	103	3	59	109	27	77	Lila
10	36	31	71	57	27	76	dunkles Lila

*International Cartographic Conference 2013* diskutiert. Die Studie zielte vor allem auch darauf ab festzustellen, welche Grüntöne sich besser eignen. Entsprechend der Studie schnitt das Schema mit dem Grün mit höherem Gelbanteil „BW VgYeMa-Pu“ am schlechtesten ab, es wurde daher verworfen. Zusätzlich zeigte das Schema mit den stärksten Kontrasten das beste Ergebnis. Bei einer allgemeinen Steigerung der Kontraste würden aber stark gesättigten Farben in der Mitte des Schemas (50 bis 60 dB) stärker aus dem Kartengefüge heraustreten, nicht zuletzt weil sie vor allem für große Flächen verwendet werden. Nach einer Darstellung der Farben im dreidimensionalen Munsell-Farbsystem wurde deutlich, dass die Helligkeit der Farben dem System eines bipolaren Farbschemas folgt (Abb. 7.8). Farbe vier (Gelb) zeigt die größte Helligkeit auf, danach nimmt die Helligkeit der Farben stetig ab, was den Anforderungen entspricht. Die Farbe mit der höchsten Sättigung jedoch ist Rot, die siebente Farbe, danach nimmt die Sättigung ab (Abb. 7.9). Zu empfehlen wäre ein Anstieg der Sättigung ab dem Gelb, damit Farben, die Werte in der Mitte

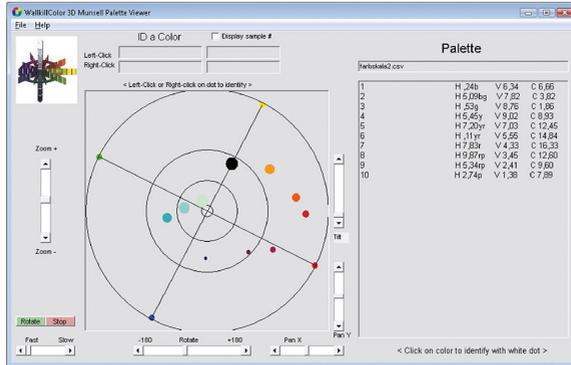


**Abbildung 7.7:** Das ausgewählte Farbschema der Entwicklungsstufe II im Original und simuliert für Deuteranopia (Grünblindheit), Protanopia (Rotblindheit) und Tritanopia (Blaublindheit, Konvertierung mit der Software Eye.syde).

des Farbschemas präsentieren, nicht aus dem Gefüge heraustreten. Daher wurde im folgenden Entwicklungsschritt eine Anpassung der Sättigung vorgenommen, sodass diese mit den höheren Werten ansteigt. Dadurch konnte auch eine Steigerung des Kontrasts erreicht werden.



**Abbildung 7.8:** Farbschema II: Die vertikale Achse beschreibt die Helligkeit mit dem hellsten Punkt am oberen Ende. Eine systematische Abnahme der Helligkeit ab dem Gelbton ist zu sehen. Der Gelbton ist nicht im Munsell-Farbsystem darstellbar, deshalb ist er Schwarz dargestellt (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).



**Abbildung 7.9:** Farbschema II: Die Sättigungsverteilung im ausgewählten Farbschema II: Im Munsell-Farbsystem wird die Sättigung vom Mittelpunkt aus nach außen hin aufgetragen. Der Gelbton ist nicht im Munsell-Farbsystem darstellbar, deshalb ist er Schwarz dargestellt (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).

### 7.1.3.3 Entwicklungsstufe III

Diese Überarbeitung erfolgte durch eine Veränderung der Sättigung der Farben, die den Anforderungen entsprechend mit den höheren Werten zunehmen sollte, während die Helligkeit abnimmt. Ebenso wurden weniger gesättigte Grüntöne gewählt. Die so entstehenden Farben (Abb. 7.10, Tab. 7.3) wurden im Munsell-Farbsystem dreidimensional visualisiert und analysiert (Abb. 7.11 und 7.12). Die Helligkeitsabnahme ist bei einem Vergleich mit dem Farbschema II (Abb. 7.8) unverändert, ebenso die Farbtonübergänge, daher wird angenommen, dass die Ergebnisse des ersten Experiments auch auf Farbschema III zu übertragen sind und sie zu einer höheren, realistischeren Einschätzung der Lärmbelastung führt.

Es wurde darauf geachtet, die drei Wirkungsklassen besonders deutlich zu machen, v. a. wurde die Klasse ab 65 dB mit einem kräftigen Orangerot hervorgehoben, welches das schwerwiegende Gesundheitsrisiko widerspiegeln soll, das von den Werten dieser Klasse ausgeht. Die Farben für die höchsten Werte wurden nicht zu dunkel gestaltet, da diese oft durch schwarze Straßen überdeckt werden und in den Hintergrund treten würden, wären sie nicht stark gesättigt. Für die höchsten Werte wurde ein Lila gewählt, da es einerseits in der Farbfolge nach den Rottönen kommt, aber auch weil es der einzige Farbton ist, der auch in dunkleren Tönen noch mit hoher Sättigung auftritt. Allerdings hebt sich die Farbe für die letzte Klasse nicht sehr stark von der vorletzten Klasse ab, da diese Klasse in der Praxis aber kaum dargestellt wird und die Zuordnung zur entsprechenden Wirkungsklasse möglich sein sollte, ist das akzeptabel. Die Unterscheidbarkeit der Farben bei Farbenfehlsichtigkeit zeigt Abbildung 7.13.

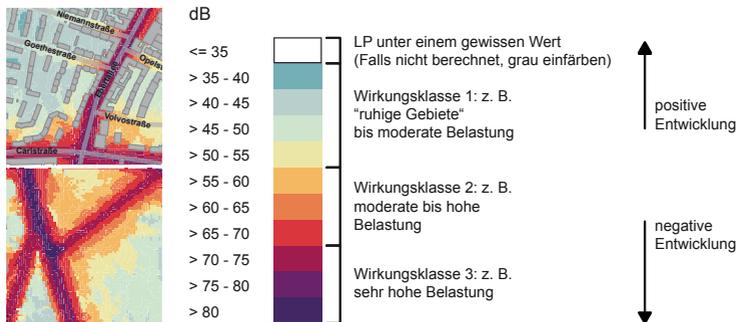


Abbildung 7.10: Farbschema der Entwicklungsstufe III mit angepasster Sättigung.

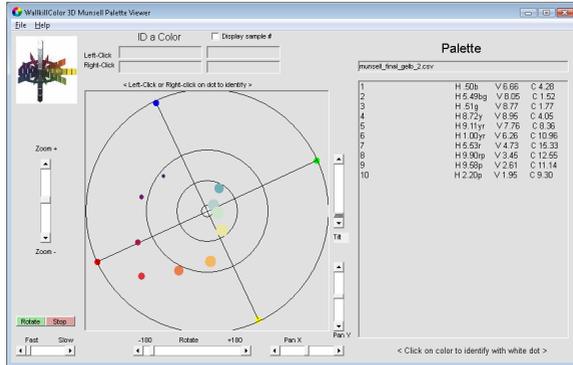
Tabelle 7.3: Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas III

Farbe	R	G	B	Bezeichnung
1	115	175	180	dunkles Blaugrün
2	184	207	203	Blaugrün
3	206	228	204	Hellgrün
4	235	230	165	Hellgelb
5	243	184	97	helles Orange
6	232	126	77	Orange
7	217	54	62	Orangerot
8	161	26	77	Magenta
9	109	21	105	Lila
10	70	18	104	dunkles Lila

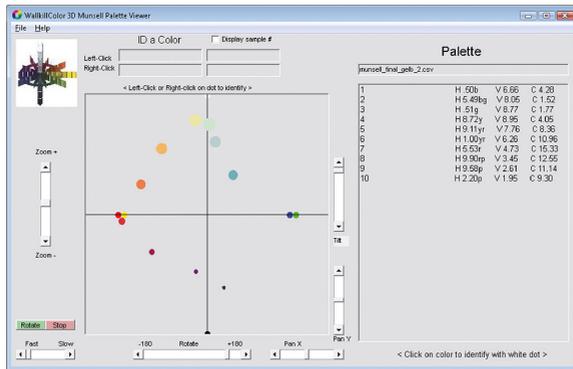
#### 7.1.3.4 Entwicklungsstufe IV: Das finale Schema

Nach der dritten Studie über die assoziative Zuordnung wurde das Schema ein weiteres Mal überarbeitet (Abb. 7.14, Tab. 7.4). Die Studie, die qualitativ ausgewertet wurde, zeigte, dass eine grundsätzliche Assoziation mit den Wirkungsklassen gegeben war, aber die Lilatöne einen etwas zu hohen Blauanteil hatten und daher für die Repräsentation hoher Werte zu kühl waren. Des Weiteren wurde die bipolare Charakteristik als ungewohnt eingestuft und das Gelb fügte sich nicht gut in das Gefüge der Grüntöne, um geschlossen eine Wirkungsklasse zu repräsentieren.

Daher wurde bei den Lilatönen der Rotanteil erhöht und die Grüntöne grundsätzlich neu organisiert. Anstatt stark in der Helligkeit zu variieren, wurde der Blauanteil geändert. Je niedriger die Werte, die repräsentiert werden, desto kühler werden die Farben, die Helligkeit nimmt nur leicht ab (Abb. 7.15). Dabei wird aus dem dunklen Blaugrün ein mittleres Blaugrün oder bei Anzeige auf manchen Bildschirmen ein Eisblau. Das Gelb wurde grüner und das Rotorange in seiner Sättigung gedämpft (Abb. 7.16). Der Gedanke war, den Übergang zur Gesundheitsgefährdung zu betonen. Der Plan, stark gesättigtes Orangerot zu verwenden, wurde verworfen, damit große Flächen nicht aus dem Gefüge treten. Der Kontrast zum hellen Orange wurde durch die Änderung des Gelbs verstärkt, es wurde daher etwas weniger gesättigt gemischt, dennoch bleibt eine Stufe bestehen, was auch legitim ist, denn ab 55 dB besteht erhebliche Belastung.



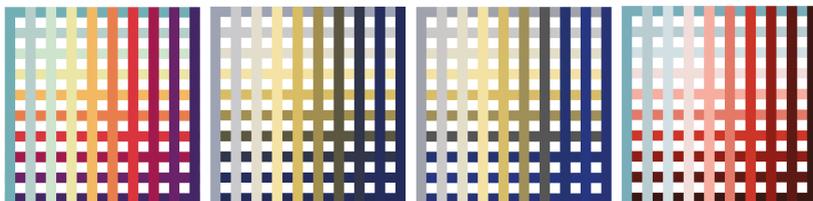
**Abbildung 7.11:** Farbschema III: Aufgrund des bipolaren Schemas ist eine leichte Abnahme der Sättigung zu Beginn des Farbschemas erkennbar. Ab dem hellsten Grün jedoch steigt diese stetig, es wird jedoch die Klasse ab 65 dB mit der gesättigsten Farbe hervorgehoben, denn diese Klasse markiert den Übergang zu starker Beeinträchtigung und schwerwiegender Gesundheitsfolgen (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).



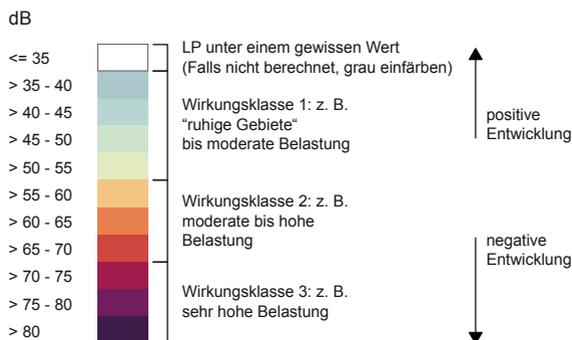
**Abbildung 7.12:** Farbschema III: Eine systematische Zunahme der Helligkeit zu Beginn und Abnahme ab dem Gelbton wird deutlich (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).

### 7.1.3.5 Die Eigenschaften des finalen Schemas

Insgesamt besteht das resultierende Farbschema aus zehn Farben, die drei Wirkungsklassen bilden und mit qualitativen Angaben versehen werden können (Abb. 7.14). Jeder Wirkungsklasse ist ein Farbton zugeordnet - Blaugrün, Orange und Lila - der entsprechend der empirischen Studien assoziativ mit dem Grad der Belästigung und dem Gesundheitsrisiko einhergeht und somit die intuitive Interpretation erleichtert. Der Grenzwert für beträchtliche Belästigung bei 55 dB wurde durch



**Abbildung 7.13:** Das Farbschema der Entwicklungsstufe III im Original und simuliert für Deuteranopia (Grünblindheit), Protanopia (Rotblindheit) und Tritanopia (Blaubindheit, Konvertierung mit der Software Eye.syde).



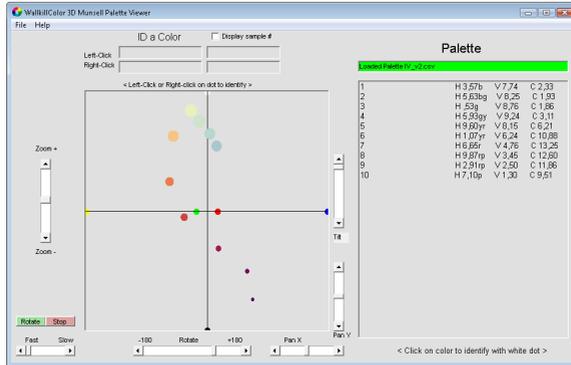
**Abbildung 7.14:** Farbschema der Entwicklungsstufe IV mit rötlicheren Lilatönen und überarbeiteten Farben für die niedrigen Werte.

**Tabelle 7.4:** Überblick der RGB-Farbwerte des Schemas IV

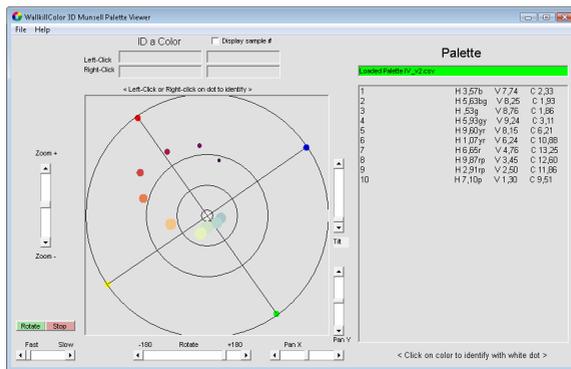
Farbe	R	G	B	Bezeichnung
1	171	199	204	Blaugrün
2	184	214	209	Blaugrün
3	206	228	204	Hellgrün
4	226	242	191	Gelbgrün
5	243	198	131	helles Orange
6	232	126	77	Orange
7	205	70	62	Orangerot
8	161	26	77	Magenta
9	117	8	92	Lila
10	67	10	74	dunkles Lila

einen starken Kontrast besonders betont. Genauso wurde die Klasse 65 bis 70 dB durch ein kräftiges Orange stärker betont, da ab diesem Wert bei dauerhafter Belastung hohes Gesundheitsrisiko besteht und Verhaltensmuster beeinträchtigt werden.

Da es pro Farbton nur drei bzw. vier Helligkeitsstufen gibt, werden die Unterscheidbarkeit und die Zuordnung der Farben zur Legende erleichtert und somit die



**Abbildung 7.15:** Eine systematische Zunahme der Helligkeit zu Beginn und Abnahme ab dem Gelbton wird deutlich (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).

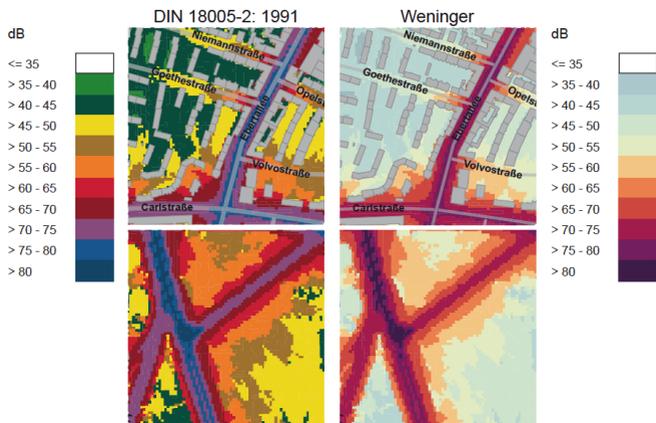


**Abbildung 7.16:** Die Sättigung nimmt ab den Grüntönen zu und ist nur für die dunklen Lilatöne nicht mehr zu steigern (Software: Munsell Conversion 12.14.3d).

Effekte des Simultankontrasts umgangen. Die Unterscheidbarkeit der Farben insgesamt wird durch die Verwendung mehrerer Farbtöne erreicht. Für die Verwendung mehrerer Farbtöne spricht auch das Ergebnis einer im Rahmen der Arbeit durchgeführten Nutzerstudie, die gezeigt hat, dass große Wertespanssen besser anhand konträrer Farben, wie beispielsweise einem großen Unterschied in der Helligkeit oder durch Komplementärfarben wie Grün und kräftiges Orange, dargestellt werden.

Um die Farbtöne in eine visuelle Hierarchie entsprechend des Wertebereichs der dB-Skala zu bringen, wurde einerseits eine Abfolge an Farbtönen gewählt, die naturgemäß gereiht sind: Grün zu Gelb, Gelb zu Orange, Orange zu Dunkellila. Andererseits wurden die Helligkeit und die Sättigung systematisch variiert. Die Helligkeit

ist am größten bei der vierten Farbe und nimmt in Richtung beider Enden ab. Die Sättigung hingegen nimmt v. a. zum unteren Ende des Schemas, d. h. in Richtung der hohen Werte, stark zu. Durch dieses bipolare Schema wird eine Betonung der Regionen erreicht, die von größtem Interesse sind: die positiven ruhigeren Bereiche und die Bereiche hoher Belastung (Abb. 7.17). Es wurde besonders darauf geachtet, die Farben in der Mitte des Schemas nicht zu gesättigt zu gestalten, sodass sie nicht optisch hervortreten. Insgesamt wurde dieser Effekt jedoch für die hohen Werte genutzt, da warme gesättigte Farben weiter vorne erscheinen als kühle Farben und sich somit eine visuelle Hierarchie ergibt (vergl. Kap. 4.3.2.3).

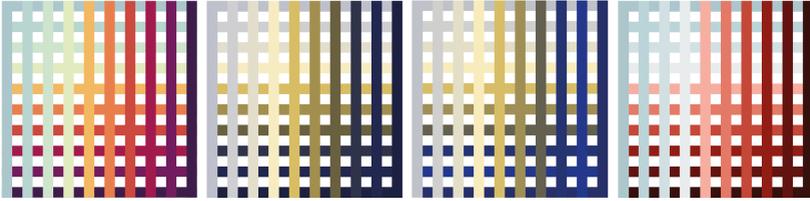


**Abbildung 7.17:** Das Farbschema der Entwicklungsstufe IV bei Anwendung in der Karte im Vergleich zum DIN-Schema. Mit dem neuen Farbschema können Bereiche hoher Belastung aufgrund der Helligkeit und Sättigung der verwendeten Farben sofort erkannt werden.

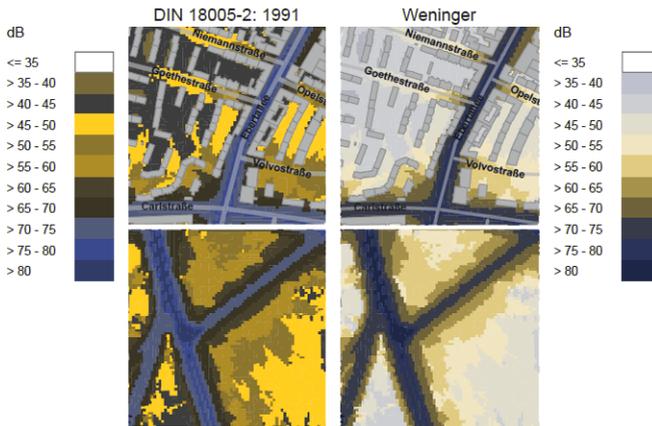
Ergebnisse einer Nutzerstudie im Rahmen der iterativen Entwicklung zeigten, dass es signifikante Einflüsse des Farbschemas auf die Interpretation der Lärmbelastung in Karten gibt. Bei Verwendung von Schemen mit nur einem Farbton, die niedrige Werte mit hellen Schattierungen darstellen, wurde die Lärmbelastung für einen Kartenausschnitt geringer eingeschätzt. Kräftige Farben hoher Sättigung und Farbtonübergänge führten zu einer höheren Einschätzung. Daher wurden die höheren Werte durch einen Sättigungsanstieg stärker hervorgehoben (Abb. 7.17), was der logarithmischen Skala entgegenkommt, die bedingt, dass bei sämtlichen Rechenoperationen höhere Werte stärker ins Gewicht fallen.

Durch die Vermeidung von Ampelrot und –grün konnte die Eignung des Farbschemas für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeiten stark gesteigert werden, was sehr im Sinne der Nutzbarkeit für eine Öffentlichkeitsbeteiligung ist (Abb. 7.18, Abb. 7.19).

Somit wurde ein Farbschema unter Berücksichtigung der logarithmischen dB-Skala, kognitiver und visueller Wahrnehmungsprozesse, bestehend aus assoziativen Farben und geeignet für Farbenfehlsichtigkeiten entworfen. Dieses wurde dem „Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI“, in dem die Autorin mitarbeitet, zur Überarbeitung der „DIN 45682 Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA) vorgelegt. Intention dieser Überarbeitung



**Abbildung 7.18:** Das Farbschema der Entwicklungsstufe IV im Original und simuliert für Deuteranopia (Grünblindheit), Protanopia (Rotblindheit) und Tritanopia (Blaublindheit, v.l.n.r., Konvertierung mit der Software Eye.syde).



**Abbildung 7.19:** Das Farbschema der Entwicklungsstufe IV bei Anwendung in der Karte im Vergleich zum DIN-Schema simuliert für Deuteranopia (Grünblindheit). Die Wirkungsklassen und die Helligkeitsverteilung bleiben erkennbar. (Konvertierung mit der Software Eye.syde).

war mitunter, die DIN 18005-2: 1991 und damit das hier kritisierte Farbschema zu ersetzen. Auf eine dahingehende Aktualisierung der 34. BImSchV ist zu hoffen. Zusätzlich wurde das Farbschema auf der Webseite *Coloringnoise.com*, inklusive Erläuterung und Farbcodes, veröffentlicht und ist somit für die gesamte Öffentlichkeit zugänglich und verwendbar.

7.1.3.6 Optimierung für den Druck

Zwar wurde das Schema generell für die digitale Anzeige optimiert und die Studien eins bis drei digital durchgeführt, dennoch wurde mit der analogen Studie vier eine Überleitung in die analoge Verwendung geschaffen. Dafür wurden die Farben in CMYK konvertiert und die Datei als PDF/x-3: 2002 ausgegeben, welches das Ausgabefarbprofil Coated FOGRA27 (ISO 12647-2: 2004) verwendet. Nach dem Druck mit verschiedenen Druckern (*Konica Minolta* bizhub C454e und C654e) wurde es mit der digitalen Variante verglichen und angepasst. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass diese Umwandlung nur eine Annäherung ist, da sich der RGB und der CMYK Farbraum nicht decken. Eine Umwandlung der Codes mit verschiedenen Onlineanwendungen, die frei verfügbar sind, zeigte stark variierende Ergebnisse, daher wurden als Grundlage die von *Adobe Illustrator* zu Verfügung gestellten Werte verwendet.

Generell erscheinen die Farben bei digitaler Verwendung, je nach Bildschirm, gesättigter und kräftiger als im Druck. Von einer Angleichung der Sättigung wurde abgesehen. Die Ausgabe ist auch vom Papier abhängig, für die Drucke auf deren Basis die Anpassung erfolgte wurde weißes Standardpapier verwendet.

Bei Druck mit *Konica Minolta* Laserdruckern ließen sich lediglich Farben 1 und 2, die beiden Blaugrüntöne, nach Konvertierung in den CMYK Farbraum schlecht unterscheiden, daher wurde der Kontrast verstärkt, indem das dunklere Blaugrün noch etwas verdunkelt wurde. Drucke mit Tintenstrahldruckern hingegen fallen etwas anders aus: das Magenta und die beiden Lilatöne erscheinen Weinrot bis Braun und sehr dunkel. Von einer Anpassung der CMYK Codes an diese Druckereigenschaften wurde vorerst abgesehen. Die CMYK-Farbcodes sind in Tabelle 7.5 enthalten.

**Tabelle 7.5:** Überblick der CMYK-Farbwerte des Schemas IV, angepasst an die Ausgabe eines PDFs mit den Standard *PDF/X-3:2002* mit *Konica Minolta* Laserdruckern der Serie *bizhub C454e* und *C654e*.

Farbe	C	M	Y	K	Bezeichnung
1	42,55	18,32	21,48	0	Blaugrün
2	33,11	5,59	19,15	0	Blaugrün
3	23,97	0,65	24,67	0	Hellgrün
4	16,17	0	33,02	0	Gelbgrün
5	4,58	25,88	54,29	0	helles Orange
6	3,35	61,1	70,97	0	Orange
7	14,58	83,49	74,3	2,82	Orangerot
8	31,63	97,45	47,32	14,36	Magenta
9	58,29	100	25,87	16,58	Lila
10	78,85	100	36,7	39,03	dunkles Lila

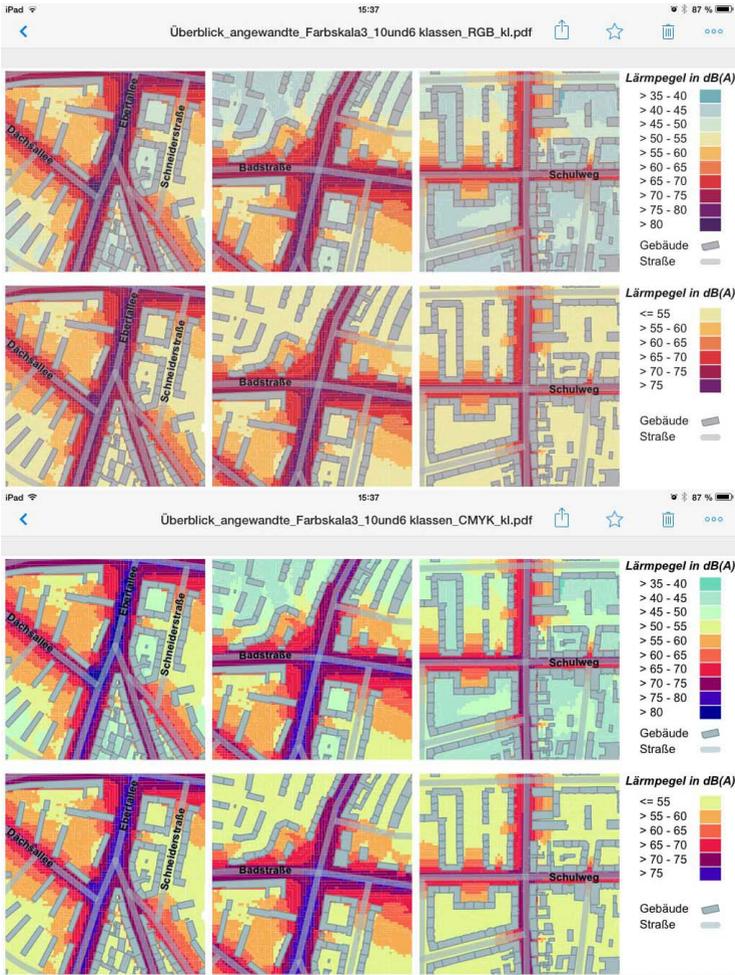
### 7.1.4 Zwischenresümee: Die Erstellung eines Farbschemas ist nicht einfach nur „Farbenmischen“

Es zeigte sich, dass sich die Entwicklung eines Farbschemas anspruchsvoll gestaltet. Sie besteht aus einem langwierigen Prozess auf verschiedenen Geräten, mit verschiedenen Dateiformaten und einer großen Anzahl an Software. Monmoniers Aussage „color is a cartographic quagmire“ (1996, S. 163) kann somit voll bestätigt werden - ein Sumpf aus kartografischen Regeln, Konventionen, Forschungsergebnissen, Wahrnehmungsaspekten, Geschmäckern und Erwartungen und auch technischen Hürden. Ein perfektes Farbschema, das für *alle* Nutzer gleichermaßen nutzbar ist und *jedem* gefällt, gibt es somit nicht. Zwar haben die Ergebnisse der Studien keine komplett konträren Ergebnisse geliefert, aber es kann in der Praxis dennoch sein, dass die Entscheidung der Verbesserung eines Aspektes zu Lasten eines anderen fällt.

Ein Problem soll hier hervorgehoben werden: die unterschiedliche Darstellung auf verschiedenen Bildschirmen, auch in Anbetracht des Farbmodus. Während ein PDF mit Lärmkartenausschnitten auf diversen Computer Bildschirmen im Modus RGB und CMYK beinahe gleich dargestellt wird, zeigt ein *Apple iPad mini* (Modell A1432 von 2012) zwei komplett unterschiedliche Darstellungen. Wurde der Farbmodus nicht der Ausgabe am Bildschirm angepasst und ein PDF im CMYK Modus angezeigt, werden die Farben stark verändert dargestellt (Abb. 7.20). Eine Lösung des Problems wäre die Verwendung des richtigen Farbformats für die entsprechende Ausgabe.

Doch auch wenn ein für die jeweilige Darstellung passendes Format gewählt wird, gibt es große Unterschiede bei der Darstellung auf verschiedenen Geräten und v. a. auch bei der Umwandlung der Farben in das jeweils andere Format. Das heißt, wurde ein Schema in RGB für die digitale Verwendung am Bildschirm entwickelt, kann es nicht verlustfrei in CMYK konvertiert werden, da die beiden Farb Räume nicht deckungsgleich sind. Zusätzlich ergibt sich durch die Printdarstellung ohnehin ein anderes Aussehen, sodass die Farben grundsätzlich an die anderen Eigenschaften angepasst werden müssen. Für eine verlustfreie Transformation und Ausgabe mit verschiedenen Geräten, sowohl Druck als auch Print, wäre ein konsequentes Farbmanagement nötig (siehe 4.2). Dabei werden Farben entsprechend verschiedener Standards transformiert. Das vorliegende Farbschema wurde nur näherungsweise umgewandelt und nach Druck überprüft, da die Ausgabe der Karten in der Öffentlichkeitsbeteiligung vielfach über nicht kalibrierte Bildschirme und Drucker erfolgt und das Endergebnis daher ohnehin nicht zu kontrollieren ist.

Auf Basis der Erfahrungen bei diesem anwendungsbezogenen Vorgehen wurden allgemeine Regeln zur Erstellung von Farbschemen abgeleitet. Da diese dennoch eine Vielfalt an Möglichkeiten offen lassen, wurden zusätzliche Entscheidungskriterien definiert, die die Wahl für ein Farbschema erleichtern (siehe Weninger, 2015).



**Abbildung 7.20:** Die Abbildung zeigt drei verschiedene Lärmkartenausschnitte (Spalten) bei Darstellung mit zehn Klassen (in der ersten und dritten Reihe) und Darstellung mit sechs Klassen (in der zweiten und vierten Reihe). Die oberen sechs Karten sind ein Screenshot einer Darstellung am iPad im RGB Modus, die unteren sechs Karten zeigen, wie verändert die Farben wirken, wenn die Karten am iPad im für die digitale Darstellung ungeeigneten CMYK Farbsystem dargestellt werden: Das Lila wird zu einem kräftigen Blau.

## 7.2 Der Einfluss von Farbschemen auf die Interpretation der Lärmbelastung (Studie 1)

### 7.2.1 Ziel und Forschungsfragen

Da verschiedene Farben auf diverse Arten auf die Wahrnehmung von Inhalten wirken (siehe Kap. 4), ist es besonders wichtig, Einflüsse, die durch das Farbschema entstehen, bei der Entwicklung eines neuen Farbschemas zu berücksichtigen. In einem Onlineexperiment (Fragebogen in Anhang C) wurde daher der Einfluss der Farben auf die Interpretation der Lärmbelastung untersucht. Das Forschungsinteresse war festzustellen, ob verschiedene Farbschemen zu einer höheren oder niedrigeren Einschätzung der Lärmbelastung führen. Die Kategorie der Anforderung, die im Rahmen des Experiments geprüft wurde, ist folgende: „Das Farbschema ermöglicht sowohl eine sinngemäße Zuordnung der Farben zu den Werten der Legende, als auch Interpretation der Lärmsituation“ (siehe Abschnitt 6.4).

Die getesteten Forschungsfragen sind (siehe auch Kap. 5):

**Forschungsfrage 2.1:** Beeinflussen bestimmte Farbschemen die Interpretation der Schallimmissionen?

*Hypothese (H) 2.1.a:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas mit kräftigen, gesättigten Farben höher eingeschätzt.

*Hypothese 2.1.b:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Pastelltönen geringer eingeschätzt.

*Hypothese 2.1.c:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung von Rottönen für hohe Werte als insgesamt höher eingeschätzt, da Rot eine Signalfarbe ist.

*Hypothese 2.1.d:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Blau- oder Grüntönen geringer eingeschätzt, weil Blau und Grün als kalte Farben mit ruhigeren Gebieten assoziiert werden.

**Forschungsfrage 2.1.1:** Zeigen sich Unterschiede bei unterschiedlicher Darstellung der niedrigsten Klasse des dargestellten Lärmindex (farblos vs. farbig)?

*Hypothese 2.1.1:* Die Belastung durch Lärm wird bei farbloser Darstellung der untersten Klasse geringer eingeschätzt.

### 7.2.2 Methode und Aufbau des Experiments

Bei Experimenten unterscheidet man zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen. Die abhängige Variable ist die Reaktion der Nutzer, die von der oder den unabhängigen Variablen abhängt. Diese sind die Veränderungen, die an einem zu testenden Objekt vorgenommen werden. Meistens haben unabhängige Variablen verschiedene Ausprägungen, auch Faktorstufen genannt. Um den Einfluss eines Faktors auf die Reaktion des Nutzers abzuschätzen, ist es besonders wichtig, dass die zu testenden Objekte sich tatsächlich nur durch die festgelegten unabhängigen Variablen unterscheiden (Martin, 2008).

Im dargestellten Experiment wurde als unabhängige Variable das Farbschema mit sieben Faktorstufen, drei Kartenausschnitten<sup>2</sup> mit unterschiedlicher Lärmbelastung

<sup>2</sup> Gezeigt wurden den Teilnehmern vier verschiedene Ausschnitte, insgesamt 56 Karten. Da aufgrund eines Missgeschicks in einem Farbschema ein Ausschnitt nicht gezeigt wurde, wurde der ursprüngliche Ausschnitt drei bei der statistischen Auswertung für alle Farbschemen entfernt.

und die Einfärbung der niedrigsten Klasse eingesetzt. Die Tabellen 7.6 und 7.7 zeigen einen Überblick der Faktoren und der 42 ausgewerteten Szenarien.

**Tabelle 7.6:** Überblick der ausgewerteten Faktoren und Faktorlevels in Studie 1

Faktorname	Levels	Typ
Farbschema	sieben verschiedene Schemen	within-subjects, fixed effects
Niedrigste Klasse	farbig, farblos	within-subjects, fixed effects
Kartenausschnitt	Nr. 1-3	within-subjects, fixed effects

**Tabelle 7.7:** Die Datenmatrix des 7x3x2 Designs zeigt 42 Szenarien

	Ausschnitt 1		Ausschnitt 2		Ausschnitt 3	
	farbig	farblos	farbig	farblos	farbig	farblos
<b>Farbe 1</b>						
<b>Farbe 2</b>						
<b>Farbe 3</b>						
<b>Farbe 4</b>						
<b>Farbe 5</b>						
<b>Farbe 6</b>						
<b>Farbe 7</b>						

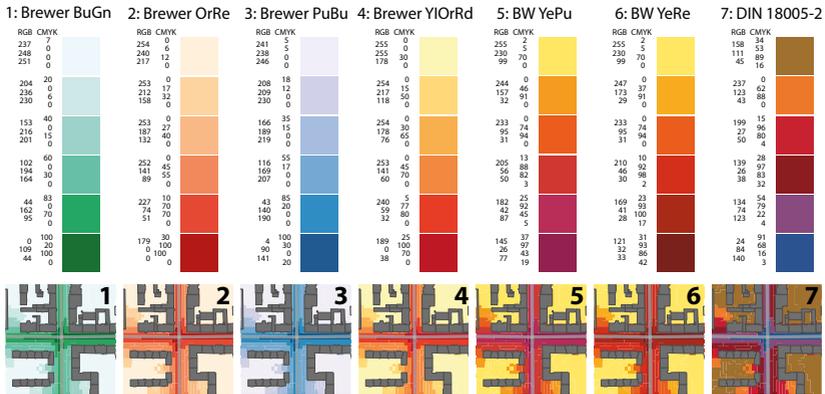
Um einerseits die Teilnehmerzahl zu begrenzen und andererseits die Unterschiede der Nutzer-Reaktion auf die sieben Farbschemen zu beobachten, fiel die Entscheidung auf ein Design mit Messwiederholungen, auch Innersubjekt-Design (engl. within-subjects design oder repeated measures design). Laut Field (2005, S. 304) hat dieses auch mehr *Power*<sup>3</sup> und führt daher zu repräsentativeren Ergebnissen als ein Vergleich der Effekte zwischen zwei Teilnehmergruppen. Das heißt, jeder Teilnehmer bekam alle Szenarien zu sehen. Um einen Lerneffekt zu vermeiden, wurde die Ordnung der Aufgaben randomisiert, es wurde dafür die Funktion der Software *LimeSurvey* verwendet. Ein Nachteil davon ist, dass im Nachhinein nicht mehr nachvollziehbar ist, in welcher Reihenfolge die Ausschnitte gezeigt wurden. Nachfolgend werden die unabhängigen Variablen beschrieben, bevor im nächsten Kapitel auf die praktische Durchführung eingegangen wird.

### 7.2.2.1 Faktor Farbschema

Um ein zuverlässiges Ergebnis zu gewährleisten, wurden großteils vorgetestete Schemen von Brewer (2013) verwendet, als Vergleich zusätzlich das Schema der DIN 18005-2:1991 (Nr. 7) und zwei eigene Schemen (Nr. 5 und 6, vergl. Kap. 7.1.3.1), die zuvor auf verschiedenen Bildschirmen getestet wurden (Abb. 7.21). Die eigenen Schemen bestehen durchwegs aus kräftigen Farben im Gegensatz zu den mit Pastellfarben beginnenden Brewer-Schemen. Diese Entscheidung wurde getroffen, da kräftige, gesättigte Farben eher unterscheidbar sind als helle oder ungesättigte Farben (Brewer et al. 1997).

Es wurden bewusst nur multichromatische Schemen mit Farbtonübergängen gewählt, d. h. Farbschemen die nicht innerhalb eines Farbtons von hell nach dunkel

<sup>3</sup> Statistical Power ist lt. Field „the ability of a test to detect an effect of a particular size“ (2005, S. 741).



**Abbildung 7.21:** Die gezeigten Farbschemen: 1 Brewer BuGn, 2 Brewer OrRe, 3 Brewer PuBu, 4 Brewer YiOrRd, 5 BW YePu, 6 BW YeRe, 7 DIN 18005-2, darunter bei Anwendung in einer Lärmkarte.

verlaufen, sondern sich über mindestens zwei Farbtöne erstrecken. Bei Schemen Nr. 1, 2 und 3 ist das nicht voll ersichtlich, diese Schemen werden aber von Brewer als Schemen mit *hue transition* geführt (2005). Alle Schemen bis auf das DIN-Schema sind sequentiell, d. h. sie verlaufen von hell nach dunkel. Das DIN-Schema fällt aus der Reihe, wurde aber zum Vergleich trotzdem getestet, da es zurzeit das in der 34. BImSchV vorgeschriebene Schema ist.

Es wurde besonders darauf geachtet, dass eine ausgewogene Mischung von Schemen verwendet wurde, um brauchbare Ergebnisse zu erzielen. Die Farbschemen lassen sich zur Interpretation folgendermaßen einteilen: Vier Schemen, Nr. 1 bis 4, beginnen mit Pastellfarben, zwei davon bestehen aus kühlen Tönen und zwei aus warmen Tönen. Drei, Nr. 5 bis 7, verwenden kräftige Farben in allen Bereichen. Insgesamt gibt es zwei kühle und fünf warme Schemen.

### 7.2.2.2 Faktor Kartenausschnitt

Die vier gezeigten Kartenausschnitte (Abb. 7.22 zeigt die drei, die ausgewertet wurden) entstammen dem Datensatz der Modellstadt *Silent City*, der vom *Umweltbundesamt* zur Verfügung gestellt wurde und stellen Schallimmissionen dar. Es wurden Ausschnitte gewählt, die sich der Stärke der Lärmbelastung nach ordnen lassen. Der durchaus überraschende Unterschied zwischen wahrgenommenem Mittelwert und tatsächlichem Mittelungspegel, der sich durch die logarithmische Skala ergibt, wird im Kapitel 7.2.4.4 besprochen.

Die Klassen der dB-Werte wurden nach den Vorgaben der 34. BImSchV gebildet um einen realistischen Anwendungsfall zu schaffen: sechs Klassen, beginnend mit „<=55 dB“ und einer Klassenbreite von 5 dB. Zusätzlich zu den Lärmimmissionen wurden Straßen und Gebäude dargestellt und die verwendeten Kartensymbole in einer Legende erklärt, die neben jedem Kartenausschnitt gezeigt wurde. Um nicht den Begriff Dezibel zu verwenden und dadurch zu suggerieren, dass der gemittelte Schallpegel eingeschätzt werden muss, wofür spezielle Rechenoperationen benötigt



**Abbildung 7.22:** Gezeigte Kartenausschnitte im Brewer-Farbschema YiOrRd. Die Lärmbelastung ist am höchsten in Ausschnitt 1 gefolgt von 2 und 3.

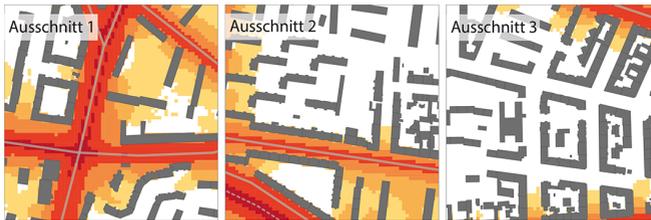
werden (vergl. Kap. 3.2.3), wurde in der Legende lediglich die Angabe geringe Belastung für die unterste Klasse und sehr hohe Belastung für die höchste Klasse gemacht (Abb. 7.23). Die Ausschnitte wurden rotiert, um einer Wiedererkennung durch die wiederholte Anzeige entgegenzuwirken.



**Abbildung 7.23:** Beispiel eines in der Studie gezeigten Kartenausschnitts. In der Legende wurden keine dB-Werte angegeben, um eine intuitive Einschätzung zu fördern. Daher wurde auch ein Schieberegler zur Dateneingabe angeboten, der laut Voreinstellung für jede Karte bei Null stand.

### 7.2.2.3 Faktor Einfärbung der niedrigsten Klasse

Betrachtet man die Lärmkarten der 27 deutschen Ballungsräume (Kap. 6.2), ist festzustellen, dass in rund 70 Prozent der Lärmkarten die niedrigste Klasse des Lärmindex farblos dargestellt wird. Das resultiert in einer weniger „bunten“ Karte und könnte Nutzer, entsprechend der Metapher „weniger Farbe, weniger des Phänomens“, darauf schließen lassen, dass die Lärmbelastung geringer ist. Dies ist v. a. zu erwarten, wenn in der Legende erläutert wird, ob farblose Flächen nicht berechnet wurden, oder ob sie keinem der dargestellten dB-Werte entsprechen. Im durchgeführten Experiment galt es zu untersuchen, ob diese Darstellung tatsächlich einen Einfluss auf die Einschätzung der Lärmbelastung hat, d. h. ob die Lärmbelastung entsprechend der Hypothese 5 bei farbloser niedrigster Klasse (Abb. 7.24) geringer eingeschätzt wird als mit farbiger (Abb. 7.22).



**Abbildung 7.24:** Gezeigte Ausschnitte im Brewer Farbschema YiOrRd mit farbloser niedrigster Klasse zu Darstellung des Lärmindex

### 7.2.2.4 Aufgaben

Die Aufgabe der Teilnehmer wurden an eine realistische Anwendung angelehnt. Für jeden Ausschnitt sollte die Lärmbelastung auf einer Skala von 0 bis 100 eingeschätzt werden. Das Einschätzen der Lärmbelastung in einem Gebiet könnte zum Beispiel im Rahmen der Task *Pattern* oder *Behaviour Comparison* (nach Andrienko und Andrienko, 2006, vergl. Kap. 6.3.3) durchgeführt werden. Es wurde bewusst das Verb *einschätzen* verwendet und ein Schieberegler zur Auswahl des Wertes angeboten, um eine intuitive schnelle Interpretation zu fördern (Abb. 7.23). Der Begriff *Lärmbelastung* wurde gewählt, da die dargestellten dB-Werte den logarithmischen Schalldruckpegel präsentieren und das Einschätzen dieses für Laien quasi unmöglich gewesen wäre. Die Skala von 0 bis 100 wurde gewählt, da sie gängig ist und keine zusätzliche Interpretation voraussetzt.

### 7.2.3 Teilnehmer und Durchführung

Das Experiment wurde als Feldexperiment mit der allgemeinen Öffentlichkeit als Zielgruppe durchgeführt. Die Durchführung als Feldexperiment führt zwar durch die unterschiedliche Darstellung auf den verschiedenen Bildschirmen der Teilnehmer zu keiner wahrnehmungspsychologischen Aussage über den Einfluss der Farbschemen, dafür hätte das Experiment im Labor mit kalibrierten Bildschirmen und fixen Lichtverhältnissen durchgeführt werden müssen. Das Ergebnis beschreibt hingegen den Effekt bei einer tatsächlichen Anwendung der Farbschemen auf den Bildschirmen potentieller Kartennutzer und ist daher für eine anwendungsorientierte Entwicklung eines Farbschemas interessant.

Es gab vier Fragegruppen: Vorwissen, Nutzereigenschaften, Aufgaben und demografische Fragen (siehe Fragebogen im Anhang C), wobei die Antwortmöglichkeiten für die Frage zu den Nutzereigenschaften in zufälliger Reihenfolge angezeigt wurden.

Zur Beschreibung der Aufgaben wurde als Einleitung Abbildung 7.25 gezeigt. Darin wird erklärt, wie die Lärmbelastung anhand der Skala einzuschätzen ist, um sicherzugehen, dass die Teilnehmer ein Bild davon haben, wie eine geringe bzw. hohe Lärmbelastung aussehen kann. Die Bilder dienen somit als Referenz. Im Hauptteil des Experiments wurden die 56 Kartenausschnitte jeweils auf einer eigenen Seite gezeigt.

Um sicher zu gehen, dass die Fragen verständlich sind und um die benötigte Zeit abzuschätzen, wurde ein Pre-Test mit fünf Teilnehmern durchgeführt. Es gab keine grundlegenden Änderungen an der Studie.

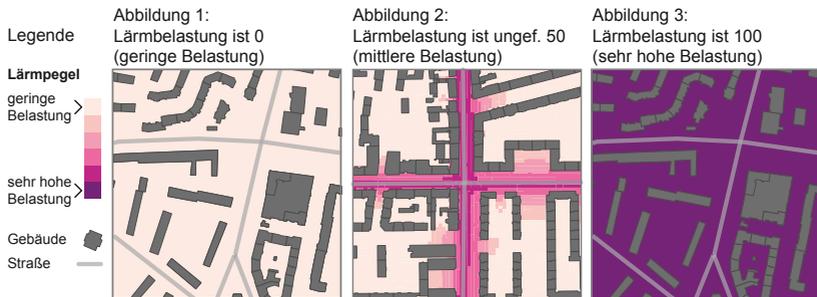


Abbildung 7.25: Erklärung zur Interpretation der Lärmbelastung

## 7.2.4 Interpretation der Ergebnisse

### 7.2.4.1 Teilnehmer: Demografische Daten, Vorwissen und präferierte Farbschemen

Es wurden 81 unbezahlte Teilnehmer über persönliche E-Mails, E-Mail-Verteiler und Aufrufe in sozialen Netzwerken rekrutiert. 56 komplette Datensätze wurden ausgewertet (25 weiblich, 30 männlich, 1 k.A.). Die Anzahl der Teilnehmer wurde als ausreichend empfunden, nachdem sich der Mittelwert der Einschätzung der Lärmbelastung um weniger als 10 Prozent des Mittelwertes veränderte (Boukhelifa et al., 2012).

Da die Beantwortung der einzelnen Fragen nicht zwingend war, wurden zwar alle berücksichtigten Umfragen zu Ende gebracht, einzelne Fragen sind eventuell unbeantwortet geblieben. Die Standardeinstellung des Schiebereglers war auf Null, daher wurde bei der Auswertung davon ausgegangen, dass Fragen nicht beantwortet wurden, wenn der Schieberegler auf Null belassen wurde. Das ist insofern realistisch, als kein Ausschnitt eine so geringe Lärmbelastung aufwies, dass die Angabe von Null gerechtfertigt gewesen wäre. Diese fehlenden Werte wurden in der Auswertung als „missing values“ deklariert und nicht berücksichtigt.

Als Zielgruppe wurde die breite Öffentlichkeit im deutschen Sprachraum definiert, da das Farbschema für diese entwickelt wird. Über 96 Prozent der Teilnehmer leben im deutschen Sprachraum, zwei leben in einem anderen Land Europas. Diese wurden dennoch in die Auswertung mit aufgenommen, da es ihnen möglich war, das Experiment auf Deutsch zu durchlaufen und deshalb eine Nähe zum deutschen Sprachraum angenommen werden kann.

Der Großteil der Teilnehmer, 72 Prozent, waren zwischen 21 und 40 Jahren, dennoch waren auch die Altersklassen 41 bis 50, 51 bis 60, 61 bis 70 und über 71 Jahre mit sechs, drei, zwei bzw. vier Teilnehmern vertreten.

Da es um das Interpretieren anhand von Farbschemen ging, wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, auch Teilnehmer mit Farbenfehlsichtigkeit zu berücksichtigen. Nachdem rund 8 Prozent der männlichen Bevölkerung in unterschiedlichem Ausmaß betroffen sind (Jenny und Kelso, 2007), gaben 4 männliche Teilnehmer (7,1 Prozent der gesamten Teilnehmer, 13,3 Prozent der männlichen Teilnehmer) an, eine vom Fachmann diagnostizierte Farbenfehlsichtigkeit zu haben. Das bedeutet, dass Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit leicht überrepräsentiert waren. Zusätzlich zur Selbsteinschätzung wurden zwei Farbtafeln nach Ishihara (2005) (vergl. Abb. 4.11) unter die Karten gemischt und um die Identifikation der darauf abgebildeten Zahlen gebeten. Die Farbtafel mit der Zahl „74“ wird von Menschen mit einer Rot-Grün-Fehlsichtigkeit als „21“ interpretiert, die Tafel mit der Zahl „5“ wird bei einer Fehlsichtigkeit als „2“ interpretiert. Zusätzlich zu den vier Teilnehmern, die über eine diagnostizierte Farbenfehlsichtigkeit berichteten hat eine männliche Person beide Zahlen der Farbtafeln falsch abgelesen oder eingetragen und weitere acht die Tafel mit der Zahl „74“ falsch gelesen bzw. eingetragen. Davon haben zwei die Zahl „21“ gesehen, die restlichen sieben haben eine der beiden Zahlen falsch gesehen. Zwei konnten die Sieben nicht erkennen und fünf haben anstatt der Vier eine Eins gesehen. Zusammengefasst hatten 13 Teilnehmer (~ 23 Prozent, 7 männlich, 5 weiblich, 1 k.A.) Probleme, Zahlen, die in Rot oder Grün dargestellt waren, zu identifizieren. Anhand dieser Ergebnisse kann zwar keine eindeutige Rot-Grün-Fehlsichtigkeit diagnostiziert werden, das wäre nur möglich, wenn von 11 gezeigten Tafeln nur sieben oder weniger, bei einer Betrachtung bei Tageslicht aus 75 cm Entfernung und einer Positionierung rechtwinkelig zur Sehlinie, falsch interpretiert worden wären (Ishihara, 2005). Dennoch zeigt das Ergebnis, dass die Bildschirmeinstellungen oder der

Sichtwinkel eine eindeutige Unterscheidung zwischen Rot und Grün erschwert hat und sich dadurch quasi eine *situative* Farbenfehlsichtigkeit ergibt. Diese situative Farbenfehlsichtigkeit wurden auch von Schumann und Müller (2000) und Welsch und Liebmann (2012) beschrieben (siehe Kap. 4.3.3).

Das Experiment wurde von knapp 51,8 Prozent der Teilnehmer auf einem Laptop durchgeführt, von knapp 42,9 Prozent auf einem Desktop-Computer und von drei Teilnehmern auf einem Tablet. Vor allem auf den Tablets ist eine veränderte Darstellung zu erwarten, da der Blickwinkeln sich stark von jenem der Monitore unterscheidet und zusätzlich für jeden Nutzer, je nach Gewohnheit anders. Tatsächlich haben alle drei Teilnehmer, die die Studie auf einem Tablet ausgefüllt haben, auch die Ishihara Tafel Nr. 74 nicht richtig gelesen, obwohl sie nicht angaben, dass sie mit einer Farbenfehlsichtigkeit diagnostiziert wurden.

Um abzuschätzen, welches Vorwissen die Teilnehmer zum Thema haben, wurde abgefragt, ob sie Erfahrung in den folgenden Bereichen haben: Lesen von Lärmkarten, Erstellung von Lärmkarten, Grafikdesign, Lesen von Diagrammen, Lesen von Karten, Gestalten von Karten. Die Hypothese ist, dass Teilnehmer mit Erfahrungen in den oben genannten Bereichen ein „geschultes“ Auge haben und deshalb Inhalte besser erfassen können und auch geübt sind, Farben zu unterscheiden. Die größte Erfahrung haben die Teilnehmer im Lesen von Diagrammen, hier geben über 70 Prozent an große bis sehr große Erfahrung zu haben. Ebenso das Lesen von Karten ist für 61 Prozent der Teilnehmer keine ungewohnte Tätigkeit, sie gaben an, große bis sehr große Erfahrung zu haben, während über 28 Prozent mittlere Erfahrung aufwiesen. Es wurde nicht im Speziellen auf die Art der Karten eingegangen, bei welcher Erfahrungen bestehen. Selbst im Grafikdesign und dem Gestalten von Karten haben über 55 Prozent bzw. knapp 48 Prozent der Teilnehmer mittlere bis sehr große Erfahrung. Beim Lesen und Erstellen von Lärmkarten ist der Erfahrungsschatz wesentlich geringer: nur knapp über 20 Prozent gaben an mittlere bis sehr große Erfahrung beim Lesen zu haben, nur 3 Personen (knapp über 5 Prozent) weisen mittlere oder sehr große Erfahrung bei der Erstellung von Lärmkarten auf.

Aus Interesse wurde gefragt, welches der Farbschemen den Teilnehmern am besten gefällt. Die Frage wurde generell gestellt und nicht auf einen speziellen Anwendungsfall eingegangen. Als erste Wahl wurde das Brewer-Schema YlOrRd (Nr. 4) gewählt (17 Nennungen, 39,3 Prozent). Anders als erwartet scheinen kräftige Rottöne beliebt zu sein. Die zweite Wahl fiel auf die Schemen 1 und 5 gemeinsam (jeweils 12 Nennungen, 21,43 Prozent). Erstaunlicherweise viel die vierte Wahl auf das DIN-Schema (Nr. 7).

#### 7.2.4.2 Methode der Auswertung

Der statistische Test, der zur Auswertung der Ergebnisse verwendet wird, wird entsprechend der Zahl der unabhängigen Variablen (hier: 1), dem Format der abhängigen (Output-) Variable (hier: Intervallskala), der Zahl der Faktoren (hier: 3), dem Format der Faktoren (hier: kategorisch), und der Versuchsanordnung (hier: Innersubjektdesign) gewählt. Im Fall dieses Experiments eignet sich eine ANOVA für mehrere Variablen mit Messwiederholungen (Factorial Repeated Measures ANOVA) (Field, 2005). Die Voraussetzung, neben einer kontinuierlichen abhängigen Variable und mindestens zwei Faktoren, ist eine Annäherung an die Normalverteilung. Jedoch ist der Test robust und Abweichungen wirken sich nicht stark auf die Qualität der Ergebnisse aus (Field, 2005, S. 360). Zusätzlich, und das ist wichtiger, soll Sphärizität herrschen. Die Sphärizitätsannahme ist die Annahme, dass die Varianzen der Unterschiede verschiedener Faktoren homogen sind. Sie kann erst ab drei

Faktorstufen berechnet werden und fällt bei zweien weg. Ist die Annahme gegeben, ist die Korrelation zwischen jeweils zwei Messpunkten ähnlich schwach, d. h. dass die Variation der Testfaktoren ähnlich ist und keine zwei Testkonditionen abhängiger voneinander sind als andere. Die Sphärizität wird mit dem Mauchly-Test überprüft. Sollten die Ergebnisse signifikant sein, werden korrigierte Werte, z. B. nach Greenhouse-Geisser, zur Interpretation herangezogen. Im Falle einer nicht bestätigten Sphärizitätsannahme können als Alternative auch multivariate Tests zur Analyse herangezogen werden (MANOVA). Diese werden von der Software SPSS, z. B. im Zuge der Repeated Measures ANOVA, bereits automatisch ausgeführt (Field, 2005).

Die Normalverteilung wurde anhand des Shapiro-Wilk Tests überprüft und ist für die Hälfte der 42 betrachteten Szenarien gegeben. Um bei einer größeren Anzahl an Szenarien eine Normalverteilung zu erreichen wurde eine Log-Transformation<sup>4</sup> getestet, diese kehrte jedoch das Verhältnis lediglich um, d. h. knapp die Hälfte der Szenarien wies nach wie vor keine Normalverteilung auf, weshalb mit den originalen Daten weitergerechnet wurde, denn wie beschrieben, ist die ANOVA robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung (Field, 2005, S. 360).

#### 7.2.4.3 Test der Innersubjekteffekte

Das Ziel war, herauszufinden, welchen Einfluss die Farben auf die Einschätzung der Lärmbelastung haben, d. h. ob sich die Mittelwerte der Einschätzung für die verschiedenen Farbschemen unterscheiden.

Der Mauchly-Test bestätigte die Sphärizitätsannahme weder für die Effekte des Farbschemas  $\chi^2(20) = 54,03, p < 0,0001(\text{sig.})$ , noch für die Ausschnitte  $\chi^2(2) = 14,16, p < 0,0001(\text{sig.})$ . Für die Einfärbung der niedrigsten Klasse kann diese Annahme nicht überprüft werden, da es nur zwei Faktorstufen gibt. Daher werden die Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser korrigiert und die resultierenden Werte berichtet.

#### Zur Beantwortung der Forschungsfragen:

**Forschungsfrage 2.1:** Beeinflussen bestimmte Farbschemen die Interpretation der Schallimmissionen?

*Hypothese (H) 2.1.a:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas mit kräftigen, gesättigten Farben höher eingeschätzt.

*Hypothese 2.1.b:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Pastelltönen geringer eingeschätzt.

*Hypothese 2.1.c:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung von Rottönen für hohe Werte als insgesamt höher eingeschätzt, da Rot eine Signalfarbe ist.

*Hypothese 2.1.d:* Die Lärmbelastung wird bei Verwendung eines Farbschemas in Blau- oder Grüntönen geringer eingeschätzt, weil Blau und Grün als kalte Farben mit ruhigeren Gebieten assoziiert werden.

Es gibt einen signifikanten Effekt des Farbschemas auf die Einschätzung der Lärmbelastung,  $F(4, 1) = 25,3, p < 0,0001(\text{sig.})$ , d. h. mindestens zwei der Mittelwerte unterscheiden sich. Die paarweisen Vergleiche der Farbschemen zeigen, dass die Einschätzung anhand der Farbschemen 1 bis 4 sich von den Farbschemen 5 bis 7

<sup>4</sup> Bei der Log-Transformation werden alle Werte logarithmiert, wodurch v. a. rechtsschiefe (positiv schiefe) Daten eher normalverteilt werden.

signifikant unterscheidet ( $p < 0,0001$ ), d. h. die Farbschemen, die eher in Pastelltönen gehalten sind, bzw. mit Pastelltönen beginnen, und weniger Farbtonübergänge haben, zeigen eine geringere Einschätzung als Farbschemen in denen durchwegs kräftige Farben verwendet werden (Abb. 7.26 und 7.27). Zwischen kalten und warmen Schemen gibt es keine erkennbaren Unterschiede.

Die Hypothese 2.1.a, wonach die Lärmbelastung bei Darstellung mit kräftigen, gesättigten Farben höher eingeschätzt wird, kann somit bestätigt werden. Ebenso kann auch Hypothese 2.2.b bestätigt werden, wonach Farbschemen in Pastelltönen zu einer niedrigeren Einschätzung der Lärmbelastung führen. Durch die Ergebnisse widerlegt wird die Hypothese 2.1.c, dass eine Darstellung in Rottönen zu einer höheren Einschätzung der Belastung führt. Beide Brewer-Schemen in Rottönen (Nr. 2 und 4) führten zu keiner erhöhten Einschätzung im Gegensatz zu den kühleren Schemen 1 und 3. Daher wurde auch Hypothese 2.1.d nicht bestätigt, wonach Farbschemen in Blau- und Grüntönen zu einer niedrigeren Einschätzung führen. Einfluss auf die Einschätzung nahm folglich nicht der Farbton, sondern die Helligkeit, Sättigung und die Anzahl der Farbtöne.

Es gab einen signifikanten Effekt durch die drei verschiedenen Ausschnitte, die gezeigt wurden,  $F(1,5) = 371,93, p < 0,0001$  (*sig.*). Dieses Ergebnis zeigt, dass die Teilnehmer klare Unterschiede in ihrer Bewertung gemacht haben, je nach Karteninhalt, denn paarweise Vergleiche zeigen signifikante Ergebnisse für alle Kombination ( $p < 0,0001$ ).

Interaktions-Effekte bestehen lediglich zwischen dem gezeigten Farbschema und dem Faktor Ausschnitt,  $F(6,04) = 974,04, p < 0,0001$  (*sig.*). Das heißt, dass das Farbschema unterschiedliche Effekte auf die Bewertung der Lärmbelastung hatte, in Abhängigkeit davon, welcher Kartenausschnitt gewählt wurde. Das ist in Anbetracht der Tatsache, dass die Kartenausschnitte bewusst unterschiedliche Mittelungspegel präsentieren nachvollziehbar.

**Forschungsfrage 2.1.1:** Zeigen sich Unterschiede bei unterschiedlicher Darstellung der niedrigsten Klasse des dargestellten Lärmindezes (farblos vs. farbig)?

*Hypothese 2.1.1:* Die Belastung durch Lärm wird bei farbloser Darstellung der untersten Klasse geringer eingeschätzt.

Entgegen der Hypothese 2.1.1 haben die beiden Faktorlevels farbige und farblose niedrigste Klasse keinen signifikanten Effekt auf die Einschätzung der Lärmbelastung,  $F(3,29) = 303,21, p = 0,077$ . Dieses Ergebnis ist überraschend und zeigt, dass die Nutzer in der Lage waren, die Karten anhand der Legende richtig zu interpretieren und sich in diesem Fall nicht von den Farben in die Irre leiten lassen, was im Gegensatz zu den restlichen Ergebnissen steht, laut denen helle Farben in den niedrigen Klassen schon zu einer geringeren Einschätzung geführt haben.

(I) Farbschema	Mittelwertdifferenz z (I-J)	Standardfehler	Sig. <sup>b</sup>	95 % Konfidenzintervall für Differenz <sup>b</sup>		
				Untergrenze	Obergrenze	
1	2	-,938	1,208	1,000	-4,843	2,967
	3	-1,244	,949	1,000	-4,314	1,825
	4	-2,822	,999	,151	-6,052	,409
	5	-8,624 <sup>a</sup>	1,098	,000	-12,175	-5,073
	6	-8,736 <sup>a</sup>	1,252	,000	-12,785	-4,688
	7	-8,895 <sup>a</sup>	1,234	,000	-12,885	-4,906
	2	1	,938	1,208	1,000	-2,967
3		-,306	1,298	1,000	-4,505	3,892
4		-1,884	1,014	1,000	-5,162	1,394
5		-7,686 <sup>a</sup>	,999	,000	-10,916	-4,456
6		-7,798 <sup>a</sup>	1,271	,000	-11,910	-3,687
7		-7,957 <sup>a</sup>	1,281	,000	-12,099	-3,816
3		1	1,244	,949	1,000	-1,825
	2	,306	1,298	1,000	-3,892	4,505
	4	-1,578	1,107	1,000	-5,158	2,003
	5	-7,380 <sup>a</sup>	1,340	,000	-11,713	-3,047
	6	-7,492 <sup>a</sup>	1,518	,000	-12,402	-2,582
	7	-7,651 <sup>a</sup>	1,490	,000	-12,468	-2,834
	4	1	2,822	,999	,151	-,409
2		1,884	1,014	1,000	-1,394	5,162
3		1,578	1,107	1,000	-2,003	5,158
5		-5,802 <sup>a</sup>	,917	,000	-8,769	-2,836
6		-5,915 <sup>a</sup>	1,036	,000	-9,264	-2,565
7		-6,074 <sup>a</sup>	1,008	,000	-9,333	-2,814
5		1	8,624 <sup>a</sup>	1,098	,000	5,073
	2	7,686 <sup>a</sup>	,999	,000	4,456	10,916
	3	7,380 <sup>a</sup>	1,340	,000	3,047	11,713
	4	5,802 <sup>a</sup>	,917	,000	2,836	8,769
	6	-,112	,974	1,000	-3,261	3,036
	7	-,271	,720	1,000	-2,601	2,059
	6	1	8,736 <sup>a</sup>	1,252	,000	4,688
2		7,798 <sup>a</sup>	1,271	,000	3,687	11,910
3		7,492 <sup>a</sup>	1,518	,000	2,582	12,402
4		5,915 <sup>a</sup>	1,036	,000	2,565	9,264
5		-,112	,974	1,000	-3,036	3,261
7		-,159	1,130	1,000	-3,813	3,495
7		1	8,895 <sup>a</sup>	1,234	,000	4,906
	2	7,957 <sup>a</sup>	1,281	,000	3,816	12,099
	3	7,651 <sup>a</sup>	1,490	,000	2,834	12,468
	4	6,074 <sup>a</sup>	1,008	,000	2,814	9,333
	5	,271	,720	1,000	-2,059	2,601
	6	-,159	1,130	1,000	-3,495	3,813

Basierend auf geschätzten Randmitteln

\*. die Mittelwertdifferenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

b. Anpassung für Mehrfachvergleiche: Bonferroni.

**Abbildung 7.26:** Die Spalte links zeigt welches Farbschema welchem gegenüber gestellt wird. Die 2. Spalte zeigt die Mittelwertdifferenzen in Zahlen (Spalte 5 und 6 zeigen das dazugehörige 95 Prozent Konfidenzintervall) und die 4. Spalte ob diese signifikant sind - alle Werte unter 0,05 sind als signifikant zu werten.

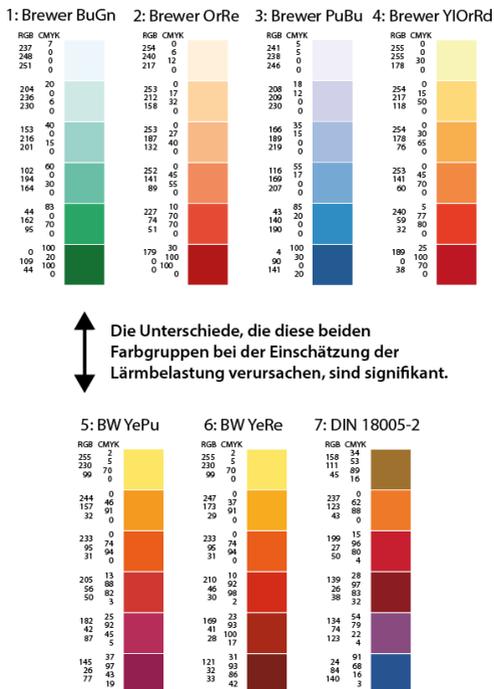
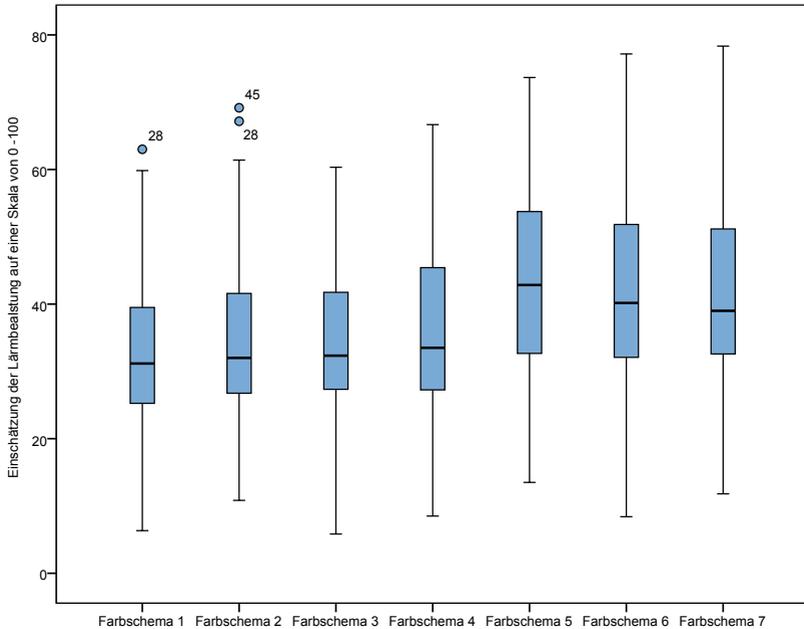


Abbildung 7.27: Die Farbschemen dieser beiden Gruppen unterscheiden sich jeweils signifikant.

### 7.2.4.4 Vergleich der Einschätzung mit dem realen Mittelungspegel der Ausschnitte

Für die Weiterentwicklung eines Farbschemas ist es wichtig, den Einfluss des Farbschemas quantitativ fassbar zu machen. So kann festgestellt werden, mit welchen Farbschemen die Einschätzung realistisch und mit welchen die Lärmbelastung über- oder unterschätzt wurde. Wie oben beschrieben, lassen sich in den Einschätzungen der Lärmbelastung zwei Gruppen erkennen, die niedrigere verursacht durch die Farbschemen 1 bis 4 und die höhere durch die Schemen 5 bis 7. Der Mittelwert aller Einschätzungen liegt bei den beiden Farbgruppen, die sich signifikant unterscheiden (vergl. Abb. 7.27), bei knapp über 30 bzw. bei etwa 40 auf der verwendeten Skala von 0 bis 100 (Abb. 7.28).

Da die Lärmbelastung auf einer fiktiven Skala eingeschätzt wurde, kann sie nicht direkt mit den Mittelungspegeln der vier Kartenausschnitte verglichen werden. Ein Vergleich wird zusätzlich dadurch erschwert, dass die Schallpegel in 5 dB Klassen abgebildet werden, der visualisierte Minimalpegel bei 55 dB liegt, sowie der visualisierte Maximalpegel bei 76 dB. Tatsächlich liegt der Minimalpegel in den drei Ausschnitten bei 41, 42 und 39 dB; das geht in den Wert des Mittelungspegels ein, die Werte fallen aber bei der Visualisierung in die Klasse „≤ 55 dB“. Der Maxi-



**Abbildung 7.28:** Die Einschätzung der Lärmbelastung auf einer Skala von 0 bis 100 zeigt deutlich die beiden resultierenden Farbgruppen, die sich signifikant unterscheiden. Die schwarze Linie kennzeichnet den Median, der Balken die mittleren 50 Prozent und die beiden Linien jeweils die unteren und oberen 25 Prozent. Die Ausreißer sind mit Kreisen gekennzeichnet. Die Nummer daneben gibt Auskunft über ihre Datenreihe.

malpegel liegt bei 79 dB für Ausschnitt eins und zwei und 75 dB für Ausschnitt drei und ist damit ganz gut durch die visualisierte Klasse  $> 75$  repräsentiert. Das heißt eine genaue Einschätzung der Werte ist den Kartennutzern aufgrund der sechs dargestellten Klassen nie möglich. Im Folgenden soll dennoch eine *Annäherung* zwischen den Einschätzungen und dem tatsächlich dargestellten Mittelwert erfolgen, um den tatsächlichen Einfluss des Farbschemas annäherungsweise zu quantifizieren.

Um eine Annäherung zur Validierung der Ergebnisse zu schaffen, wurden die tatsächlichen Mittelungspegel der drei Ausschnitte auf eine Skala von 0 bis 100 normiert. Dafür wurden sie zuerst bei fester Basis potenziert, d. h. „delogarithmiert“. Nachdem laut der Beschreibung in der Einleitung des Experiments (Abb. 7.25) eine Karte mit einem Mittelungspegel von 55 dB, was entsprechend der dargestellten Klassen der kleinstmögliche Mittelwert ist, mit Null bewertet werden sollte und das Pendant mit dem höchstmöglichen Mittelungspegel von 76 dB mit 100, wurde die Differenz zwischen 55 dB und 76 dB als Spanne von 0 bis 100 genommen und 100 als 100 Prozent definiert. Die Differenz des jeweiligen potenzierten Pegels zum niedrigsten Wert kann somit als Prozentsatz von 100 ausgedrückt werden und stellt den

normierten Mittelungspegel dar (Tab. 7.8). Wird nun die Ist-Einschätzung der Teilnehmer im Experiment mit dem normierten Mittelungspegel verglichen, erhält man die Abweichung, die in etwa zeigt, wie realistisch die Einschätzungen der Teilnehmer waren.

**Tabelle 7.8:** Berechnung der normierten Mittelungspegel zum Vergleich mit der Einschätzung der Lärmbelastung

	tatsächlicher Mittelungs- pegel dB	MP po- tenziert	Differenz zum niedrigs- ten Wert	MP normiert	Ein- schätzung	Abweichung*
<b>max.</b>	76	1,88	0,14	100	100	-
<b>Nr. 1</b>	68,4	1,84	0,09	67,42	55,78	~ -11,64
<b>Nr. 2</b>	67,2	1,83	0,09	61,95	36,21	~ -25,74
<b>Nr. 3</b>	61,4	1,79	0,05	34,04	16,65	~ -17,39
<b>min.</b>	55	1,74	0	0	0	-

\* aufgrund der 5-dB-Klassen und dargestellten Minimal- und Maximalpegel nur eine Annäherung

Es zeigt sich, dass für alle Ausschnitte die Einschätzungen unter den tatsächlichen Mittelungspegeln lagen, d. h. die Lärmbelastung wurde zu gering eingeschätzt - auf einer Skala von 0 bis 100 um etwa 18,3 Punkte. Hier soll noch einmal betont werden, dass die Teilnehmer aufgrund der 5-dB-Klassen und dargestellten Minimal- und Maximalpegel gar nicht in der Lage waren, die Lärmbelastung ganz korrekt einzuschätzen und die Abweichung somit nur eine Annäherung sein kann. Diese „Fehleinschätzung“ ist v. a. der logarithmischen Skala zu verdanken, denn aufgrund dieser tragen höhere Werte mehr zu einem Mittelungspegel bei, der Vergleich des Mittelungspegels mit dem arithmetischen Mittel macht das deutlich (Abb. 7.9). Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die Darstellung mit kräftigen Farben eher den tatsächlichen Mittelwerten entspricht.

**Tabelle 7.9:** Die Werte der Tabelle zeigen deutlich, wie sehr der korrekt berechnete Mittelungspegel vom arithmetischen Mittel der Werte abweicht, was die Einschätzung des Wertes in Karten beinahe unmöglich macht.

	Mittelungspegel	Arithmetisches Mittel
Ausschnitt 1	68,4 dB	63,5 dB
Ausschnitt 2	67,2 dB	61,2 dB
Ausschnitt 3	61,4 dB	56,9 dB

### 7.2.5 Zwischenresümee: Farbschemen haben einen Effekt auf die Interpretation

Dieses *within-subjects* Experiment analysierte den Einfluss verschiedener Farben auf die Interpretation der Lärmbelastung in Lärmkarten. Es konnte ein signifikanter Effekt verschiedener Farbschemen auf die Einschätzung der Lärmbelastung beobachtet werden: Schemen mit kräftigen, gesättigten Farben bewirkten eine höhere Einschätzung als Schemen, die Pastelltöne enthalten. Zusätzlich zeigten eher Schemen mit deutlichen Farbtonübergängen eine höhere Einschätzung. Dennoch konnte kein Effekt durch Verwendung der Signalfarbe Rot oder von Grün- und Blautönen nachgewiesen werden. Dieser klare Unterschied zwischen kräftigen Schemen und Schemen mit Pastelltönen wurde nicht erwartet, daher wurde nicht von vornherein jedem Schema, das Pastelltöne enthält, ein kräftiges Pendant entgegen gestellt. Überraschenderweise zeigte auch die Kolorierung der niedrigsten Klasse keine Effekte. Die Höhe der Einschätzung ist unabhängig davon, ob die erste Klasse farbig oder farblos dargestellt wird. Das zeigt, dass die Information in der Legende so deutlich war, dass es durch diese Darstellung nicht zu Missverständnissen gekommen ist. Für Nutzer scheint in diesem Fall vor allem die Einfärbung der stark belasteten Flächen für die Interpretation ausschlaggebend zu sein. Fraglich ist dann jedoch, ob die Hypothese stimmt, dass die Pastellfarben in den Schemen ausschlaggebend für eine geringere Einschätzung der Lärmbelastung waren. Um die konkreten kausalen Zusammenhänge zu verstehen, müssten weitere Experimente durchgeführt werden.

Alle verwendeten Farbschemen resultieren jedoch in einer relativ geringen Einschätzung der Lärmbelastung im Verhältnis zum realen Mittelungspegel der Ausschnitte. Obwohl den Teilnehmern aufgrund der 5-dB-Klassen eine korrekte Einschätzung nicht möglich war, lässt sich daraus ableiten, dass gleichmäßige Abstände zwischen den Farben nicht zum gewünschten Ergebnis führen, da durch die logarithmische Skala höhere Werte bei der Berechnung des Mittelungspegels stärker ins Gewicht fallen. Interessant ist, dass die Schemen, die mit Pastelltönen beginnen und so eher einer logarithmischen Skala anmuten, trotzdem zu schlechteren Ergebnissen als die kräftigen Schemen führten. Es muss folglich eine Möglichkeit gefunden werden, die Abstände mit Anstieg der Werte optisch zu vergrößern und die Schemen trotzdem nicht mit hellen Farben zu beginnen, z. B. durch Farbtonübergänge.

Der Einsatz zweier Ishihara Tafeln mit den Zahlen 5 und 74 zeigte, dass mehr Teilnehmer als die erwarteten 4 Prozent Probleme bei der Unterscheidung von Rot und Grün hatten. 23 Prozent konnten zumindest eine Zahl auf einer der beiden Tafeln nicht erkennen. Daraus lässt sich ableiten, dass es durch Sichtwinkel bzw. Gesichtsfeld, Endnutzengeräte und Umgebungseinflüssen zu *situativ abhängigen Farbenfehlsichtigkeiten* kommen kann (vergl. Schumann und Müller, 2000, Welsch und Liebmann, 2012). Diese Effekte sind im Farbdesign für Karten jedenfalls zu berücksichtigen.

**Die Konsequenzen, die sich daraus für die Weiterentwicklung des Farbschemas ergeben sind (siehe Kap. 7.1.3.3):**

- (1) die Verwendung von kräftigen, gesättigten Farben, da diese eher zu einer realistischen Einschätzung der Lärmbelastung führen;
- (2) und die optische Anpassung der Abstände an die logarithmische Natur der dargestellten Werte, sodass sie repräsentativ sind.

## 7.3 Evaluation der Unterscheidbarkeit der Farben (Studie 2)

### 7.3.1 Ziel und Forschungsfragen

Ziel war es, die beiden Anforderung „Unterscheidbarkeit der Farben für Menschen mit und ohne Farbsehschwäche“ und „Visuelle Zuordenbarkeit der Farben zur Legende“ zu überprüfen, um ungeeignete Farbschemen auszuschließen. Die prinzipielle Unterscheidbarkeit ist eine Grundvoraussetzung, die geklärt werden muss, bevor andere Aspekte, wie die Assoziation mit den Farben, überprüft werden können. Im Zuge dessen werden folgende Forschungsfragen überprüft:

**Forschungsfrage 2.4:** Sind die Farben auf verschiedenen Bildschirmen unterscheidbar?

*Hypothese 2.4:* Die Farben des vorgeschlagenen Schemas können bei Anzeige auf diversen digitalen Ausgabegeräten gut voneinander unterschieden werden und den richtigen Werten in der Legende zugeordnet werden. Die Hypothese für dieses Experiment ist, dass die Farbschemen mit dem Blaugrün besser abschneiden als das Farbschema mit Grün, da es sich für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit schlechter von Rot und Orange unterscheiden lässt.

**Forschungsfrage 2.5:** Sind die Farben des Farbschemas auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit geeignet?

*Hypothese 2.5:* Die Farben sind von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit zu unterscheiden.

### 7.3.2 Methode und Aufbau des Experiments

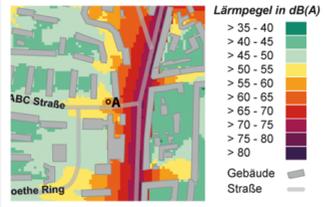
Es wurde ein Onlineexperiment (Fragebogen in Anhang D) durchgeführt, da die Onlinenutzung der Karten dem realistischen Nutzungskontext entspricht und die Interpretation mit einer Vielfalt an Bildschirmen untersucht werden konnte. Der Hauptteil der Studie waren 30 identische *Lookup Tasks*, d. h. Ableseaufgaben: Es sollten jeweils die Dezibel an ein bis drei in der Karte gekennzeichneten Punkten mit Hilfe einer Legende abgelesen werden und in einer Matrix die entsprechenden 5-dB-Klassen gewählt werden (Abb. 7.29). Zusätzlich gab es die Antwortmöglichkeit „Kann ich nicht erkennen“.

Die Unterscheidbarkeit der Farben in der Karte wurde anhand dieser Aufgaben zielorientiert getestet, da überprüft werden konnte, ob sich die Farben unterscheiden und den Farbfeldern in der Legende zuordnen lassen. Zusätzlich kommen bei der Zuordnung zweier auseinanderliegender Punkte Effekte wie der Simultankontrast oder der Einfluss durch die Größe der Fläche zum Tragen. Diese Effekte können nicht umgangen werden, sie entsprechen einer realistischen Situation.

In einleitenden Fragen wurde festgestellt, ob die Teilnehmer beruflich oder privat mit Kartografie oder Geovisualisierung beschäftigt sind und, ob bei ihnen von einem Fachmann eine Farbenfehlsichtigkeit diagnostiziert wurde. Zusätzlich zur Selbsteinschätzung sollte eine Ishihara Tafel mit der Zahl 29 identifiziert werden, die bei Farbenfehlsichtigkeit als 70 gelesen wird (vergl. Abb. 4.11). Im letzten Teil wurden demografische Fragen gestellt.

Die zehn gezeigten **Kartenausschnitte** basieren, wie jene der Studie 1, auf den Daten des Projektes *Silent City*, die vom *Umweltbundesamt* zur Verfügung gestellt wurden. Die Ausschnitte wurden jeweils in drei der vier **Farbschemen** der Entwicklungsstufe II gezeigt (Abb. 7.30, vergl. Kap. 7.1.3.2). Das an Alberts und Alferéz

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



**Lärmpegel in dB(A)**

- > 35 - 40
- > 40 - 45
- > 45 - 50
- > 50 - 55
- > 55 - 60
- > 60 - 65
- > 65 - 70
- > 70 - 75
- > 75 - 80
- > 80

Gebäude  
Straße

Punkt A

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

**Abbildung 7.29:** Die Aufgaben in Studie 2 waren klassische *Lookup Tasks*, zu einem Objekt (gekennzeichneter Ort) musste das entsprechende Attribut (dB-Wert) anhand der Legende gefunden werden.

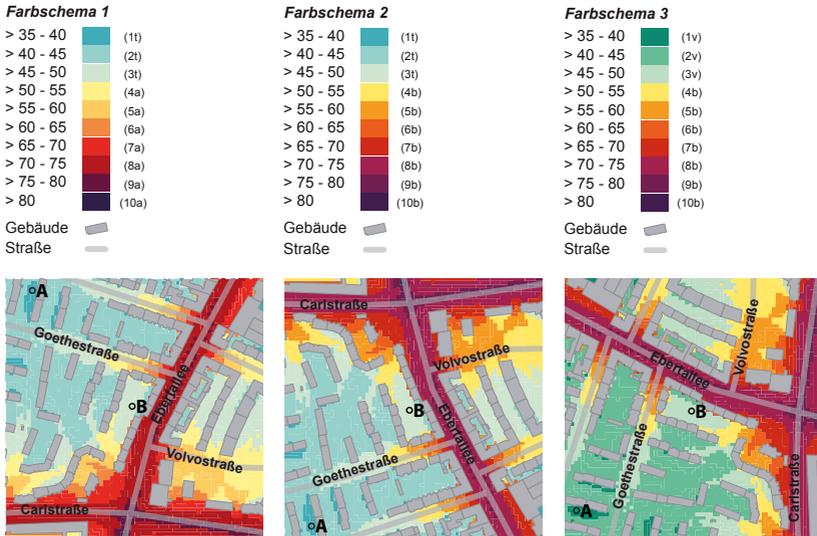
(2012) angelehnte Farbschema mit Grün wurde bereits vor dieser Studie ausgeschlossen, da es der Anforderung nicht standhält, dass die Farben für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unterscheidbar sind.

Der **Maßstab** der Ausschnitte wurde so festgelegt, dass Häuserblocks gut erkennbar sind und somit das Ablesen von Schallpegeln an gekennzeichneten Punkten einer realistischen Aufgabe entspricht. Er beträgt, je nach Bildschirmauflösung der Nutzer ungefähr 1:5000.

Die Teilnehmer bekamen jeden der zehn Ausschnitte in jedem Farbschema zu sehen, insgesamt drei Mal. Die Anordnung der ein bis drei Punkte pro Ausschnitt war fix, daher wurden die Ausschnitte in den drei Farbschemen rotiert und gespiegelt, um einer Wiedererkennung entgegen zu wirken. Jede Farbe wurde pro Farbschema einmal in Bildmitte und einmal am Bildrand abgefragt. Bei der verwendeten Bildgröße ist kein großer Unterschied zwischen dem Aussehen der Farben in der Mitte und am Bildrand zu erwarten und es kann nicht abgeschätzt werden, wo die Karten auf den Nutzerendgeräten platziert wurden, aber nachdem Farbenfehlsichtigkeiten bei einem größeren Gesichtsfeld häufiger auftreten (vergl. 4.3.3), wurde eine systematische Abwechslung der Anordnung umgesetzt.

Pro Teilnehmer ( $n = 15$ ) wurden 60 Werte in 20 Farben abgefragt, welche in drei Farbschemen präsentiert wurden (Tabelle 7.10). Jede Farbe wurde zumindest zwei Mal abgefragt, diejenigen, die in zwei Schemen Anwendung fanden, wurden vier Mal abgefragt. Die Tatsache, dass jedes Schema den Teilnehmern 20 Mal gezeigt wurde, schafft ausreichend Wiederholungen für eine statistische Auswertung.

Um zu überprüfen, ob die Studie zu den geplanten Outputs führt, wurde ein Pre-Test mit drei Teilnehmern durchgeführt und Kleinigkeiten angepasst.



**Abbildung 7.30:** Kartenausschnitte in den drei getesteten Farbschemen. Das Blaugrün in den Schemen 1 und 2 und die restlichen Farben in den Schemen 2 und 3 sind jeweils identisch. Die Abbildungsgröße der Ausschnitte entspricht nicht der Originalgröße.

**Tabelle 7.10:** Überblick des 3x2 Designs in Studie 2

Faktorname	Levels	Typ
Farbschemen	3, bestehend aus jeweils 10, insgesamt 20 Farben	within-subjects, fixed effects
Lage des Ablesepunktes	in der Mitte oder am Bildrand (meistens links außen)	within-subjects, fixed effects

### 7.3.3 Teilnehmer und Durchführung

Die Teilnehmer (12 männlich, 3 weiblich) wurden über soziale Netzwerke und persönliche Zuschriften akquiriert. Insgesamt flossen 15 komplette Datensätze in die Auswertung ein. Datensätze wurden berücksichtigt, sobald alle Fragen aufgerufen wurden, auch wenn einzelne Fragen unbeantwortet blieben, diese wurden der Antwortmöglichkeit „Kann ich nicht erkennen“ gleichgesetzt. Von den Teilnehmern beschäftigten sich vier professionell mit Kartografie oder Geovisualisierung.

Da es um die Unterscheidbarkeit der Farben ging, wurden Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit ganz speziell zur Studie eingeladen. Vier männliche Teilnehmer gaben an, eine Rot-Grünschwäche zu haben. Das ist ein Viertel der Teilnehmer und die Anzahl somit im Vergleich mit der Gesamtbevölkerung überrepräsentiert, was beabsichtigt war. Außer jenen, die Angaben eine Farbenfehlsichtigkeit zu haben, haben keine Teilnehmer die Zahl der Ishihara Tafel falsch abgelesen.

### 7.3.4 Interpretation der Ergebnisse

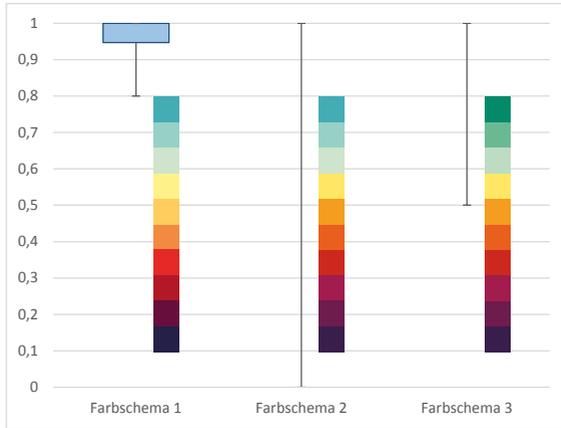
Eine Evaluation der *Accuracy Rate*<sup>5</sup> zeigte, dass mit dem auf Alberts und Alferex (2012) beruhenden Farbschema (Abb. 7.30, Nr. 1) 90,7 Prozent der abgegebenen Antworten richtig waren, mit den anderen beiden Schemen 88 bzw. 83,3 Prozent<sup>6</sup>. Die höhere Fehlerquote mit dem Farbschema Nr. 3 entspricht der Hypothese, dass der verwendete Grünton zu den größten Schwierigkeiten bei der Unterscheidung führt. Betrachtet man die Ergebnisse jedoch im Detail (siehe unten), kann die Hypothese nicht bestätigt werden.

Die Signifikanz der Ergebnisse wurde anhand einer ANOVA für mehrere Variablen mit Messwiederholungen (Factorial Repeated Measures ANOVA) überprüft, indem alle Antworten pro Farbschema zusammengefasst und gemittelt wurden (zur Methode siehe Kap. 7.2.4.2). Es ergibt sich die *Accuracy Rate* pro Teilnehmer für jedes Farbschema. Die Sphärizitätsannahme wurde anhand des Mauchly-Test für den Faktor Farbschema bestätigt,  $\chi^2(2) = 3,7, p = 0,16$ . Für die zwei Faktorlevels des zweiten Faktors „Lage des Ablesepunktes“ kann diese Annahme nicht getroffen werden. Nachdem Sphärizität bestätigt wurde, werden die unkorrigierten *F*-Werte berichtet. Entsprechend des Shapiro-Wilk Tests liegt für die Faktoren keine Normalverteilung vor. Das ist nachvollziehbar, da die Werte der abhängigen Variable für beide Faktoren Eins für eine richtige Antwort und Null für eine falsche Antwort sind. Da die *Accuracy Rate*, d. h. die Anzahl der richtigen Antworten sehr hoch ist, kann es keine Normalverteilung geben. Da die Verteilung sehr unterschiedlich unsymmetrisch ist, wurden keine Datentransformationen durchgeführt. Abbildung 7.31 zeigt die Verteilung der Werte für die drei Farbschemen in einem Box-Plot. Die Unterschiede in der Richtigkeit der Antworten, die sich durch die drei Farbschemen ergeben haben, sind nicht signifikant  $F(2) = 2,55, p = 0,096$ . Ebenso unterscheiden sich die Mittelwerte der *Accuracy Rate* des zweiten Faktors, 85,6 Prozent für den Ablesepunkt in der Mitte und 89,1 Prozent für den Ablesepunkt am Bildrand, knapp nicht signifikant,  $F(1) = 4,35, p = 0,056$ . Weitere Tests müssten folgen, um den Einfluss der Lage des Ablesepunktes zu bestätigen.

Die *Accuracy Rate* der einzelnen Farben zeigt, dass es mit dem Orange (6b, Abb. 7.30) und den beiden dunkelsten Tönen (10a, 10b, Abb. 7.30) die meisten Fehler gab (Abb. 7.32). Die Verteilung der Werte wird im Box-Plot der Abbildung 7.33 dargestellt. Ein Drittel bzw. ein Viertel der Gesamtteilnehmer verwechselten die Farben mit den *jeweils helleren Tönen*, d. h. es wurde eine Pegelklasse unter der tatsächlichen gewählt, was für die Karteninterpretation keinen schwerwiegenden Fehler ergibt. Grundlegende Verwechslungen mit anderen Farbtönen, oder gar zwischen Orange und Grün traten nicht auf. Diese Tatsache bestätigt, dass die Schemen auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unterscheidbar sind. Eine ANOVA für Messwiederholungen zeigt, dass die Unterschiede zwischen den in Abbildung 7.32 präsentierten Mittelwerten für die einzelnen Farben signifikant sind,  $F(19) = 2,435, p < 0,001(\text{sig.})$ .

<sup>5</sup> Anzahl der richtigen Antworten in Bezug auf die abgegebenen Antworten.

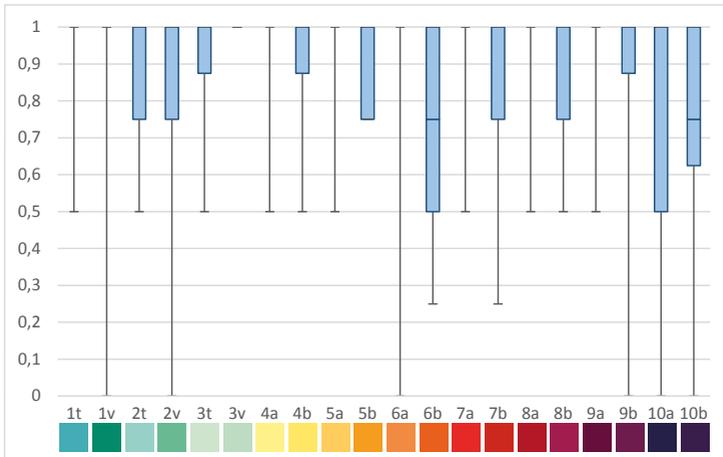
<sup>6</sup> Keine Antwort, oder die Antwort „Kann ich nicht erkennen“ wurden als falsche Antwort gezählt.



**Abbildung 7.31:** Der Box-Plot zeigt die Verteilung der Accuracy Rate für die drei Farbschemen. Farbschema 1 führte zu 90,7 % richtigen Antworten, die Schemen 2 und 3 zu 88 bzw. 83,3 %. Für die Farbschemen 2 und 3 sind Quartil eins, der Median und das dritte Quartil gleich eins. Lediglich mit Farbschema 1 zeigt der Stab die Spanne der 25 % der Werte die unter dem Median von Eins liegen.

	Farbe	1	2 (BW VgYeMaPu)	3 (BW VgYeMaPu)	Accuracy Rate	Rang
> 35 - 40	1t				91,7	4
	1v				83,3	8
> 40 - 45	2t				90	5
	2v				83,3	8
> 45 - 50	3t				91,7	4
	3v				100	1
> 50 - 55	4a				96,7	2
	4b				91,7	4
> 55 - 60	5a				90	5
	5b				91,7	4
> 60 - 65	6a				90	5
	6b				70	11
> 65 - 70	7a				93,3	3
	7b				86,7	7
> 70 - 75	8a				96,7	2
	8b				88,3	6
> 75 - 80	9a				93,3	3
	9b				83,3	8
> 80	10a				76,7	9
	10b				73,3	10
<b>AR Gesamt</b>		<b>90,7</b>	<b>88</b>	<b>83,3</b>		

**Abbildung 7.32:** Die Accuracy Rate für die einzelnen Farben der drei Schemen.



**Abbildung 7.33:** Der Box-Plot der Accuracy Rate für die einzelnen Farben zeigt, dass die Werte nicht normalverteilt sind. Nur für zwei Farben (6b und 10b) ist der Median, die Linie in der Mitte des Stabes, nicht Eins. Da die Accuracy Rate dargestellt wird, sind Minimum und Maximum generell Null und Eins. In einigen Fällen sind das erste Quartil, der Median und das dritte Quartil Eins, d. h. 50 % der Werte sind Eins, daher entfallen die Stäbe und es werden nur die Whiskers, die die Spanne der 25 % angeben, die unter dem dritten Quartil liegen, dargestellt.

### 7.3.5 Zwischenresümee: Die Farben sind grundsätzlich zu unterscheiden

Es kam mit keinem der drei Farbschemen zu grundlegenden Verwechslungen der Farben, wie sie bei Farbenfehlsichtigkeit auftreten, z. B. zwischen Rot und Grün, nicht einmal durch Teilnehmer mit Farbenfehlsichtigkeit. Die Accuracy Rate war insgesamt hoch, verwechselt wurden v. a. benachbarte Farben. Dennoch schnitt das Farbschema Nr. 3, das Grün und rötliche Orangetöne kombiniert am schlechtesten ab, es wurde daher verworfen. Die wenigsten Fehler traten bei dem Schema Nr. 1 auf, das hohe Kontraste aufweist. Dieses berücksichtigt aber keine Wirkungsklassen, daher wurde Schema Nr. 2 weiterentwickelt. Nachdem die Unterschiede der Ergebnisse für die Farbschemen nicht signifikant sind, ist die Wahl des zweitgereihten legitim.

#### Zur Beantwortung der Forschungsfragen:

#### Forschungsfrage 2.4: Sind die Farben auf verschiedenen Bildschirmen unterscheidbar?

*Hypothese 2.4:* Die Farben des vorgeschlagenen Schemas können bei Anzeige auf diversen digitalen Ausgabegeräten gut voneinander unterschieden werden und den richtigen Werten in der Legende zugeordnet werden. Die Hypothese für dieses Experiment ist, dass die Farbschemen mit dem Blaugrün besser abschneiden als das Farbschema mit dem Grün, da es sich für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit schlechter von Rot und Orange unterscheiden lässt.

### **Forschungsfrage 2.5: Sind die Farben des Farbschemas auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit geeignet?**

*Hypothese 2.5:* Die Farben sind von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit zu unterscheiden.

Beide Forschungsfragen und Hypothesen werden vor dem Hintergrund der hohen Accuracy Rate mit „ja“ beantwortet. Erstens waren die Teilnehmer, obwohl der Anteil der Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit verhältnismäßig groß war, in der Lage die Farben zu einem hohen Prozentsatz richtig zuzuordnen und zweitens kam es zu keinen grundlegenden Verwechslungen zweier Farben, wie zum Beispiel zwischen Rot und Grün. Wie beschrieben führten die Lilatöne und ein Orangeton zu Verwechslungen mit der benachbarten Klasse. Die Verwechslung des Orangetons kann durch stärkere Kontraste gemindert werden. Einer der Lilatöne liegt außerhalb des nach 34. BImSchV darzustellenden Bereichs. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Zahl der Verwechslungen verringert, wenn nur zwei Lilatöne zur Auswahl stehen. Dennoch waren die vier Teilnehmer mit Farbenfehlsichtigkeit für knapp 54 Prozent der falschen Antworten verantwortlich und waren sechs Mal (von  $n=7$ ) laut eigener Angabe nicht in der Lage, die Farbe klar zuzuordnen, was bei der Auswertung als falsche Antwort gewertet wurde.

Entsprechend Hypothese 2.4 schnitten tatsächlich Farbschemen mit dem Blaugrün (Nr. 1 und 2) besser ab, allerdings gab es auch mit dem Schema Nr. 3 keine Verwechslung zwischen Grün und Rot. Die Unterschiede zwischen den Farbschemen sind zwar in der Accuracy Rate erkennbar, aber nicht signifikant.

### **Die Konsequenzen, die sich daraus für die Weiterentwicklung des Farbschemas ergeben, sind (siehe Kap. 7.1.3.3):**

- (1) Farbschemen Nr. 1 und 3 werden verworfen und Nr. 2 weiterentwickelt.
- (2) Es wird eine Anpassung der Sättigung vorgenommen, sodass sie zu den höheren Werten hin ansteigt. Dadurch werden auch die Kontraste stärker und das Orange (6b), das sich nicht gut zuordnen ließ, hebt sich stärker von den umliegenden Farben ab.

## **7.4 Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben (Studie 3)**

### **7.4.1 Ziel und Forschungsfragen**

Ziel dieser Studie (Fragebogen in Anhang E) war, die Überprüfung der assoziativen Zuordnung der Farben des Farbschemas der Entwicklungsstufe III um die Anforderung „Das Farbschema ermöglicht sowohl eine sinngemäße Zuordnung der Farben zu den Werten der Legende, als auch Interpretation der Lärmsituation“ zu erreichen. Die tatsächlichen dB-Werte werden in keiner der Aufgaben präsentiert, da es um die grundsätzliche Assoziation der Farben geht und nicht um das Erkennen der einzelnen Werte.

Das Hauptanliegen dieser Studie war eine zielgerichtete Evaluation und die Anwendbarkeit der Ergebnisse, im Gegensatz zu grundlegenden Erkenntnissen. Daher wurde als Format eine Onlinestudie gewählt, die von den Teilnehmer auf verschiedenen unkalibrierten Geräten durchgeführt wurde. Die Auswertung erfolgte qualitativ, da es zwar generelle Konnotationen mit Farben gibt, diese aber auch kulturabhängig und subjektiv sein können. Antworten können daher nicht als richtig und falsch

gewertet werden. Die Einteilung der Werte und Farben in Wirkungsklassen beruhen zwar auf Forschungsergebnissen zur Gesundheitsgefährdung, sind aber dennoch Gegenstand subjektiver Interpretation und Wahrnehmung.

Die getesteten Forschungsfragen sind (siehe auch Kap. 5):

**Forschungsfrage 2.2:** Lassen sich anhand der Farben Assoziationen mit der Stärke der Lärmbelastung herstellen?

*Hypothese 2.2:* Die Farben lassen sich den Wirkungsklassen zuordnen. Daher lassen sich Rückschlüsse auf die Stärke der Lärmbelastung herleiten.

**Forschungsfrage 2.2.1:** Inwieweit kann anhand des Farbschemas auf die akustische Charakteristik von Lärm und auf die breite Spanne der dargestellten Werte geschlossen werden?

*Hypothese 2.2.1:* Durch die große Spanne an Farben, die durch vier Farbtonübergänge gekennzeichnet wird, wird der große Wertebereich, sowie die Faustregel erkennbar, dass 6 bis 10 dB Erhöhung eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke bedeuten.

**Forschungsfrage 2.3:** Sind die Farben des vorgeschlagenen Schemas assoziativ den Werten zuzuordnen?

*Hypothese 2.3:* Niedrigen Werten werden grüne und gelbe Farbfelder zugeordnet, hohen Werten rote und lilafarbene Farbfelder.

## 7.4.2 Methode und Aufbau der Studie

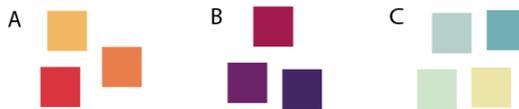
In der Studie wurde getestet, wie die einzelnen Farbfelder außerhalb des Kartengefüges (Teil 1 und 2) und wie sie bei Anwendung im Kartengefüge interpretiert werden (Teil 3 und 4). Wird ein Farbquadrat isoliert auf weißem Hintergrund gezeigt, gibt es keine Wechselwirkungen mit umliegenden Farbflächen, die die Wahrnehmung beeinflussen können. Zusätzlich gibt es keine Effekte unterschiedlicher Objektgröße, die die Interpretation beeinflussen können. Die Aussagen, die so erzielt werden, sind unabhängig vom Anwendungsfall. Anwendungsorientiert wurden die Farben auch in Kartenausschnitten gezeigt, wo sie entsprechend der Werte nach ähnlichem Muster angeordnet sind: immer in einer bestimmten Reihenfolge und aufgrund der Werteverteilung sind die, die Klassen repräsentierenden Flächen, unterschiedlich groß. Teilnehmer, die eine Vorstellung der Verteilung der Schallimmissionen haben, können dieses Wissen folglich in die Interpretation einfließen lassen.

Da es um die affektive Wahrnehmung ging, wurde die Anzahl der Fragen gering gehalten, die Zuverlässigkeit der Ergebnisse wurde durch eine große Stichprobe angestrebt. Die Reihung der Fragen in den fünf Teilen mit jeweils speziellem Fokus ist aufbauend, um eine Beeinflussung durch vorangegangene Fragen zu vermeiden. Aus diesem Grund wurden auch die Fragen innerhalb der Teile 2 bis 4 randomisiert. Getestet wurde das Farbschema der dritten Entwicklungsstufe, in Teil 3 im Vergleich zum DIN-Schema.

Nachfolgend werden die einzelnen Teile der Onlinestudie im Detail behandelt.

Teil 1: Zuordnung der Farbgruppen zu den Wirkungsklassen<sup>7</sup>

Die Farbfelder wurden in Gruppen entsprechend den drei Wirkungsklassen, „keine bis moderate Belastung“, „moderate bis hohe Belastung“, „sehr hohe Belastung“, präsentiert (Abb. 7.34). In zwei Aufgaben mussten zuerst die Farben, die den höchsten bzw. niedrigsten Pegel repräsentieren, gewählt werden, dann in einer weiteren Aufgabe alle Gruppen der entsprechenden Wirkungsklasse zugeordnet werden. Die Farben für die höchsten und niedrigsten Werte werden vorher abgefragt, da somit der Überblick fehlt, welche Wirkungsklassen zur Auswahl stehen. Die Farbgruppen wurden in den drei Abbildungen jeweils in unterschiedlicher Reihenfolge präsentiert.



**Abbildung 7.34:** Die Aufgaben des Teil 1 bestanden aus der Zuordnung der abgebildeten Farbgruppen zu den Wirkungsklassen. Die Fragen waren: (1) „Welche Farbgruppe repräsentiert Ihrer Meinung nach den höchsten Lärmpegel?“ (2) „Welche Farbgruppe repräsentiert Ihrer Meinung nach den niedrigsten Lärmpegel?“ und (3) „Ordnen Sie die Farbgruppen den entsprechenden Wirkungsklassen zu.“

Teil 2: Vergleich zweier Farbfelder<sup>8</sup>

Um festzustellen, ob der Wertebereich von den Farben wiedergespiegelt werden kann, wurden Farbfeldpaare gezeigt (Abb. 7.35), für die die entsprechende Aussage (Tab. 7.11) gewählt werden sollte. Um die Anzahl der Antwortmöglichkeiten zu verringern und die Fragestellung zu vereinfachen, wurde rechts jeweils die Farbe, die den höheren Wert repräsentiert gezeigt. Die Teilnehmer erhielten folgende Frage: „Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint“. Die Antworten geben einen Überblick, wie der Farbkontrast, sei es Farbe-an-sich-Kontrast, Hell-Dunkel-Kontrast, Komplementär-Kontrast, oder Qualitäts-Kontrast (vergl. Kap. 4.3.2.1), sich generell auf die Einschätzung auswirkt. Dieser Eindruck kann allerdings bei Anwendung der Farben in einer Karte, durch die Objektgrößen und die Wechselwirkungen mit umliegenden Farben verändert werden. Evaluiert wurden Kontraste, die in dieser speziellen Anwendung von Interesse sind (Abb. 7.36).

<sup>7</sup> Zur Beantwortung der Forschungsfragen 2.2 und 2.3

<sup>8</sup> Zur Beantwortung der Forschungsfrage 2.2.1



**Abbildung 7.35:** Ein Beispielpaar an der Grenze zwischen zwei Wirkungsklassen. Die rechte Farbe präsentiert Werte, deren Lautheit ungefähr doppelt so hoch wahrgenommen wird, wie die Werte, die durch das linke Farbfeld präsentiert werden. Die Farben wurden für einen besseren Vergleich direkt aneinandergrenzend gezeigt.

**Tabelle 7.11:** Antwortmöglichkeiten zur Frage „Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.“

---

1	Beide Farbfelder repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
2	Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
3	Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
4	Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.

---

	Innerhalb einer Wirkungsklasse	Farbe-an-sich-Kontrast	Helligkeit (Hell-Dunkel-Kontrast)	Sättigung (Qualitäts-Kontrast)
	X	▲	↑	↑
		▲	↓	↓
		■	↓	↑
	X	▲	↓	↔
	X	■	↓	↑
		■	↓	↑
		■	↓	↓
	X	▲	↓	↔

Anstieg ↑      Gleichbleibend ↔      Abfall ↓  
 Starker Kontrast ■      Schwacher Kontrast ▲

**Abbildung 7.36:** Überblick über die gezeigten Farbfeldkombinationen: Der Qualitäts-Kontrast beschreibt den Sättigungsanstieg oder -abfall. Die Pfeile geben Auskunft über Anstieg oder Abfall der Helligkeit sowie Sättigung entsprechend der Lage der Farben im Munsell-Farbsystem, ausgehend vom linken zum rechten Farbfeld (vergl. Abb. 7.9 und 7.8).

Teil 3: Zuordnung von Punkten zu der entsprechenden Wirkungsklasse in einer Karte ohne Topografie<sup>9</sup>

Ziel war es festzustellen, ob die Darstellung der Farben in der Karte eine Zuordnung zu den Wirkungsklassen ermöglicht. In der praktischen Anwendung würden die Farben anhand der Legende den Werten zugeordnet werden, was in der Regel kein großes Problem darstellt (vergl. Kap. 7.3). In dieser Studie wird das Augenmerk auf die intuitive Erkennung der Eigenschaften des dargestellten Sachverhalts anhand der Farben des neuen Schemas im Vergleich zum DIN-Schema gelegt. Durch die Anwendung der Farben in der Karte sind Wahrnehmungseffekte bedingt durch benachbarte Farben, oder die Größe der Fläche nicht auszuschließen und es besteht ein Einfluss durch die räumliche Anordnung. Aus diesem Grund wurden in den gezeigten Karten (Abb. 7.37) keine Straßen eingezeichnet, damit die Teilnehmer nicht den Abstand zur Straße als Bewertungskriterium miteinbeziehen.

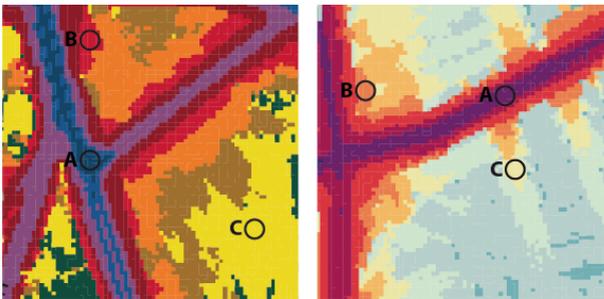


Abbildung 7.37: Die zwei in Teil 3 gezeigten Kartenausschnitte

Teil 4: Zuordnung von Punkten zu der entsprechenden Wirkungsklasse in einer Karte mit Topografie<sup>10</sup>

Nachdem im vorangegangenen Teil die Straßen weggelassen wurden, wurden sie in diesem Teil eingezeichnet, um ein realistischeres Beispiel und einen Vergleich zu Teil 3 zu schaffen (Abb. 7.38). Die Hotspots des Straßenlärms sind somit augenscheinlich.

<sup>9</sup> Zur Beantwortung der Forschungsfragen 2.2 und 2.3

<sup>10</sup> Zur Beantwortung der Forschungsfragen 2.2 und 2.3



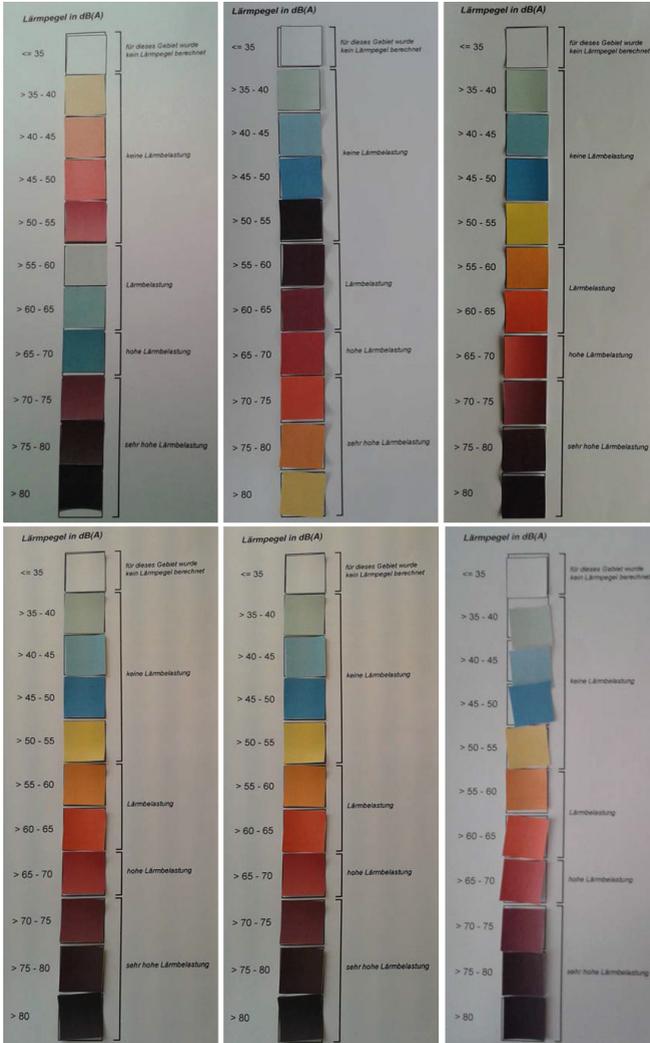


Abbildung 7.40: Ergebnisse einer analogen Card Sorting Task

### 7.4.3 Teilnehmer und Durchführung

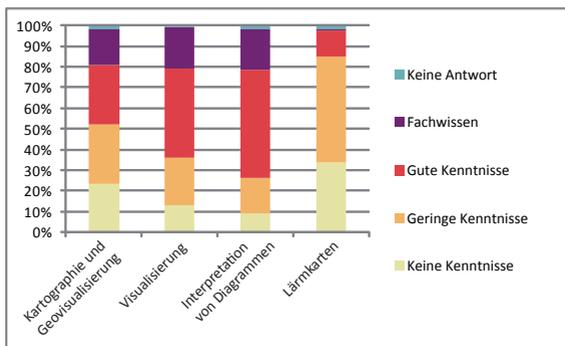
Die Teilnehmer wurden über Aufrufe in sozialen Netzwerken (*Facebook, Twitter, LinkedIn, Xing*), sowie über den Studierenden-Verteiler der *HafenCity Universität Hamburg* im März 2014 akquiriert. Insgesamt wurde die Studie von 125 Teilnehmern (59,5 Prozent weiblich, 40,5 Prozent männlich) beendet, wobei die Beantwortung

der einzelnen Fragen nicht verpflichtend war. Knapp 12 Prozent der Teilnehmer hatten zuvor bereits an einer Studie der Autorin teilgenommen und sind somit mit dem Thema vertraut. Zur Assoziation der Farben und Wirkungsklassen gab es in den anderen Studien jedoch keine Fragen, auch wurde das Farbschema dieser Entwicklungsstufe noch nicht gezeigt.

Nach einem Pre-Test wurde diese Studie international in deutscher und englischer Sprache durchgeführt, das heißt, die Nutzergruppe wurde nicht auf den deutschen Sprachraum beschränkt. Damit konnte zusätzlich die internationale Anwendbarkeit des Farbschemas geprüft werden. 82 der Teilnehmer haben die letzten fünf Jahre in Deutschland gelebt, 29 in einem anderen Land Europas, 6 in Nordamerika und 5 in einem weiteren Land, 3 gaben keine Antwort auf die Frage. Davon haben 72 Prozent die deutsche Version, der Rest die englische Version beantwortet.

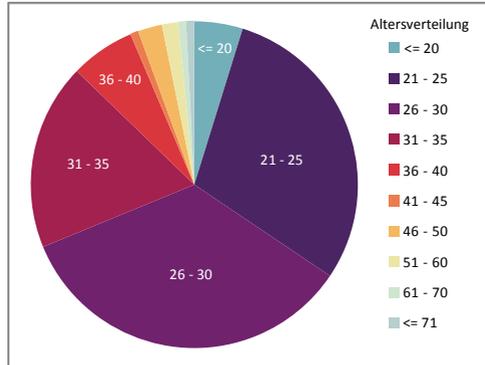
5,6 Prozent der Teilnehmer gaben an, von einem Fachmann mit einer Farbenfehlsichtigkeit diagnostiziert worden zu sein. Das ist, wie in den anderen durchgeführten Studien, mehr, als laut Literaturangaben zu erwarten wäre. Nur zwei Personen erkannte in der Ishihara Tafel eine 70, was ein Indiz für eine Rot-Grün Schwäche sein kann, vier weitere erkannten eine 20 bzw. eine 10. Diese Ergebnisse stimmen allerdings nicht mit der Selbstauskunft überein, deshalb lässt sich zusammenfassend nur anmerken, dass ein geringer Prozentsatz um 5 Prozent Schwierigkeiten mit der Unterscheidung von Rot und Grün hatte.

Nur wenige Teilnehmer hatten, laut eigener Angabe, gute Kenntnisse im Bereich Lärmkarten. In der Kartografie und Geovisualisierung, Visualisierung und in der Interpretation von Diagrammen gaben jedoch knapp 50, bzw. 65 und 75 Prozent an, gute oder professionelle Kenntnisse zu besitzen. Es ist folglich davon auszugehen, dass ein Großteil der Teilnehmer generell mit Farbassoziationen in der grafischen Darstellung vertraut ist. (Abb. 7.41)



**Abbildung 7.41:** Einschlägige Kenntnisse der Teilnehmer

Nachdem die Studie über den Studierendenverteiler und Facebook publik gemacht wurde, gehörte der Großteil der Teilnehmer der Altersklasse zwischen 26 und 30 an, gefolgt von der Gruppe der 21 bis 26-Jährigen (Abb. 7.42). Die Altersklassen über 35 Jahren sind deutlich unterrepräsentiert, es wurden aber in der Literatur keine Hinweise darauf gefunden, dass die Farbassoziation vom Alter abhängt.



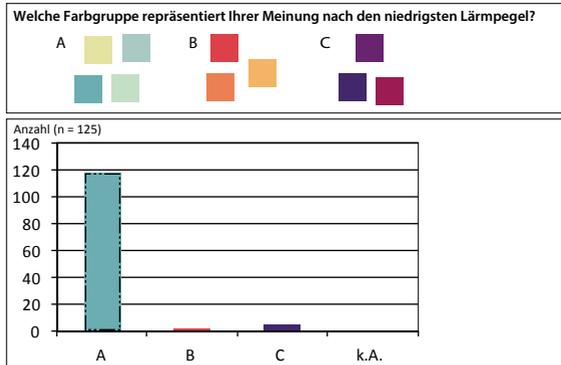
**Abbildung 7.42:** Die Altersverteilung der Teilnehmer der Studie 3. Da v. a. soziale Netzwerke und der Verteiler der Universität zum Verschicken des Links verwendet wurden, war der Großteil der Teilnehmer im Alter von 21 bis 35 Jahren.

## 7.4.4 Interpretation der Ergebnisse

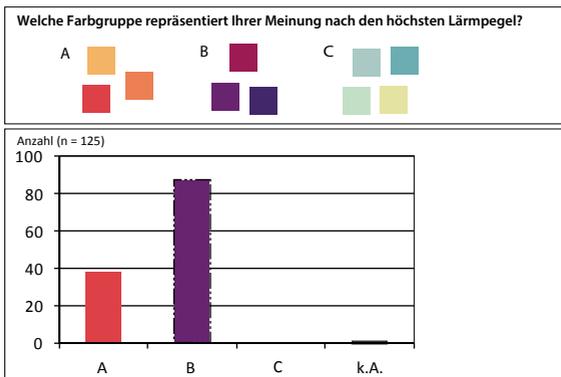
### 7.4.4.1 Teil 1: Zuordnung der Farbgruppen zu den Wirkungsklassen

Die drei präsentierten Farbgruppen waren den entsprechenden Wirkungsklassen zuzuordnen, was den Teilnehmern größtenteils gelang. Vor allem den kühlen Blaugrüntönen konnte klar der niedrigste Wert zugewiesen werden (Abb. 7.43) und niemand ging davon aus, dass mit dieser Farbgruppe hohe Pegel dargestellt werden. Bei der Wahl der Farben für die höchsten Werte war sich der Großteil der Teilnehmer (87 Personen) einig, dass sich dafür die Lilatöne eignen, jedoch ließen sich 38 Teilnehmer auch von der Idee von Rot und Orange als Signalfarben leiten (Abb. 7.44). Bei der Interpretation zu beachten ist, dass diese Frage als erste gestellt wurde und daher die Teilnehmer noch nicht mit dem Konzept des Schemas vertraut waren.

In Frage drei wurde klar, dass bei gleichzeitiger Präsentation aller drei Farbgruppen eine Zuweisung zu den Wirkungsklassen eindeutig möglich ist (Abb. 7.45). Ein Fünftel der Teilnehmer hielt die Rottöne nach wie vor als repräsentativ für den höchsten Wert, im Gegensatz zu einem Drittel der Teilnehmer in der ersten Frage. Das lässt auf einen schnellen Lerneffekt schließen, der bei gleichzeitiger Präsentation der drei Möglichkeiten eintritt.



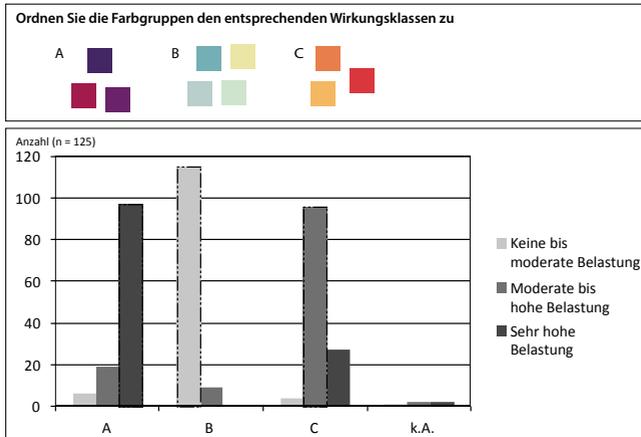
**Abbildung 7.43:** Komplette Einigkeit herrscht über die Verwendung von Grüntönen zur Darstellung der niedrigsten Pegel. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die „richtige Antwort“.



**Abbildung 7.44:** Zwar ist sich die Mehrheit der Teilnehmer einig darüber, dass mit den Lilatönen die höchsten Pegel dargestellt werden, dennoch ist rund ein Drittel der Meinung, dass die Signalfarben Rot und Orange verwendet werden. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die „richtige Antwort“.

#### 7.4.4.2 Teil 2: Vergleich zweier Farbfelder

Es war das Ziel, abzuschätzen, auf welche Wertespanne der wahrgenommene Farbabstand zwischen den beiden gezeigten Farbfeldern schließen lässt. Entscheidend dabei war, festzustellen, ob die wahrgenommene Lautheit, die sich bei einem Anstieg um 6 bis 10 dB verdoppelt, durch die Farben kommuniziert werden kann. Die Begrifflichkeiten in den Antwortmöglichkeiten wurden jedoch nicht eindeutig gewählt, sodass die Ergebnisse lediglich einen Hinweis auf den vermittelten Eindruck bieten, die



**Abbildung 7.45:** Sind nicht nur eine, sondern alle drei Farbgruppen zuzuordnen, ist die Reihenfolge von Rot und Lila eindeutiger. Nur mehr ein Fünftel hält an Rot für die höchsten Werte fest. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die „richtige Antwort“.

*richtige* Antwort hängt von der Interpretation der Frage durch die Teilnehmer ab. In den Antworten wurde der Begriff „Lärmpegel“ verwendet, dieser Begriff ist jedoch wissenschaftlich nicht einheitlich zu definieren. Umgangssprachlich und laut *Duden* gibt ein Lärmpegel die „gemessene Lautstärke des Lärms“ an. In Kapitel 3 wurde der Unterschied zwischen Lautstärke und wahrgenommener Lautheit erklärt, hier wird davon ausgegangen, dass die Teilnehmer unter Lautstärke die wahrgenommene Lautheit, also ihre subjektive Erfahrung, verstehen. Wurde der Begriff „Lärmpegel“ in den Antworten dieser Art interpretiert, beschreibt ein Anstieg um 6 bis 10 dB eine Verdoppelung des Wertes, d. h. der wahrgenommenen Lautheit, umgangssprachlich des Lärmpegels. Wurde der Lärmpegel aber von den Teilnehmern als Lärmindex oder Schalldruckpegel interpretiert, gibt es nur eine richtige Antwortmöglichkeit, nämlich „weniger als doppelt so hoch“. Nachfolgend wird, auch aufgrund von Ergebnissen der Studie 4 (Kap. 7.5), davon ausgegangen, dass die Teilnehmer den Begriff Lärmpegel als Angabe der Lautstärke und somit als Maß der wahrgenommenen Lautheit interpretiert haben. Denn wird der Lärmpegel als Angabe des Schalldruckpegels interpretiert, wäre eine Verdoppelung der Werte von einer Farbe zur anderen, im Rahmen der verwendeten Skala, für die meisten Klassen unmöglich. Auch wenn aufgrund des Interpretationspielraumes keine eindeutig korrekte Antwort pro Frage definiert werden kann, so lässt sich dennoch ein Trend in der Einschätzung der Wertespanne erkennen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Eindrücke der Teilnehmer sich für die einzelnen Farbpaaire sehr unterscheiden (Abb. 7.46). Eindeutig, im Sinne der oben genannten Definition, wurde lediglich das Verhältnis des extrem kontrastreichen Paares Grün-Dunkellila (Abb. 7.47) eingeschätzt, dieses zeigte aber auch die größte Wertedifferenz in dB auf. Auch das kontrastreiche Paar Grün-Orange mit der zweitgrößten Wertedifferenz, ließ die Teilnehmer auf den tatsächlichen Anstieg der Lautheit

schließen (Abb. 7.48), wenn auch recht knapp: 45 Prozent empfanden, dass Orange einen „Lärmpegel“ präsentiert, der *mehr* als doppelt so hoch ist, während 38 Prozent der Meinung waren, dass der Wert doppelt so hoch ist. Auch im Farbpaar Gelb-Orange (Abb. 7.49) lag die Anzahl jener, die von einer Verdoppelung des „Lärmpegels“ ausgingen, hoch. Der eindeutige Farbtonübergang des Farbpaares Orange-Rot (Abb. 7.50) hat ebenso zu einigen richtigen Antworten geführt, wenn auch die Mehrheit der Teilnehmer auf „doppelt so hoch“ anstatt „mehr als doppelt so hoch“ tippte. In allen vier Fällen besteht zwischen den Farben ein deutlicherer Farbe-an-sich-Kontrast als in den anderen Farbpaaren und die Sättigung steigt in drei Fällen, d. h. es gibt auch einen Qualitäts-Kontrast (Abb. 7.36). Die Beurteilung der Sättigung erfolgte auf Basis der Einordnung im Munsell-Farbsystem (vergl. Abb. 7.11). Es dürfte diese Kombination zwischen Farbe-an-sich-Kontrast und Qualitäts-Kontrast sein, die zu der Einschätzung führte.

Diff. des Schalldruckpegels, dB(A)	Gezeigte Farbpaare	Gleich hoch	Weniger als doppelt so hoch	Doppelt so hoch	Mehr als doppelt so hoch
max. 35					
max. 25					
max. 20					
min. 10					
max. 10					
max. 10					
max. 10					
max. 10					

Differenz der wahrgenommenen Lautstärke, „richtige Antwort“

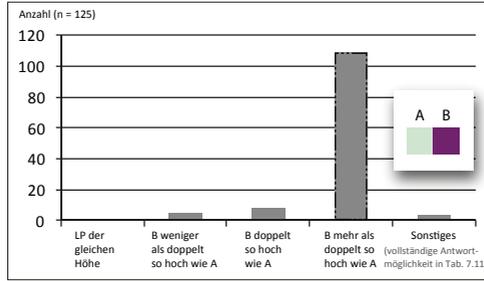
Von den Teilnehmern am öftesten gewählt

Die Anzahl der Antworten unterscheidet sich um weniger als 10%.

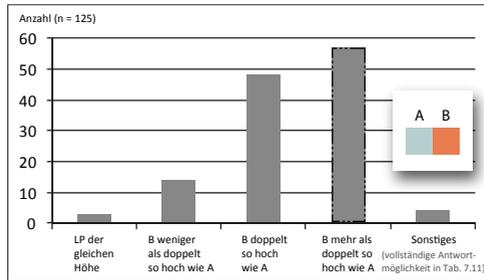
**Abbildung 7.46:** Diese Tabelle zeigt die „richtigen Antworten“ als gefülltes Quadrat und die tatsächlichen Antworten der Teilnehmer als ungefülltes Quadrat. Im Überblick zeigt sich, dass die Teilnehmer nur bei großen Farbton- und Helligkeitsunterschieden auf eine große Veränderung des Lärmpegels tippen.

Besteht eher ein Helligkeitsunterschied, ein schwacher Farbe-an-sich-Kontrast und die Sättigung ist in beiden Feldern ähnlich, entschieden sich die Teilnehmer eher für die Antwort „Weniger als doppelt so hoch“ und unterschätzen somit den Anstieg der Lautheit (Abb. 7.51, 7.52, 7.53). Eventuell spielte ein Warm-Kalt-Kontrast ebenso eine Rolle bei der Beurteilung, denn in allen drei Farbpaaren ist der Blauanteil in Farbe B deutlich höher als in Farbe A.

Eine Sonderstellung nimmt das Farbpaar in Abb. 7.54 ein. Es ist das Einzige,



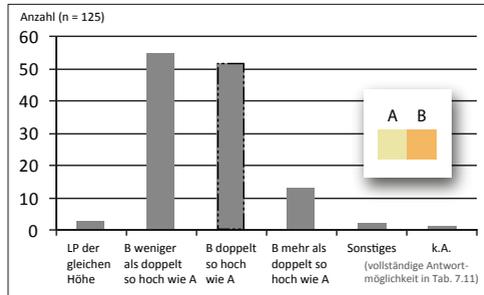
**Abbildung 7.47:** Dieses Farbpaar führte zu einer richtigen Einschätzung der Veränderung der Lautheit, sofern der Lärmpegel als Lautheit interpretiert wurde. Der Farb-, Sättigungs- und Helligkeitskontrast eignet sich um große Wertedifferenzen darzustellen.



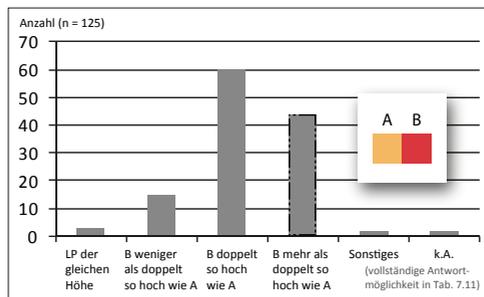
**Abbildung 7.48:** Dieses Farbpaar führte zu einer richtigen Einschätzung der Veränderung der Lautheit, sofern der Lärmpegel als Lautheit interpretiert wurde.

in dem die Helligkeit von Farbe A zu Farbe B ansteigt, ebenso die Sättigung. Die Hälfte der Teilnehmer ging daher davon aus, dass der präsentierte „Lärmpegel“ mit beiden Farbfeldern gleich hoch ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Ergebnisse dieser Aufgabe zeigen, dass die Farben große Veränderungen nur bei Komplementär-Kontrasten oder starken Farbe-an-sich-Kontrasten widerspiegeln. Zusätzlich wirkt sich ein Anstieg der Sättigung positiv auf die Einschätzung großer Veränderungen aus.



**Abbildung 7.49:** Beinahe die Hälfte der Teilnehmer gab eine richtige Antwort, sofern der Lärmpegel als Angabe der Lautheit interpretiert wurde.

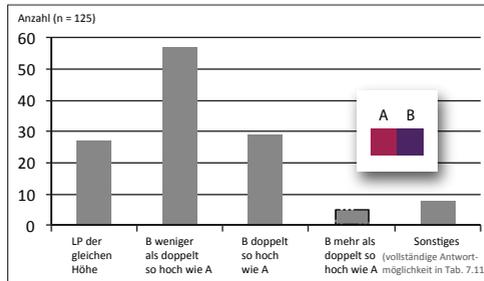


**Abbildung 7.50:** Die rechte Farbe ist nicht in der Lage, Werte darzustellen, die doppelt so hoch sind wie die mit der Farbe A dargestellten.

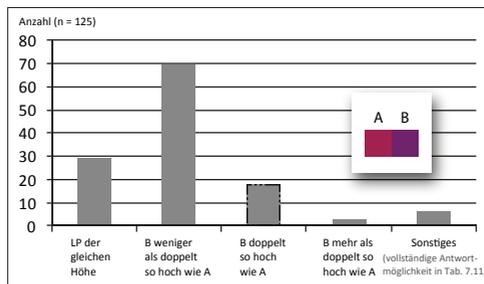
#### 7.4.4.3 Teil 3 und 4: Zuordnung von Punkten einer Karte zu Wirkungsklassen

Nachdem in Teil 1 bereits Farbfelder, in Farbgruppen arrangiert, den Wirkungsklassen zuzuordnen waren, sind in den vier Aufgaben dieser Teile markierte Gebiete in Kartenausschnitten zuzuordnen. Hierbei kommen umliegende Farben und die Größe der Fläche als Einflüsse auf die Erscheinung der Farben voll zum Tragen. Zusätzlich beeinflussen auch die Lage der Gebiete die Interpretation, v. a. bei den Karten mit Topografie. Die Aufgabe entspricht einer realistischen Anwendung im Sinne einer *Lookup Task*.

Bei Aufgaben mit den Karten ohne Topografie wurden überraschenderweise weniger Fehler gemacht, obwohl diese Karten vor den Karten mit Topografie gezeigt wurden (Abb. 7.55). Erwartet wurde, dass die Nähe der Gebiete zur Straße ein wichtiges Entscheidungskriterium sein würde. Hingegen führte die Karte ohne Topografie im neuen Farbschema zu den meisten richtigen Antworten, die Erfolgsrate liegt für alle drei Gebiete über 95 Prozent (Abb. 7.56). Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die Straßen und Gebäude zu einer Überdeckung und daher Ablenkung führten und die Struktur der Isophonen daher in den Karten ohne Topografie besser zu erkennen war. Es ist jedoch unklar, auf welcher Basis die Einordnung ge-

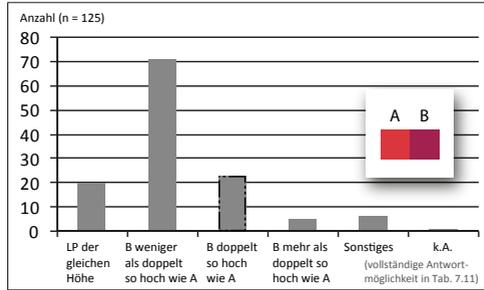


**Abbildung 7.51:** Es wurde vom Großteil der Teilnehmer angenommen, dass die Farbe B einen Lärmpegel darstellt, der weniger als doppelt so hoch ist wie der mit Farbe A dargestellte. Obwohl die Sättigung der beiden Farben gleich hoch ist, erscheint die hellere Farbe gesättigter und hat zusätzlich einen höheren Rotanteil als das kühl erscheinende Lila.

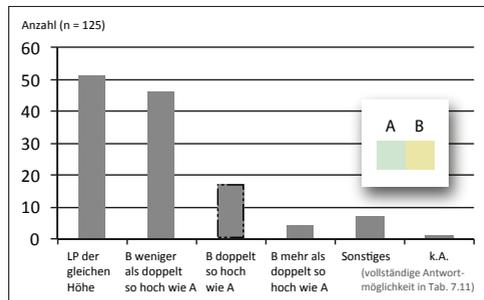


**Abbildung 7.52:** Es wurde vom Großteil der Teilnehmer angenommen, dass die Farbe B einen Lärmpegel darstellt, der weniger als doppelt so hoch ist wie der mit der Farbe A dargestellte.

macht wurde, anhand des Verteilungsmusters, das die Lage der Straße errahnen lässt, oder tatsächlich aufgrund der Farbe. In den Karten mit Topografie gab es hingegen Fehlschätzungen: In der Karte im DIN-Schema wurde der dunkle Rotton gravierend überbewertet (Abb. 7.57). In der Karte mit dem modifizierten Schema wurde der Gelbton, der in der davor gezeigten Karte richtig eingeordnet wurde, von 50 Prozent falsch und von 45 Prozent richtig eingeordnet (Abb. 7.58). Die Fehleinschätzung des dunklen Rots ist aufgrund der Assoziation nicht verwunderlich, wieso die Einschätzung des Gelbs jedoch nicht konsistent ist, lässt sich nicht erklären. Die Aufgaben in Teil 4 waren etwas schwieriger als die im Teil 1, denn es fielen jeweils zwei Punkte in dieselbe Wirkungsklasse, was von den Teilnehmern eventuell nicht erwartet wurde. In der Frage jedoch gab es den Zusatz „Eine Wirkungsklasse kann mehreren Gebieten zugeordnet werden“. Eventuell wirkten aber auch die Straßen und Gebäude ablenkend und verdeckten die Hotspots, oder die Interaktion der Farben bewirkte ein verändertes Aussehen in den beiden Ausschnitten.



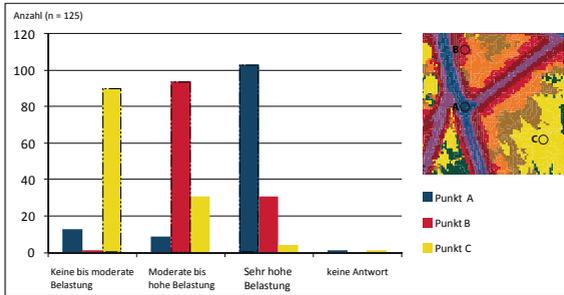
**Abbildung 7.53:** Es wurde vom Großteil der Teilnehmer angenommen, dass die Farbe B einen Lärmpegel darstellt, der weniger als doppelt so hoch ist wie der mit der Farbe A dargestellte.



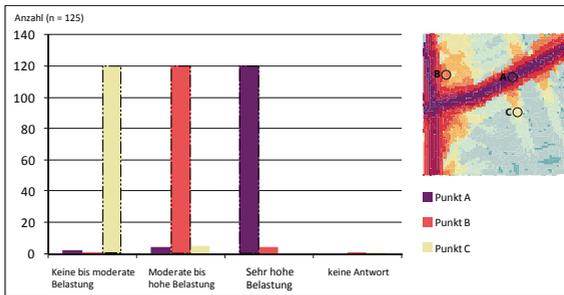
**Abbildung 7.54:** Aufgrund des bipolaren Schemas ist der Übergang von Grün auf Gelb nicht eindeutig zu interpretieren, denn sowohl die Sättigung als auch die Helligkeit nehmen zu. Die meisten Teilnehmer gingen davon aus, dass die beiden Farben einen Lärmpegel der gleichen Höhe repräsentieren.

7.4.4.4 Teil 5: Auswahl der richtigen Reihung

Am Ende der Befragung wurden verschiedene mögliche Reihungen der Farbfelder präsentiert und die Teilnehmer gebeten, die für sie sinnvollste Reihung entsprechend der Wirkungsklassen zu nennen (Abb. 7.39). Erstmals in dieser Studie wurden die Farbfelder wie in einer Legende in Abfolge gezeigt. In einem analogen *Card Sorting* Experiment (Abschn. 7.4.2) zeigte das Ergebnis bereits, dass die Teilnehmer die Farben den Werten und Wirkungsklassen nicht entsprechend eines bipolaren Schemas zuordnen, sondern jede Klasse mit der hellsten Farbe beginnen. Dieses Ergebnis wurde nun in dieser Studie bestätigt. Obwohl diese Frage als letzte gestellt wurde und die Teilnehmer anhand der zwei zuvor gezeigten Karten das Schema in praktischer Anwendung gesehen haben, entschieden sich dennoch über 60 Prozent für Abfolge A, die mit Hellgrün beginnt, im Gegensatz zu Abfolge D, der „richtigen“ Antwort, die rund 36 Prozent wählten (Abb. 7.59).



**Abbildung 7.55:** Alle Punkte im DIN-Schema wurden vom Großteil der Teilnehmer richtig eingeordnet. Rot und Gelb wurden von rund 25 Prozent der Teilnehmer in die jeweils höhere Wirkungsklasse eingeordnet. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die richtige Antwort.



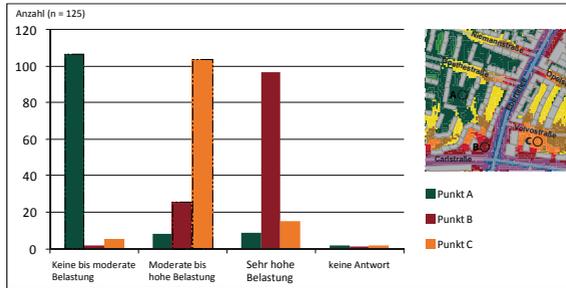
**Abbildung 7.56:** Alle Punkte im neuen Schema wurden von über 95 Prozent der Teilnehmer richtig eingeordnet. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die richtige Antwort.

7.4.4.5 Beantwortung der Forschungsfragen

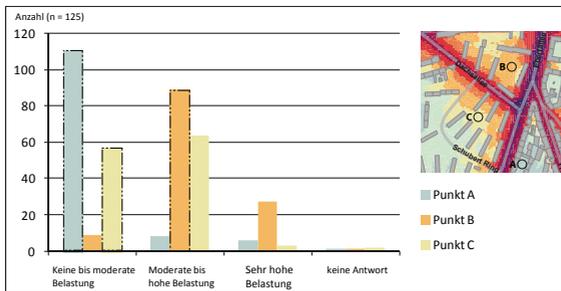
**Forschungsfrage 2.2: Lassen sich anhand der Farben Assoziationen mit der Stärke der Lärmbelastung herstellen?**

*Hypothese 2.2:* Die Farben lassen sich den Wirkungsklassen zuordnen und sich daher Rückschlüsse auf die Stärke der Lärmbelastung herleiten.

Die Ergebnisse in Teil 1, 3 und 4 zeigen gut, dass die Farben den Wirkungsklassen zugeordnet werden können, v. a. wenn sie alle zusammen in einem Ausschnitt gezeigt werden. Das entspricht einer realistischen Situation, in der eine Karte samt Legende und entsprechend der Empfehlung auch mit entsprechender Angabe der Wirkungsklassen gezeigt wird. Es zeigten sich in Teil 3 und 4 beim Ablesen aus der Karte ohne Topografie deutlich bessere Ergebnisse mit dem neuen Schema. In der Karte mit Topografie hingegen gab es mit dem neuen Schema Schwierigkeiten, das helle Gelb der Gruppe „keine bis moderate Belastung“ zuzuweisen, der Farbton wurde daher in der weiteren Entwicklungsstufe angepasst. Mit dem DIN-Schema



**Abbildung 7.57:** Das Rot des DIN-Schemas wurde komplett falsch eingeordnet, vermutlich aufgrund seiner Signalwirkung. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die richtige Antwort.

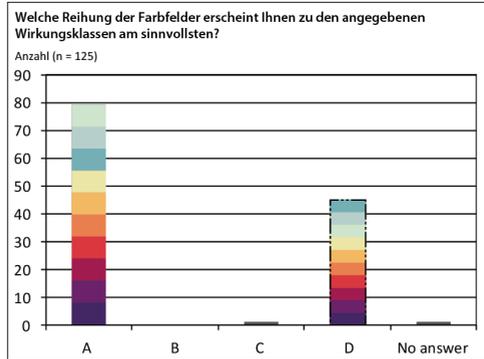


**Abbildung 7.58:** Im neuen Schema wurde Punkt C in Hellgelb knapp verwechselt, obwohl die Farbe in der vorangegangenen Frage richtig eingeordnet wurde. Die gestrichelte Linie kennzeichnet die richtige Antwort.

gab es eine grundlegend falsche Einordnung des Rottons, da Rot als Signalfarbe erkannt wird und daher nicht als mittlerer Wert interpretiert wird. Zusätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmer die Lage des Ablesepunktes mit in ihre Interpretation aufnehmen, denn aufgrund der Anordnung der Isophonen lässt sich auf die Straßen und somit auf die Distanz zwischen Straße und Ablesepunkt schließen: „I think that reading of the noise map could be affected by „geographical knowledge“ of map readers. If I could clearly see that the linear features are streets I would assume that there is the biggest noise regardless the colour.“ (Teilnehmer-Kommentar)

**Forschungsfrage 2.2.1: Inwieweit kann anhand des Farbschemas auf die akustische Charakteristik von Lärm und auf die breite Spanne der dargestellten Werte geschlossen werden?**

*Hypothese 2.2.1:* Durch die große Spanne an Farben, die durch drei bis vier Farbtonübergänge, je nach Interpretation, gekennzeichnet wird, wird der große Wertebereich, sowie die Faustregel erkennbar, dass 6 bis 10 dB Erhöhung ungefähr eine



**Abbildung 7.59:** Ergebnisse der Wahl der „richtigen“ Reihung. Die getrickelte Linie kennzeichnet die richtige Antwort (Überblick alle vier Möglichkeiten in Abb. 7.39).

Verdoppelung der wahrgenommenen Lautstärke bedeuten.

Laut den Ergebnissen in Teil 2 kann bestätigt werden, dass große Wertespannen am besten durch starke Farbe-an-sich-Kontraste dargestellt werden und entgegen der klassischen kartografischen Meinung ein sequentielles Schema ohne Farbtonübergänge ungeeignet ist. Zusätzlich ist der Anstieg der Sättigung entscheidend dafür. Als doppelt so hoch bzw. mehr als doppelt so hoch wurden „Lärmpegel“ eingeschätzt, für deren Repräsentation sehr unterschiedliche Farbtöne verwendet wurden, v. a. Grün und eine konträre Farbe (Orange oder Lila), oder zwei Farbtöne, die sich stark in ihrer Helligkeit unterscheiden, wie Gelb und Orange oder Orange und Rot.

Die Frage, ob sich psychoakustische Charakteristika von Lärm anhand von Farben darstellen lassen, wurde am Beispiel der Lautheit untersucht. Der Zusammenhang zwischen Farben und Lautheit lässt sich allerdings nicht eindeutig beschreiben, da die Frage unklar gestellt wurde und daher nicht bekannt ist, wie sie von den Teilnehmern interpretiert wurde: Verstanden sie unter dem Begriff Lärmpegel den Schalldruckpegel oder die wahrgenommene Lautheit? Anzunehmen ist bei Laien Letzteres und auch Studie 4 gibt Indizien dafür: 15 von 36 Teilnehmern gaben an, dass Lärmkarten die Lautstärke zeigen, keiner nannte den Schalldruckpegel oder einen der Lärmindizes. Des Weiteren ist anzunehmen, dass Laien unter der Lautstärke die subjektiv wahrgenommene Lautheit verstehen. In diesem Sinne wurden richtige Antworten nur für zwei Farbpaare gegeben: die beiden mit der größten wahrnehmbaren Distanz.

Theoretisch ist es bei gezielter Komposition des Schemas und einer Reihe Nutzerstudien möglich, gewisse akustische Charakteristika zu betonen, dennoch sind praktische Grenzen, z. B. durch die Anzahl der Klassen gesetzt. Des Weiteren lassen sich nicht diverse Aspekte gleichzeitig darstellen.

### Forschungsfrage 2.3: Sind die Farben des vorgeschlagenen Schemas „assoziativ“ den Werten zuzuordnen?

*Hypothese 2.3:* Niedrigen Werten werden grüne und gelbe Farbfelder zugeordnet, hohen Werten rote und lilafarbene Farbfelder.

Diese Hypothese kann bestätigt werden, die Interpretation war stark von bekannten Konnotationen geleitet. Ausschlaggebend war die Helligkeit der Farbe, aber entsprechend Kommentaren und Ergebnissen auch die Sättigung und der Blau- bzw. Rotgehalt der Farbe. Obwohl die Lilatöne aufgrund ihrer Dunkelheit als repräsentativ für hohe Töne eingeordnet wurden, wurde der Blauanteil entsprechend Kommentaren hoch empfunden, was den Eindruck einer kühlen Farbe und damit eines niedrigeren Wertes gibt: *„Ich weiß zwar nicht, ob ich richtig liege, aber ich empfand die Fragen als sehr eindeutig. Es gibt keine wirkliche Auswahl, da Farbton gemeinsam mit dem Sättigungsgrad vorgegeben ist. Ich verbinde z. B. in der ersten Frage nicht unbedingt diese Violetttöne mit viel Lärm, vor allem nicht, wenn es zu stark ins Blaue geht. Aber der Sättigungsgrad dieser Töne spricht dann doch für diese Wahl. Wer würde einen schwachen Grünton als lärmintensiv sehen? Ein intensives Rot hingegen schon, das gab es aber nicht im Vergleich. Ich glaube, dass meine Entscheidung sich am Spektrum aber durchaus auch am Sättigungsgrad orientiert hat. Ich persönlich finde die Lärmkarten, die bei einem intensiven Rot/leichtem Lila enden, angenehmer als die die fast bei einem Blau enden.“* (Teilnehmer-Kommentar) Auch dieser Kommentar zeigt die Schwierigkeit, die Farbe Lila mit hohen Werten zu assoziieren: *„Kalte Farben sollten aus hohen Intensitäten herausgehalten werden.“* (Teilnehmer-Kommentar) oder *„Zu Beginn dachte ich, dass wenig Lärm im lila Bereich liegt, weil ich es mit kalten Temperaturen auf Wetterkarten assoziiert habe. (Je kälter/je stärker lila, desto ruhiger)“* (Teilnehmer-Kommentar). Auch hier spielt wieder die Darstellung auf verschiedenen Bildschirmen eine Rolle.

#### 7.4.5 Zwischenresümee: Konnotationen und Lage haben einen großen Einfluss auf die Interpretation

Diese Studie diente der Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben zu den Wirkungsklassen und Werten. Die Ergebnisse geben aufschlussreiche Einblicke zur Weiterentwicklung des Schemas für den spezifischen Anwendungsfall. Grundlegende Erkenntnisse waren:

- Allgemeingültige **Konnotationen** spielen eine tragende Rolle bei der Interpretation der Farben. Der Rot-Grün-Kontrast, sowie der Warm-Kalt-Kontrast wurden neben der Helligkeit und Sättigung zur Beurteilung herangezogen. Das spiegeln sowohl Ergebnisse, z. B. in Teil 4 (Abb. 7.57) wo die dunkelrote Fläche grundlegend falsch eingeordnet wurde, als auch Kommentare, in denen das eher kühle Lila bemängelt wird.
- Zusätzlich ist der Einfluss der **Anordnung der Werte** auf die Interpretation nicht zu unterschätzen. In Lärmkarten treten die Werte immer in derselben Ordnung auf. Selbst ohne Straßen lassen sich Hotspots des Verkehrslärms gut erkennen. Wird somit die Nähe eines Ortes zu einer Straße offensichtlich, trägt dies zusätzlich zur Farbe zur Interpretation bei, in welchem Ausmaß ist offen.
- Eine **bipolare Anordnung**, die mit dunklen Farbtönen beginnt, ist nicht die erste Wahl der Teilnehmer. Sie widerspricht auch den Ergebnissen aus Teil 2, wonach der wahrgenommene Unterschied für Farbpaare am größten waren, die

sowohl aus zwei konträren Farben bestanden, als auch hell und dunkel waren. Dennoch wählten die Teilnehmer mehrheitlich ein Schema, welches mit Grün startet.

- Ein **großer Wertebereich** lässt sich nur anhand sehr konträrer Farben darstellen, diese Erkenntnis spricht sehr für ein Schema mit Farbtonübergängen.
- Mit dem **weiten Spektrum an Farbtönen** wurde auch eine bessere Unterscheidbarkeit angestrebt, jedoch zeigt der nachfolgende Kommentar, wie unterschiedlich Farben bei Ausgabe mit verschiedenen Geräten erscheinen, oder grundsätzlich interpretiert werden. Das Lila und bläuliche Grün wurden von einem der Teilnehmer nicht als solches wahrgenommen: *„Die Farben sollten nicht blau anfangen und blau enden, wenn sich dazwischen ein anderes Farbspektrum befindet. Meine Präferenz für Lärmkarten wäre weiß (ohne Geräusche) bis tiefrot (starker Lärm) und ggf. für den noch stärkeren Bereich lila.“* (Teilnehmer-Kommentar)
- Es gibt **nicht ein Schema**, das allen Anforderungen und Charakteristika der Daten und des Sachverhaltes gerecht wird. Das oberste Anliegen für dieses Schema war es, die logarithmische Charakteristik des Schalldruckpegels auf die Farben zu übertragen und damit darzustellen. Zusätzlich war es ein Anliegen darzustellen, dass die wahrgenommene Lautheit sich bei einem Anstieg von 6 bis 10 dB verdoppelt. Diese beiden Aspekte sind jedoch widersprüchlich und daher nicht beide zu übertragen. Es ist aufgrund der vielfältigen Farb-, Sättigungs- und Helligkeitskontraste nicht möglich mit jedem Paar aufeinanderfolgender Farben eine Verdoppelung des Anstiegs der Lautheit darzustellen.
- Zuletzt ist die **Wahl der Begriffe** eine Herausforderung. Im Widerspruch stehen korrekte Begriffe und Definitionen aus der Akustik, die von Laien nicht klar definiert werden können und umgangssprachliche Ausdrücke, denen es an Wissenschaftlichkeit und einheitlicher Definition fehlt.

Es wurde aufgezeigt, dass die Farbkontraste, Farbe-an-sich- und Qualitäts-Kontrast zwischen den gezeigten Farbfeldern einen großen Einfluss auf die Abschätzung der Werte haben. Die Ergebnisse geben Erkenntnisse und Einblicke für eine realistische Anwendung, wenngleich daraus nur wenige grundlegende Anwendungsfall-übergreifende Empfehlungen gegeben werden können. Dafür wäre es sinnvoll, die Aufgaben im Sinne eines Experimentes systematisch zu wiederholen. Weitere mögliche Forschungsbereiche wären:

- **Gemessener Farbabstand versus wahrgenommener Farbabstand**, unter Berücksichtigung von Farbparametern wie Farbton, Helligkeit, Sättigung und Konnotationen wie warm und kalt. Um zu überprüfen, welche Farbparameter, bzw. Kombinationen an Parametern, wie interpretiert werden, müssten gezielte Experimente durchgeführt werden, die die unter Abschnitt 4.3.2.1 beschriebenen Farbkontraste im Speziellen berücksichtigen. In dieser Studie wurden nur Farbpaare gegenübergestellt, die bei der Interpretation von Lärmkarten von Interesse sind. Für eine Studie wird empfohlen, die Fragen und den Anwendungsfall einfach zu halten, um eine Verstrickung wie in Teil 2 zu vermeiden.

- **Die Überprüfung des Einflusses der Lage** des zu interpretierenden Wertes auf die Interpretation.

**Die Konsequenzen, die sich daraus für die Weiterentwicklung des Farbschemas ergeben sind (siehe Kap. 7.1.3.4):**

- (1) Die Annahme, dass Farbtonübergänge, also Farbe-an-sich Kontrast, den Eindruck der Darstellung einer größeren Wertespanne weckt, konnte bestätigt werden. Ebenso konnte bestätigt werden, dass sich eine Steigerung der Sättigung positiv darauf auswirkt.
- (2) Farben, die hohe Werte repräsentieren, sollten nicht zu kühl, also blauhaltig sein. Im konkreten Fall wird im Lila der Rotanteil erhöht.
- (3) Da von den Teilnehmern die bipolare Anordnung nicht favorisiert wird und eine Umkehrung der Grüntöne nicht sinnvoll ist, da dann inmitten des Schemas ein starker Hell-Dunkel-Kontrast auftritt, wurden die Helligkeits-Kontraste der Grüntöne stark verringert und der Blauanteil variiert.
- (4) Das helle Gelb sollte einen höheren Grünanteil haben, dann würde die erste Wirkungsklasse konsistenter wirken.

## 7.5 Evaluation der Erkennung von Hotspots (Studie 4)

### 7.5.1 Ziel und Forschungsfragen

Nachdem in den anderen Studien der grundsätzliche Einfluss der Farben auf die Einschätzung der Lärmbelastung, die Unterscheidbarkeit und die Assoziation überprüft wurden, wurde in dieser Studie die Interpretation von Hotspots mittels der Farben getestet. Bei der Entwicklung des Farbschemas wurde darauf geachtet, dass die höheren Werte stärker hervortreten, im Gegensatz zum DIN-Schema, in dem die mittleren Werte überbetont werden, was bei Darstellung aller elf Klassen deutlich wird. In der letzten Entwicklungsstufe des Schemas (Kap. 7.1.3.4) wurde deshalb die Abfolge der Farben etwas harmonisiert: das Gelb etwas grüner und das Orange dezenter gestaltet, sodass die Übergänge „weicher“ sind. Die Blaugrüntöne, die aus den Grüntönen resultierten, sind nun weniger dunkel, um sie nicht zu stark zu betonen. Ob das tatsächlich dazu führt, dass Hotspots mit dem neuen Schema besser interpretiert werden können als mit dem DIN-Schema und somit ein realistischer Überblick einer Lärmsituation erlangt werden kann, wurde mit dieser Studie überprüft. Die getestete Forschungsfrage ist:

**Forschungsfrage 3:** Verbessert sich die Erfassung der relativen Verteilung der Schallimmission, wenn ein verbessertes Farbschema eingesetzt wird?

*Hypothese 3:* Das verbesserte Farbschema führt zu einem besseren Überblick über Hotspots.

Als Hotspots werden lokale Maxima bezeichnet, also Gebiete, die relativ gesehen einen sehr hohen Wert aufweisen. Für Lärmkarten gibt es keine konkrete Definition, ab wann ein Gebiete ein Hotspot ist. Im Gegensatz dazu gibt es eine Diskussion um den Begriff „ruhiges Gebiet“. Eine allgemein gebräuchliche Definition liegt noch nicht vor, die Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI, S. 6) spricht bei ruhigen Gebieten von Gebieten mit einer Größe von über 4 km<sup>2</sup> und mit überwiegenden Teil der Flächen mit einem  $L_{den} \leq 50$  dB. Im Kontext dieser Arbeit erscheint es jedoch nicht sinnvoll, den Begriff Hotspot derart eng zu definieren. Da er derart unterschiedlich definiert werden kann, wurde er im Fragebogen nicht

verwendet, stattdessen wurde nach den Gebieten mit der höchsten Lärmbelastung gefragt.

## 7.5.2 Methode und Aufbau der Studie

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine **qualitative Befragung** mit Studierenden der *HafenCity Universität Hamburg* durchgeführt. Die Zielgruppe war auch hier die breite Öffentlichkeit. Da es zur Erfüllung der Aufgaben keinerlei Fachwissen bedurfte, sondern die Beantwortung aufgrund der Interpretation mittels der Farben erfolgte, wurde angenommen, dass die Übertragbarkeit der Ergebnisse von Studierenden auf weitere Bevölkerungsgruppen gewährleistet ist (vergl. Diskussion dieser Annahme in Kap. 7.5.3).

Um das DIN-Schema mit dem eigenen Schema zu vergleichen, wurde ein **Zwischensubjektdesign** gewählt, d. h. die Hälfte der Teilnehmer erhielt jeweils drei Karten im DIN-Schema, die andere Gruppe dieselben Karten im für den Druck optimierten Schema der Entwicklungsstufe IV (mit BW gekennzeichnet) (Kap. 7.1.3.6). Um Lerneffekten entgegenzuwirken, wurden die Karten systematisch in verschiedenen Reihenfolgen gezeigt. Bei drei gezeigten Karten sind sechs Reihenfolgen möglich, jede Reihenfolge wurde drei Teilnehmern gezeigt.

Damit wirklich die Farben zur Interpretation herangezogen wurden, wurde jegliche Topografie in den **Karten** weggelassen. Ebenso wurde keine Legende angegeben. Erfahrungen aus Studie 3 lassen vermuten, dass die Lage der Straßen anhand der Verteilung der dB-Werte trotzdem ersichtlich ist. Die gezeigten Gebiete sind einerseits die Modellstadt *Silent City*, die auch in den anderen Studien verwendet wurde, sowie die öffentlich zugänglichen Lärmdaten von Nordrhein-Westfalen, die nach der RL 2002/49/EG alle fünf Jahre verpflichtend an die Europäische Kommission zu berichten sind<sup>12</sup>.

Um mehrere Varianten der Darstellung miteinander zu vergleichen, wurde die Klassenzahl für die Karten variiert, denn das Aussehen der Karten hängt stark davon ab, wie viele Klassen dargestellt werden. Vor allem im DIN-Schema beeinflussen die gesättigten Farben zur Darstellung der niedrigen Werte, die Erscheinung sehr. Daher wurden 11 Klassen, fünf und sechs Klassen dargestellt, letztere entsprechend der 34. BImSchV. Bei der Darstellung von fünf Klassen blieben Flächen mit Werten unter den dargestellten Werten farblos. Bei den Karten mit sechs und 11 Klassen wurde der gesamten Fläche eine Farbe zugewiesen.

Das Bestimmen von Hotspots ist eine Art der Muster-Identifikation und somit eine synoptische Frage (Andrienko und Andrienko, 2006). Dafür ist die Interpretation der räumlichen Verteilung notwendig und der Überblick über ein Gebiet. Dementsprechend wurde der Maßstab der gezeigten **Karten** bei  $\sim 1:61\ 000$  (Karte B) und  $\sim 1:43\ 500$  (Karte C) festgelegt (Tab. 7.12). Karte A hat einen Maßstab von  $\sim 1:8\ 300$  und bietet somit einen Vergleich zu den anderen beiden Karten. Eine analoge Studie wurde aus dem Grund gewählt, weil sich Ausdrucke und Papierkarten besser dazu eignen, einen Überblick zu erlangen. Im Gegensatz dazu, würde man einen größeren Maßstab für eine *Lookup Task* wählen, wie z. B. in Studie 2, in der Werte anhand der Farben abzulesen waren. Tabelle 7.12 gibt einen Überblick über die gezeigten Kartenausschnitte (Abb. 7.61, 7.62, 7.63).

Die **Aufgabe** war, aus jeder Karte die Gebiete mit der höchsten Lärmbelastung zu wählen und mit einem Stift zu umranden. Eine maximale Anzahl wurde nicht vorgegeben, da die Teilnehmer in ihrer Interpretation nicht eingeschränkt werden

<sup>12</sup> Verfügbar unter [cdr.eionet.europa.eu/de/eu/noise/df8/coluck1tw/](http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/noise/df8/coluck1tw/) (Zugriff Juni 2014)

**Tabelle 7.12:** Die unabhängige Variable sind drei Kartenausschnitte, jeweils im DIN-Schema und dem eigenen Schema BW.

Bezeichnung	Karten- grundlage	Farben Gruppe 1/ Gruppe 2	Maßstab	Klassenanzahl
A	Silent City	DIN/ BW	1:8 333	11 Klassen
B	NRW I	DIN/ BW	1:60 975	5 Klassen entsprechend der 34. BImSchV
C	NRW II	DIN/ BW	1:43 478	6 Klassen entsprechend der 34. BImSchV

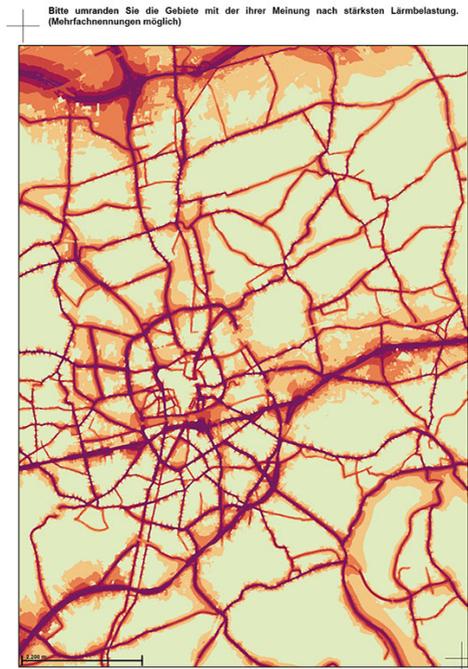
sollten. Bei der Wahl der Karten wurde auf ein vielfältiges Straßennetz geachtet, sodass eine Reihe von Hotspots interpretiert werden konnten.

Der **Fragebogen** (Anhang F) bestand aus einem Deckblatt mit der Aufgabenstellung und einer Frage, drei Karten auf jeweils einer eigenen Seite (Abb. 7.60) und einer abschließenden Seite mit Fragen zu akustischen Grundlagen und demografischen Fragen. Die Seiten waren zusammengeheftet. Die Fragebögen wurden selbständig ausgefüllt, es wurde keine Zeit gemessen. Die ungefähr benötigte Zeit lag bei fünf bis zehn Minuten.

Bevor die Karten von den Teilnehmern gesehen wurden - es wurde in der Aufgabenstellung darum gebeten, erst nach Eintragen der Antworten auf der jeweiligen Seite umzublättern - wurde auf dem Deckblatt die Frage „Was denken Sie, worüber geben Ihnen Lärmkarten, wie die Beispiele unten, Information?“ gestellt. Unter der Frage wurden beispielhaft zwei Verkehrslärmkarten abgebildet. Es wurden im Einleitungstext ganz bewusst nicht die Begriffe Lärmpegel, Lärmbelastung, Schalldruckpegel und ähnliche verwendet, um die Antworten nicht zu beeinflussen. Ebenso wurde mit keinem Wort erwähnt, dass die Karten den Verkehrslärm zeigen.

Abschließend wurden folgende drei Fragen gestellt, um Auskunft über das akustische Grundwissen der Teilnehmer zu erhalten, die Antworten wurden zur Auswahl gegeben (richtige Antwort hervorgehoben), sodass kein tatsächliches Rechnen notwendig war:

- Addiert (+) man die Schalldruckpegel 50 dB und 70 dB erhält man:
  - **70 dB**
  - 100 dB
  - 120 dB
  - Ich weiß nicht.
- Eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautheit ergibt sich bei einem Anstieg des Schalldruckpegels von 50 dB auf:
  - **60 dB**
  - 80 dB
  - 100 dB
  - 120 dB
  - Ich weiß nicht.



**Abbildung 7.60:** Die Karte C mit eigenem, für den Druck optimierten Farbschema, wie sie im Fragebogen gezeigt wurde.

- Bei einem Anstieg von 100 auf 110 dB passiert folgendes:
  - Die wahrgenommene Lautheit verändert sich kaum.
  - Die wahrgenommene Lautheit nimmt um 10% zu.
  - **Die wahrgenommenen Lautheit verdoppelt sich.**
  - Ich weiß nicht

Zur Sicherstellung der Verständlichkeit des Fragebogens, wurde die erste Gruppe an Teilnehmern als Pre-Test gewertet. Zuvor wurde der Fragebogen unter Kollegen getestet. Nachdem nichts geändert wurde, flossen die Fragebögen des Pre-Tests in die Ergebnisse ein.

### 7.5.3 Interpretation der Ergebnisse

Insgesamt nahmen 36 Studierende der *HafenCity Universität Hamburg* an der Befragung teil (50 Prozent männlich sowie weiblich). Jeweils die Hälfte erhielt eine Variante des Fragebogens, mit DIN-Farbschema oder dem neuen Farbschema. Wie oben beschrieben variierte die Reihenfolge. Unbeabsichtigt wurden v. a. Studierenden der Studiengänge Architektur und dem Bauingenieurwesen erreicht. Diese Studierenden in Planungsstudiengängen sind es gewohnt mit Plänen umzugehen, ebenso sind Grundlagen der Akustik Studieninhalte, was sich in den Ergebnissen stärker spiegelt als erwartet.

Die Fragen, die akustischen Grundlagen betreffend, wurden in überraschend hohem Maß richtig beantwortet. Frage 1 zur Pegeladdition brachte zwar das schlechteste Ergebnis der drei Fragen, wurde aber dennoch von 50 Prozent richtig beantwortet, 13 Teilnehmer hingegen gingen von einer arithmetischen Rechenoperation aus und nahmen an, dass die Addition von 50 und 70 dB zu 120 dB führt, richtig wäre 70 dB. Die beiden weiteren Fragen nach der wahrgenommenen Lautheit wurden von über 50 Prozent richtig beantwortet, jedoch war auch jener Anteil größer, der sich der Antwort enthielt (Tab. 7.13). Der hohe Anteil richtiger Antworten war durchaus überraschend. Es wird daher davon ausgegangen, dass das Ergebnis nicht repräsentativ für die breite Öffentlichkeit ist, sondern sich die Studierenden genau jene wichtigen Charakteristika der Akustik eingeprägt und gemerkt haben. Die Multiple Choice Antworten haben zusätzlich dazu geführt, darauf aufmerksam zu machen, dass die Antworten nicht selbsterklärend sind.

**Tabelle 7.13:** Antworten auf die Fragen über die akustischen Grundlagen.

Frage	Richtig	falsch	Weiß nicht
2) Pegeladdition	18	13	5
3) wahrgenommene Lautheit	21	5	10
4) wahrgenommene Lautheit	24	5	7

Obwohl viele in der Lage waren, die richtige Antwort aus einer Auswahl von Antworten zu wählen, ging das Wissen nicht so weit, in der offenen Frage 1 genau anzugeben, was in Lärmkarten dargestellt wird. Richtige Antworten wären: ein Lärmindex, der Lärmindex  $L_{den}$  oder der Schalldruckpegel in Dezibel. Keine Person nannte eine der Varianten, drei gaben jedoch an, dass Werte in Dezibel angegeben werden. Der Großteil - 15 Teilnehmer - gab an, dass die Lautstärke bzw. wie laut oder leise es ist, dargestellt wird. Diese Antwort entspricht der Hypothese, dass die breite Öffentlichkeit davon ausgeht, dass Lärmkarten die Lautstärke darstellen, was nur indirekt stimmt (vergl. Kap. 3.2.4). Zehn Mal wurde die Lärmbelastung genannt, was weitestgehend stimmt. Weitere Begriffe, die genannt wurden, sind Lärmintensität, Lärmpegel und die Lärmemission, was falsch ist, denn es wird die Lärmmission dargestellt. Interessanterweise wurde oft eine direkte Verbindung zur Verkehrsdichte gemacht und angemerkt, dass Straßen, in denen es viel Verkehr gibt, Rot, also laut sind. Das ist nur bedingt richtig, denn eine Verdoppelung der Fahrzeugmenge führt lediglich zu einem Anstieg um 3 dB. Anhand der Karten wurde der Bezug zum Straßenverkehr folglich sofort hergestellt.

Die Abbildungen 7.61, 7.62 und 7.63 zeigen die resultierenden Hotspotkarten mit den Gebieten höchster Lärmbelastung, wie sie von den Teilnehmern eingezeichnet wurden. Dafür wurden alle 108 Karten eingescannt und die Umrandungen der Teilnehmer manuell nachgezeichnet. Nach Übereinanderlagerung werden dadurch

„Hotspots“ sichtbar. In Karte A (Abb. 7.61), in der 11 Klassen dargestellt wurden, wodurch die Gebiete mit hohen Dezibelwerten mit dem DIN-Farbschema nicht stark hervortreten, scheinen die Gebiete mit dem neuen Farbschema besser hervorzutreten. Ebenso in Karte C (Abb. 7.63), wo Hotspots mit dem DIN-Schema nur gekennzeichnet wurden, wenn auch der Rotanteil groß war. Auch in Karte B (Abb. 7.62) wurde mit dem DIN-Schema ein Gebiet mit sehr hohem Rotanteil (Bildmitte) stärker hervorgehoben als in der Vergleichskarte.

### Zur Beantwortung der Forschungsfrage:

#### **Forschungsfrage 3: Verbessert sich die Erfassung der relativen Verteilung der Schallimmission, wenn ein verbessertes Farbschema eingesetzt wird?**

*Hypothese 3:* Das verbesserte Farbschema führt zu einem besseren Überblick über Hotspots.

Diese Frage kann nach dieser Studie nicht eindeutig mit „ja“ beantwortet werden. Entgegen der Hypothese zeigen sich durch das Farbschema keine ganz eindeutigen Effekte auf die Lage und Zahl der Hotspots. Die visuelle Interpretation lässt nur vage erkennen, dass mit dem DIN-Schema eher große rote Flächen hervorgehoben wurden und die Gebiete mit dem neuen Schema zusammenhängender wirken.

Ein Grund dafür könnte sein, dass die Teilnehmer die Karten klar als Verkehrslärmkarten identifiziert haben und somit die Lage der Straßen und Kreuzungen, die klar erkennbar sind, zur Interpretation herangezogen haben. Deutlich wird auch, dass die Größe der Fläche ausschlaggebend für die Bewertung der Lärmbelastung ist. Das hat einerseits damit zu tun, dass große Flächen und breite Straßen besser erkennbar sind, andererseits lässt sich auch vermuten, dass Kartennutzer aufgrund der falschen Annahme, dass mehr Verkehr zu höherer Lärmbelastung führt, davon ausgehen, dass breite Straßen auch lauter sind. Schmale Straßen, die den gleichen Dezibelwert aufweisen, gingen in der Betrachtung komplett unter.

#### 7.5.4 Zwischenresümee: Nicht nur die Farben, sondern auch die räumliche Verteilung der Werte nehmen einen Einfluss auf die Interpretation

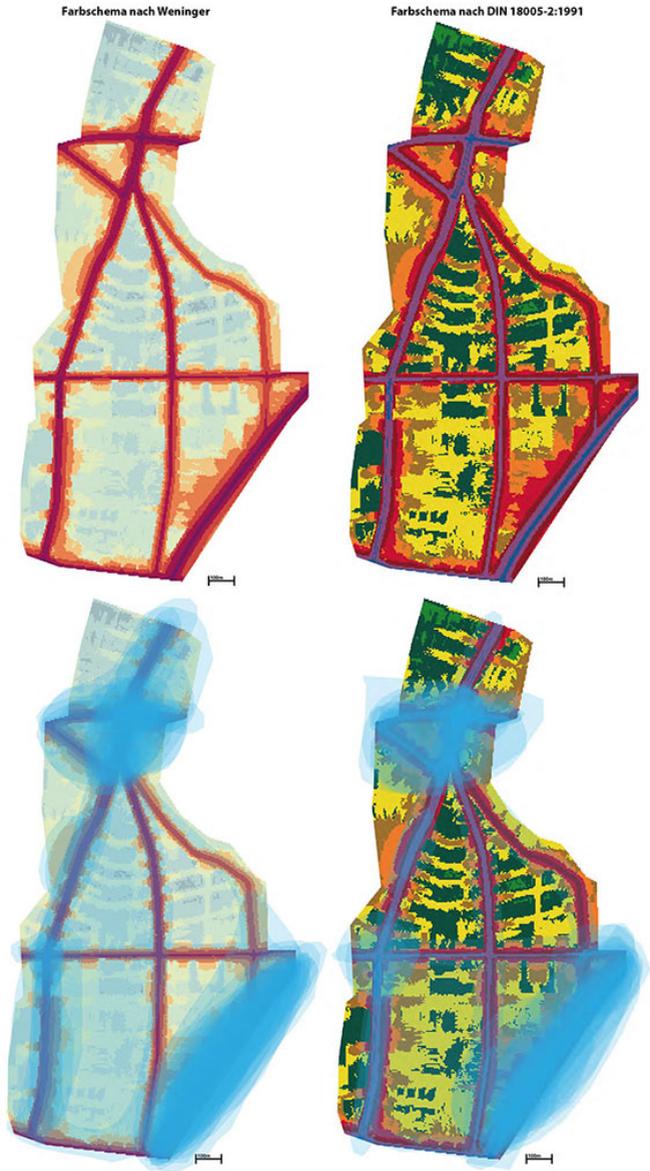
Ein Vergleich der Identifikation von Gebieten hoher Lärmbelastung anhand von Karten in zwei Farbschemen zeigte nur geringe Unterschiede zwischen dem DIN-Schema und dem neuen Farbschema. Das Ergebnis widerlegt daher die Hypothese, dass Lärm-Hotspots mit dem neuen Schema besser erkennbar sind, da sie eher hervortreten. Der Hauptgrund dafür dürfte sein, dass die Lage der Straßen aufgrund des typischen Verteilungsmusters von Straßenlärm bei Darstellung mit verschiedenen Farbschemen gut erkennbar ist, ebenso die Lage von Kreuzungen. Diese Information fließt in die Interpretation mit ein, nicht zuletzt, da teilweise die Meinung vertreten wird, dass Lärmkarten ebenso die Verkehrsdichte zeigen. Zusätzlich spielt auch die grafische Überrepräsentation der Flächen mit höheren Werten eine Rolle, v. a. bei kleineren Maßstäben.

Gezeigt konnte werden, dass ein beträchtlicher Teil der Teilnehmer (15) davon ausgeht, dass in Lärmkarten die Lautstärke dargestellt wird, obwohl ein großer Teil bei der Beantwortung der Fragen zur Pegeladdition und wahrgenommenen Lautheit richtige Antworten gab und somit akustische Grundkenntnisse bewies. Das hängt v. a. damit zusammen, dass die Teilnehmer durch Lehrveranstaltungen näher am Thema waren, als erwartet.

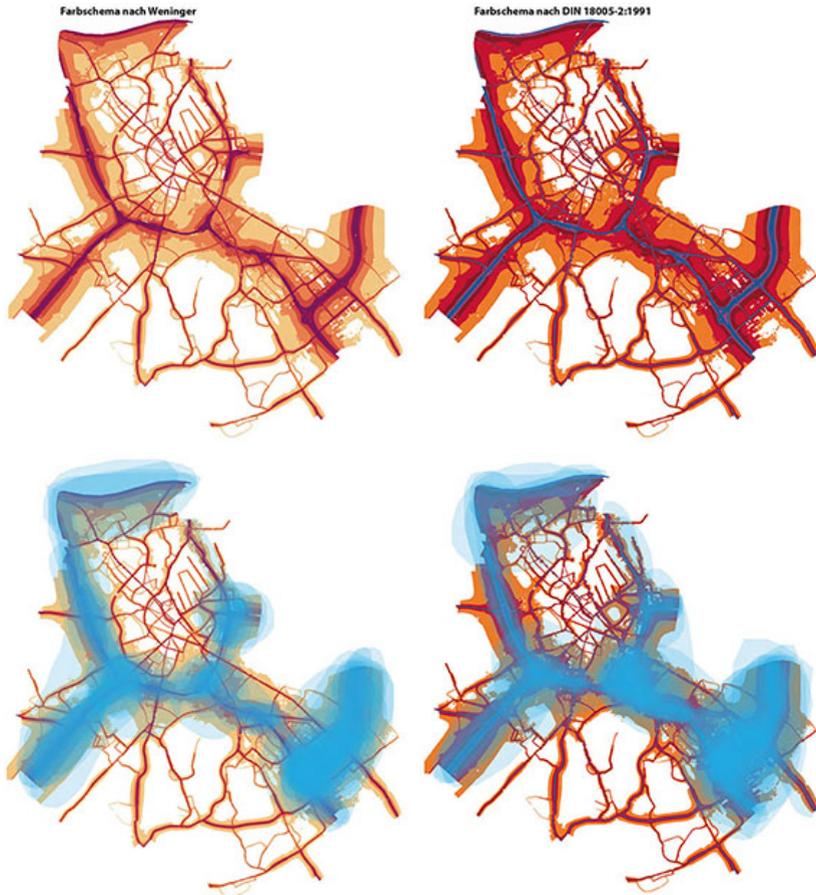
Zur Bestätigung der Ergebnisse, dass beide Farbschemen zu ähnlichen Resultaten führen, müsste die Studie mit einem neutralen Anwendungsfall wiederholt werden, bei dem ausgeschlossen werden kann, dass die Lage der Ablesepunkte zur Interpretation beiträgt. Zusätzlich könnte die Studie mit Eye Tracking wiederholt werden und die Fixationen<sup>13</sup> sowie die Zeit, die zum Aufsuchen der Hotspots benötigt wurde in der Interpretation berücksichtigt werden.

---

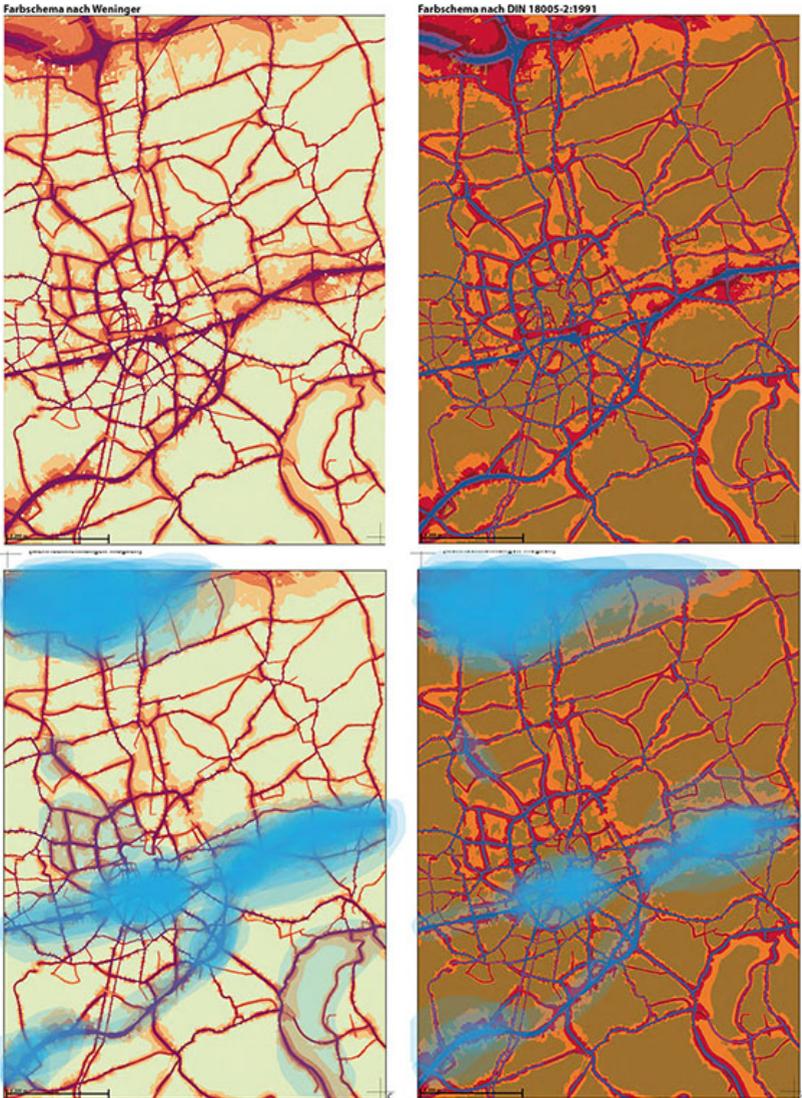
<sup>13</sup> Augenanhaltewpunkte beim Betrachten eines Bildes oder Ähnlichem



**Abbildung 7.61:** In der Karte A, in der 11 Klassen dargestellt wurden, wurden mit dem neuen Farbschema nach Weninger (links) etwas mehr Hotspots eingezeichnet als mit dem DIN-Schema (rechts). (Farbschema nach Weninger wurde für den Druck optimiert.)



**Abbildung 7.62:** In der Karte B wurden mit dem DIN-Schema (rechts) eher rote Flächen hervorgehoben (siehe Bildmitte), die Gebiete wirken mit dem neuen Schema zusammenhängender. (Farbschema nach Weninger wurde für den Druck optimiert.)



**Abbildung 7.63:** In der Karte C wurden mit dem DIN-Schema (rechts) Hotspots eher nur eingezeichnet, wenn der Rotanteil einer Fläche groß ist, siehe z. B. rechts oben. (Farbschema nach Weninger wurde für den Druck optimiert.)

# 8

## Interpretation der Übertragbarkeit der Ergebnisse

### 8.1 Einleitung

Diese Arbeit und das vorgelegte Farbschema wurden für die amtliche Erstellung von Lärmkarten in Deutschland entwickelt. Die grundsätzliche Frage ist nun, ob die Erkenntnisse übertragbar sind. Nachdem die Erstellung von Lärmkarten auf Grundlage einer EU-Richtlinie erfolgt, aber der Anwendungsfall bisher Deutschland war, ist als erstes die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere EU-Staaten zu betrachten. Bei einem Forschungsaufenthalt in Großbritannien zu diesem Zweck wurde jedoch klar, dass die brennende Frage nicht nur die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Anwendung in einem anderen EU-Land ist, sondern die Übertragbarkeit der Empfehlungen auf andere Lärmquellen. Denn laut RL 2002/49/EG ist für Lärmquellen, wie Fluglärm, Schienenlärm und Industrielärm der gleiche Index vorgegeben. Bei genauer Betrachtung zeigt sich, dass zur Steigerung der Verständlichkeit der dargestellten Information für die verschiedenen Lärmquellen unterschiedliche Aspekte von Bedeutung sind. So unterscheiden sich zum Beispiel die Verteilung der Werte und die Charakteristika der Lärmquellen, worauf sowohl bei der Visualisierung als auch bei der Wahl von Zusatzinformation eingegangen werden sollte. Genauso sind die Empfehlungen zur Visualisierung von durch gewonnene Daten nur bedingt verwendbar. Auch sie sind an das Datenformat, das sich stark von dem amtlicher Daten unterscheidet und generell stark variiert, anzupassen.

Für die Übertragbarkeit der Empfehlungen ergibt sich daher die Notwendigkeit folgende Aspekte zu betrachten:

- Übertragbarkeit auf andere EU-Staaten zur Beantwortung der Forschungsfrage 4.1 (Kap. 8.2)

- Übertragbarkeit auf andere Lärmquellen zur Beantwortung der Forschungsfragen 4.2.1 und 4.2.2 (Kap. 8.3)
- Übertragbarkeit auf aus Crowdsourcing gewonnene Daten zur Beantwortung der Forschungsfrage 4.3 (Kap. 8.4)

## 8.2 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere EU-Staaten

### 8.2.1 Anwendbarkeit der Farben

Von Interesse, im Kontext dieser Arbeit, ist v. a. ob sich das Farbschema ebenso in anderen Ländern anwenden lässt. Hier ist vor allem zu betrachten, ob die Farben bei Nutzern anderer kultureller Hintergründe ähnliche Assoziationen hervorrufen. Eine Schwierigkeit ist, dass zwar grundsätzlich der kulturelle Hintergrund auf die Interpretation Einfluss nehmen kann, aber auch das Land in dem die Person längere Zeit verbracht hat und die Karten, die sie dort genutzt hat. Die Nationalität alleine muss nicht Auskunft über den kulturellen Hintergrund und die damit verbundenen Erfahrungen geben.

Ob die Farben in Deutschland mit den gleichen Wirkungsklassen assoziiert werden wie in anderen Ländern, wurde anhand der Ergebnisse von Teil 1, 3 und 4 der Studie 3 (Kap. 7.4) überprüft. Zur Zuordnung zu einem Land wurden die Teilnehmer gefragt, wo sie die letzten fünf Jahre gelebt haben. Die Antwortmöglichkeiten (Tab. 7.11) und daraus resultierende Faktorlevels (Tab. 8.1) waren wenig detailliert, weil man für genauere Angaben, z. B. auf Landesebene keine ausreichende Grundgesamtheit für eine statistische Analyse erreicht hätte. Dennoch gibt es auch für die grobe Einteilung nach Deutschland, einem anderen europäischen Land, Nordamerika und weitere Länder inhomogene Gruppengrößen: die Zahl der in Deutschland lebenden Teilnehmer ist 82, für die restliche EU 29, für Nordamerika und die Gruppe weiterer Länder sechs - drei der insgesamt 125 Teilnehmer machten keine Angabe.

Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen dem Wohnort und den Antworten wurde ein Kruskal-Wallis Test durchgeführt. Dieser eignet sich zum Vergleich mehrerer unabhängiger Gruppen (Zwischensubjektdesign), die nicht normalverteilt sind, oder eine andere Voraussetzung für die (one-way independent) ANOVA nicht erfüllen (Field, 2005). Der Test basiert auf Rangplatzsummen<sup>1</sup>, die Gruppengröße spielt dabei keine Rolle.

Zum Vergleich wurde analysiert, ob die Sprache mit der die Studie ausgeführt wurde und der damit verbundene kulturelle Hintergrund einen Effekt zeigen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch in Deutschland lebende Teilnehmer die Studie in Englisch durchgeführt haben, dennoch könnte ein signifikantes Ergebnis genauere Folgestudien anregen. Da der Faktor Sprache nur zwei Faktorlevels hat, Deutsch oder Englisch (Tab. 8.1), wurde ein Mann-Whitney Test durchgeführt, der nach dem gleichen Prinzip und den gleichen Voraussetzungen funktioniert, wie der Kruskal-Wallis Test und nur für zwei Gruppen geeignet ist.

Die Ergebnisse, die zur Interpretation herangezogen wurden sind die Zuordnung einzelner Farben zu den drei Wirkungsklassen, die mit richtig oder falsch bewertet wurde. Es wurde für jeden Teilnehmer die Accuracy Rate<sup>2</sup> für alle 17 Fragen

<sup>1</sup> Für eine Auswertung werden die Werte aller Gruppen der Größe nach geordnet und entsprechend ihrer Reihenfolge durchnummeriert. Danach werden die Werte inklusive ihrer Ränge entsprechend der Gruppen geordnet und die Ränge pro Gruppe aufsummiert. Diese Rangsummen fließen dann unter Berücksichtigung der Stichprobengröße in die Teststatistik. (Field, 2005)

<sup>2</sup> Anzahl der richtigen Antworten in Bezug auf die abgegebenen Antworten.

**Tabelle 8.1:** Überblick der Variablen zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse. Oben sind die Variablen zur Auswertung nach Kruskal-Wallis abgebildet, unten jene für den Mann-Whitney Test.

Test	Abhängige Variable	Faktorlevels	Unabhängige Variable
Kruskall Wallis	Wohnort	Deutschland, Europa, Nordamerika, weiteres Land	Zuordnung einer Farbe zur Wirkungsklasse: richtig/falsch
Mann-Whitney	Sprache	Deutsch, Englisch	Zuordnung einer Farbe zur Wirkungsklasse: richtig/falsch

gemittelt und analysiert.

Der Kruskal-Wallis Test zeigt für Deutschland ( $Mdn = 0,82$ )<sup>3</sup>, Länder innerhalb Europas ( $Mdn = 0,76$ ), Nordamerika ( $Mdn = 0,65$ ) und andere Länder ( $Mdn = 0,88$ ) keinen signifikanten Unterschied, was die Assoziation mit den Farben betrifft ( $H(3) = 7,11, p = 0,068$ ). Ebenso zeigt der Mann-Whitney Test für die Sprache Deutsch ( $Mdn = 0,82$ ) und Englisch ( $Mdn = 0,76$ ) kein signifikantes Ergebnis,  $U = 1409, p = 0,203$ . Zusammenfassend kann man feststellen, dass sich aufgrund dieser Studie im westlichen Kulturkreis erwartungsgemäß keine kulturellen Unterschiede in der Interpretation erkennen lassen.

## 8.2.2 Weitere Aspekte der Übertragbarkeit

Ein weiterer Aspekt der Übertragbarkeit, neben den Farben, ist die Einbindung der Karten in den Prozess der Öffentlichkeitsbeteiligung und damit verbunden eine Bestimmung des Inhaltes und der Darstellung unter Berücksichtigung der Ziele und zu erfüllenden Aufgaben. Um Lärmkarten ideal in die Lärmaktionsplanung anderer Länder übernehmen zu können und dafür zu optimieren, müssten die institutionellen Rahmenbedingungen und Praktiken der Stadtplanung und somit Lärmaktionsplanung berücksichtigt werden. In einigen Mitgliedsstaaten, wie Österreich zum Beispiel, gibt es ein Lärm-GIS für das gesamte Gebiet<sup>4</sup>, während in Deutschland Lärmkarten in unterschiedlichen Formaten für die einzelnen Ballungsräume zur Verfügung gestellt werden, die zusätzlich für einige Bundesländer zusammengefasst sind. Die vagen Vorgaben ermöglichen es den Ländern ihre Praktiken zu verfolgen, was für die Vergleichbarkeit von Nachteil ist, aber zum Vorteil hat, dass lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden können. Haklay und Harrison (2002, S. 17) beschreiben die Wichtigkeit diese „cultural givens“ im Konzept eines PPGIS zu berücksichtigen, weil: „cultural givens frame the willingness and ability of people to participate in local planning process, the perceived 'costs' of participation, and the motivation and commitment required to engage in technological endeavours like the creation of a community-integrated GIS“.

Da es in den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten verschiedene Traditionen der Lärmmodellierung gibt, sind nach wie vor Unterschiede gegeben, die aus den Lärmkarten nicht ersichtlich werden. De Vos und Licitra (2013), zum Beispiel, beschreiben, dass

<sup>3</sup> Hier wurde der Median für jede Kondition berichtet, da er für nicht parametrische Tests angebrachter ist als der Mittelwert.

<sup>4</sup> <http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html>, Zugriff Mai 2014

in manchen Staaten Straßenbahnen zu Straßenlärm gezählt werden, während sie in anderen Staaten gemeinsam mit U-Bahnen ignoriert würden. Dazu kommt, dass die Indikatoren  $L_{den}$  und  $L_{night}$  berechnet oder modelliert werden können. Zur Modellierung wurde von der EU nach vor keine gemeinsame Bewertungsmethode vorgelegt, sondern bestehende Methoden empfohlen. Die Mitgliedsstaaten dürfen daher weiterhin ihre bisherigen Bewertungsmethoden verwenden, müssen jedoch den Nachweis erbringen, dass diese Methoden gleichwertige Ergebnisse wie die Referenzmethoden liefern (Halama und Berkemann, 2009).

### 8.2.3 Beantwortung der Forschungsfrage 4.1

**Forschungsfrage 4.1:** Sind die Ergebnisse auf andere EU-Staaten übertragbar?

*Hypothese 4.1:* Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die Ergebnisse auch auf andere EU-Staaten übertragbar sind.

In Anbetracht der Ergebnisse der statistischen Tests zeigen sich keine Effekte durch die verwendete Sprache oder den Wohnort auf die Zuordnung der Farben zu Wirkungsklassen. Das Farbschema kann daher nach derzeitigem Wissensstand in anderen Ländern des westlichen Kulturkreises verwendet werden, ohne dass die vermittelten Assoziationen mit Werten und Wirkungsklassen verloren gehen. Über eine Anwendbarkeit über den westlichen Kulturkreis hinaus können auf Basis dieser statistischen Auswertung keine Aussagen getroffen werden.

Empfehlungen, die allgemeine Kartografie betreffend, sind genauso wie in einzelnen Ländern an den jeweiligen Nutzungskontext anzupassen. Je nachdem wie die Karten in den Prozess der Öffentlichkeitsbeteiligung eingebunden werden, sind die Anforderungen an die Darstellung in Abhängigkeit von den „cultural givens“ zu prüfen und die in dieser Arbeit definierten Anforderungen entsprechend zu adaptieren. Für umfangreichere Aussagen müssen in zukünftigen Forschungsarbeiten Fallbeispiele verschiedener Länder miteinander verglichen werden.

## 8.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Lärmquellen am Beispiel Fluglärm

### 8.3.1 Einleitung

Um abschätzen zu können inwiefern die erlangten Ergebnisse auf Fluglärm anwendbar sind, werden zunächst die Charakteristika der beiden Lärmquellen verglichen. Zwar sind beide Lärmquellen nach der EU-Richtlinie mit demselben Index darzustellen, das ist jedoch im Hinblick auf die deutlichen Unterschiede der Lärmquellen zu hinterfragen. Infolgedessen stellt sich eine grundsätzlichere Frage, als die nach der Anwendbarkeit der Farben. Um ein klareres Bild der Eigenschaften von Fluglärm zu erhalten und festzustellen, wo die Herausforderungen bei Fluglärmkarten liegen, wurde ein Fokusgruppeninterview mit Lärm-Betroffenen des Flughafens *London Heathrow* durchgeführt.

Der Flughafen *London Heathrow* ist mit 70 Millionen Passagieren und 475 000 Flugbewegungen (im Jahr 2012) der größte Europas und laut Passagierzahlen der drittgrößte international (Civil Aviation Authority, 2013, S. 2). Innerhalb der  $L_{den}$  55-dB-Kontur leben 725 500, innerhalb der 57 dB  $L_{eq}$ <sup>5</sup> Kontur, die von Großbritannien als Grenzwert verwendet wird, 258 500 Menschen (Airports Commission,

<sup>5</sup>  $L_{eq}$  ist der energieäquivalente Dauerschallpegel, vergl. Kapitel 3.2.3.4

2013). Diese Zahlen zeigen, wie entscheidend die Wahl des Indikators sein kann und welchen großen Unterschied eine kleine Differenz des Grenzwert bewirken kann. Der Flughafen Frankfurt am Main liegt im Vergleich dazu mit beinahe 58 Millionen Passagieren an 11. Stelle international (Civil Aviation Authority, 2013), innerhalb der  $L_{den}$  55-dB-Kontur leben, mit einer Zahl von 238 700, vergleichsweise wenige Menschen (Regierungspräsidium Darmstadt, 2012, S. 29).

### 8.3.2 Motivation, Ziel und Forschungsfragen

Über den Fluglärm, der von *London Heathrow* verursacht wird, gibt es eine lebhaft Diskussion, nicht zuletzt aufgrund von Erweiterungsplänen. Aus gegebenem Anlass entstand eine Reihe von Schriften, die das Thema, inklusive der Darstellung des Sachverhalts, diskutieren (z. B. Airports Commission, 2013, Aviation Environment Federation, 2010, Civil Aviation Authority, 2013, oder Department for Transport UK, 2013). Eines der Hauptargumente ist folgendes: „[...] focusing on those affected within the 57  $L_{eq}$  16 h contour does not adequately represent the adverse effects of noise felt by communities around airports. This is firstly because the average contour does not accurately reflect the day to day experience of people that hear aviation noise (in short bursts of intense noise, rather than as a constant sound), and secondly because adverse impacts are also felt outside of the 57  $L_{eq}$  16 h contour“ (Airports Commission, 2013, S. 27, Hervorhebung durch die Zitierende). Es wird oft betont, dass „[...] aircraft noise can vary in terms of its magnitude, frequency and duration for each noise event, and also for how many events occur in a given time period. Portraying this information in a single indicator is an inevitable compromise. No single indicator can fully describe the noise exposure at a given location“ (Airports Commission, 2013, S. 25).

Daher war das Ziel dieses Interviews von Fluglärm Betroffenen zu erfahren, wie sie Fluglärm wahrnehmen um daraus Charakteristika abzuleiten, die für die Darstellung in Karten sinnvoll sind. Es lag die Hypothese vor, dass Fluglärm sich stark von Verkehrslärm unterscheidet und das bei der Visualisierung berücksichtigt werden muss. Zwar sind offiziell wie für alle anderen Lärmarten Konturenkarten vorgeschrieben, dennoch dürfen in den Karten zusätzliche Information hinzugefügt werden: „Whilst any further noise assessments undertaken by the Commission will need to include the current 57  $L_{Aeq}$  mapping approach, they will also provide opportunities to trial alternative measures that might better reflect how aircraft noise is, or some aspects of aircraft noise are, experienced“ (Airports Commission, 2013, S. 28). Zusatzinformationen könnten in Form zusätzlichen Ebenen, thematischen Karten, Diagrammen, oder Infografiken gegeben werden.

Die Forschungsfragen, die es anhand des Interviews zu beantworten galt, sind folgende (siehe auch Kap. 5):

**Forschungsfrage 4.2:** Sind die Ergebnisse auf die Darstellung anderer Lärmquellen übertragbar?

**Forschungsfrage 4.2.1:** Was sind die Mängel bestehender Lärmkarten für Fluglärm? Welche Aspekte werden von strategischen Karten nicht beschrieben, die zur Darstellung einer Lärmsituation hilfreich wären?

*Hypothese 4.2.1:* Fluglärmkarten zeigen ebenso wie Verkehrslärmkarten gemittelte Pegel, das scheint aber in Anbetracht der Charakteristika nicht ausreichend zu sein. Es fehlt vor allem die Beschreibung des zeitlichen Verlaufs der Geräusche für unterschiedliche Zeiteinheiten, wie tages- und stundenweise.

**Forschungsfrage 4.2.2:** Was sind die Charakteristika von Fluglärm, die durch Betroffene wahrgenommen werden und zum Beschreiben von Fluglärm geeignet sind?

*Hypothese 4.2.2:* Fluglärm unterscheidet sich grundsätzlich von Straßenlärm, v. a. im Hinblick auf die Periodizität. In der Regel reihen sich kurze, starke, also intermittierende Lärmereignisse aneinander, während es beim Verkehrslärm ein eher regelmäßiges Hintergrundgeräusch gibt.

### 8.3.3 Methode und Aufbau

Als Methode wurde ein Fokusgruppeninterview gewählt, das von der Autorin und einem weiteren Interviewer im Rahmen eines Forschungsaufenthaltes am *University College London* geführt wurde. Dem zweiten Interviewer war der Interviewleitfaden nicht bekannt.

Ein Fokusgruppeninterview ist das „multi-person equivalent to the interview, where a group of targeted end users (3-10) discuss topics posed by a session moderator“ (Roth, 2011). Das Ziel ist normalerweise, Reaktionen auf Produkte, Erfahrungen oder Ähnliches zu erhalten und ein eng abgestecktes Thema zu behandeln. In einer Stunde Interview mit acht Teilnehmern können ungefähr acht Fragen gestellt werden (Patton, 2002, S. 388). Der verwendete Interviewleitfaden enthielt insgesamt sechs allgemeine Fragen über die Wahrnehmung von Lärm durch die Betroffenen, die Verwendung von Lärmkarten, die Information zur Darstellung von Fluglärm, sowie acht speziellere Fragen, die sich speziell auf die Darstellung von Lärm bezogen (siehe Anhang G.1).

Zur Auswertung des Interviews wurde ein einfaches Transkriptionssystem gewählt (siehe Anhang G.2), da es um die Erlangung von Charakteristika zur Visualisierung ging, Intonation und Wortwahl etc. waren dafür nicht maßgeblich.

### 8.3.4 Teilnehmer und Durchführung

Als Teilnehmer dieser Studie wurden Betroffene gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass es diesen aufgrund ihrer Betroffenheit möglich ist, Aspekte und Charakteristika von Fluglärm zu benennen. Die Teilnehmer wurden über den Vorsitzenden der Kampagnen-Organisation (orig. campaigning organisation) *HACAN ClearSkies* rekrutiert, der ein Kontakt der *ExCiteS* Forschungsgruppe des *University College Londons (UCL)* ist, wo der Forschungsaufenthalt stattfand. Dieser schrieb elf mögliche Interessierte an, worauf drei tatsächlich am Interview teilnahmen. Alle Teilnehmer waren männlich und geschätzt zwischen 30 und 35 (Teilnehmer 1, folgend T1), 45 und 50 (Teilnehmer 2, folgend T2) und 55 und 65 (Teilnehmer 3, folgend T3). Zwei der Teilnehmer waren an ihrem Wohnort direkt von Fluglärm betroffen, einer in Südost-London, der andere in Ealing, das knapp neben der 57 dB Kontur liegt. Ersterer (T1) sieht sich zwar stark vom Lärm betroffen und kann nur mit Ohrenstöpsel schlafen, ist laut eigenen Angaben aber nicht komplett beeinträchtigt: „I wouldn't say they dominate my life to the extent that I am raging about them“. Im Gegensatz zu Teilnehmer 2, der sich vom Lärm komplett eingenommen fühlt: „it's taking my life over“, „I feel like they are actually parking on the roof“. Der dritte Teilnehmer (T3) betrachtet Lärm eher als allgemeines Problem und Phänomen in Städten, das es zu bekämpfen gibt und hat im Gegensatz der anderen zwei Teilnehmer, keine so starke Betroffenheit an seinem Wohnort, fühlt sich dennoch bei seiner Arbeit als Landschafts-Architekt von Lärm belästigt. Die Teilnehmer wurden

nicht explizit nach Bildungsstand und beruflicher Tätigkeit befragt. Entsprechend der Wortwahl und der Fähigkeit eine Situation zu beschreiben und zu diskutieren, ist ein entsprechender Bildungsstand anzunehmen oder die Tatsache, dass die Teilnehmer regelmäßig an Diskussionen dieser Art teilnehmen und über dieses Thema sprechen. Zumindest einer der Teilnehmer hat sich gezielt auf das Gespräch vorbereitet, nach eigener Aussage aus Angst nichts zu sagen zu haben. Umfassendes Wissen über physikalische Eigenschaften von Lärm und Indizes kam bei keinem der Teilnehmer ans Licht, der in Großbritannien für Fluglärm verwendete Index  $L_{eq}$  war den Teilnehmern bekannt.

### 8.3.5 Ergebnisse: Wahrnehmung und Charakteristika von Fluglärm, die für die Visualisierung ausschlaggebend sind

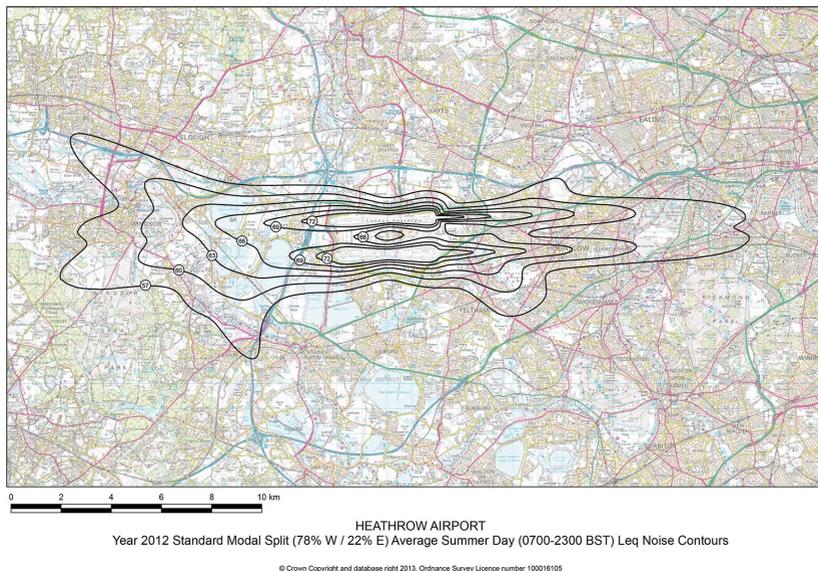
#### 8.3.5.1 Die Mängel bestehender Fluglärmkarten zur Beschreibung von Fluglärmsituationen - Beantwortung der Forschungsfrage 4.2.1

Die Forschungsfragen „**Was sind die Mängel bestehender Lärmkarten für Fluglärm? Welche Aspekte werden von strategischen Karten nicht beschrieben, die zur Darstellung einer Lärmsituation hilfreich wären?**“ sind anhand der unten beschriebenen Punkte zu beantworten:

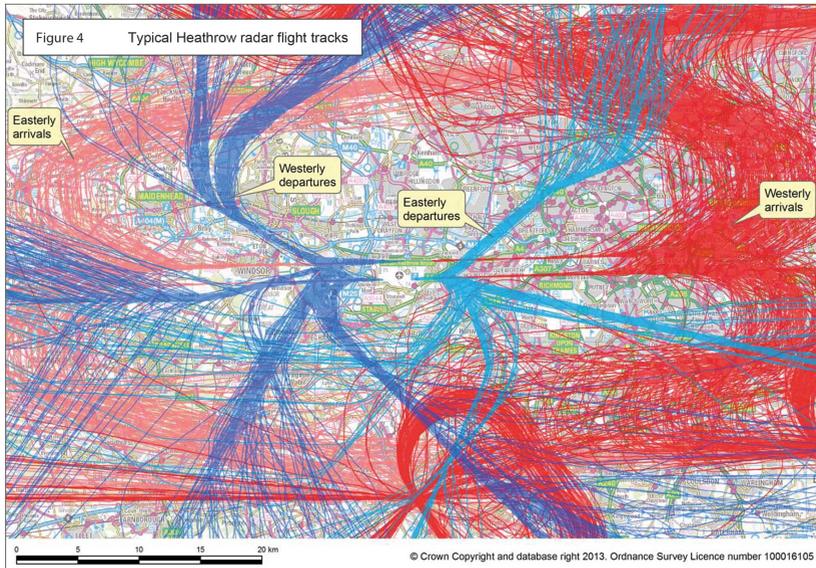
Keiner, der zwei persönlich betroffenen Teilnehmer (T1 und T2) nutzte Lärmkarten vor dem Umzug in ein stark belästigtes Gebiet. Beide waren sich zuvor des Belastungsgrades ihrer neuen Wohnorte nicht bewusst. Der Teilnehmer, der nach Südost London zog, hatte durch Medienberichterstattung den Eindruck, dass es sich bei Fluglärm um ein Problem handelt, das West London betrifft. Erst als er sich belästigt fühlte, fing er an, im Internet zu recherchieren und stellte fest: „the first hurdle I came across was I don't know what all those means“. Er gab zu, einige Zeit gebraucht zu haben, bis er einen Überblick darüber erhielt, was die Werte bedeuten. Teilnehmer 2 hingegen beauftragte einen Gutachter, um Information darüber zu erhalten, welchem Schallpegel er ausgesetzt ist. T1 gibt an, das Interesse an den Konturkarten verloren zu haben, als er feststellte, dass die dargestellte Situation gar nicht mit seinem Eindruck der Situation übereinstimmt: „BUT the crucial (unv.) I found with all of them (...) they just didn't match up to my experience. So that's when I lost interest in the noise contour maps (unv.) and then got on to the web track site which shows you delayed version of what's [...] going into Heathrow. And THAT matched much more closely to my experience [...]“. Diese Diskrepanz zwischen wahrgenommener Realität und Karten wurde immer wieder thematisiert. Einige Aspekte der mangelnden Übereinstimmung werden nachfolgend beschrieben. In weiten Teilen des Interviews wurde über die sehr persönliche Erfahrung im Kampf gegen die Behörden und das Vorgehen der Behörden allgemein gesprochen, diese Aspekte wurden nicht interpretiert und beschrieben können jedoch dem Transkript in Anhang G.2 entnommen werden.

An der offiziellen **Darstellung** (Abb. 8.1) wurde einerseits kritisiert, dass nur ein Ausschnitt West Londons auf der Karte abgebildet ist und es daher so wirkt, als ob das Problem ein „westerly problem“ ist. Kartografisch liegt das Argument zur Wahl des Ausschnittes auf der Hand: Das am stärksten belastete Gebiet liegt in West London und die Konturen damit im Kartenmittelpunkt. Dennoch wurde es von den Teilnehmern als irritierend empfunden, dass 57 dB die erste Kontur darstellen und somit unbewusst vermittelt wird, dass es außerhalb dieser Kontur kein Problem gibt: „And there is also no lower level than that, so it falls off the cliff of 57 and the

map size is clearly framed to only include those contours, leaving you with the clear message off that is right that is fine“ (T1). Das ist in der allgemeinen Diskussion im Fluglärm genau der Punkt: liegt ein Bereich in Großbritannien außerhalb der 57 dB Kontur, können die Bewohner nicht mit Maßnahmen rechnen, fühlen sich jedoch dennoch, teilweise stark, betroffen. In diesem Zusammenhang wurde auch die klare Abgrenzung der Grenzen durch Konturen kritisiert „[...] a contour is a line and there is a binary aspect to that. That makes me think that what I am really after is a shading, some sense of a drop off. Graduation. It is not on this side of the line it's the problem, and on that side of the line slash street it's not a problem.“ (T1)



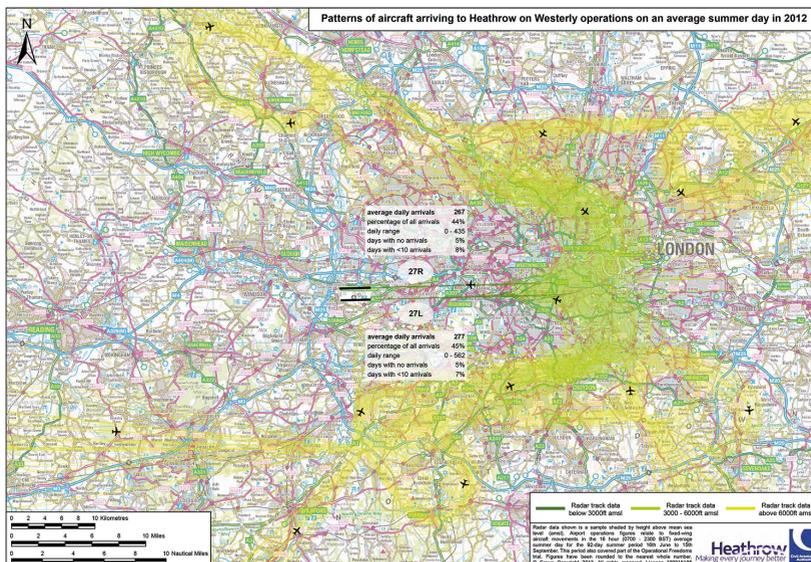
Schallimmissionen dar, sondern zeigen, dass die Flugzeuge je nach Windrichtung beim Anflug bzw. Abflug weite Teile Londons und nicht nur West London überqueren (Abb. 8.3): „[bezugnehmend auf die offizielle Lärmkarte in Abb. 8.1] there is no colours, so there is no sense of intensity, whereas of course that one [zeigt auf die Karte der Radar Flight Tracks (Abb. 8.2)] because it's overlaying gives you the intensity because you see where the lines are very thick and then you see where the lines are very thin“ (T2).



**Abbildung 8.2:** Die „Radar Flight Tracks“ für *London Heathrow* im Jahr 2012. Rot dargestellt sind die Ankünfte, blaue Flugrouten stellen Abflüge dar. Deutlich zu erkennen ist, dass die westlichen Anflüge, die Zahl der östlichen Anflüge weit übersteigen, über das Zentrum von London erfolgen (Civil Aviation Authority, 2013).

Die Konturenkarte, hat klar das Problem, dass sie die **Intensität des Lärms** nicht widerspiegelt: „[...] for example when I am holding the arriving on westerly [Abb. 8.3] that does pretty well at showing intensity I think, that also does pretty well at showing routes, where I think it completely falls down is height, so it's all yellow until it's not [laughing] and then it's sort of, oh well never mind, they are really low here [...]. And then what none of them manages to do is get any sort of impact measure as in the impact on people of the noise and that for me is a big lack. So clearly that the contour maps are laughable“ (T1).

Interessanterweise werden die **Verkehrslärmkarten nicht im gleichen Maße kritisiert**, obwohl sie einen ähnlichen Indikator verwenden: „[...] I found noise mapping on the roads in London is actually far more developed and accurate and colourful and understandable for me.“ Die Tatsache, dass nicht nur Konturlinien verwendet werden, sondern farbige Flächen und alle Bereiche der Karte mit einem



**Abbildung 8.3:** 89 Prozent der Ankünfte bei westlichem Flughafenbetrieb erfolgen an einem durchschnittlichen Sommertag über die Londoner Innenstadt (Civil Aviation Authority, 2013).

Schallpegel versehen sind, reichen für diesen Teilnehmer, der allerdings nicht von Straßenlärm betroffen ist, aus, die Karte als besser entwickelt, richtiger und genauer zu sehen. Das dürfte daran liegen, dass in Verkehrslärmkarten das Straßennetz aufgrund der höheren Pegel entlang der Straßen erkennbar wird und somit die physische Präsenz der Fahrzeuge mit der Karte in Bezug gesetzt werden kann.

Im Gespräch wurden die Aspekte **Vertrauen** (orig. trust) und **Genauigkeit** (orig. accuracy) in Verbindung mit den Daten, die die Grundlage der Karten bilden genannt. Zwei Quellen von Ungenauigkeit und wurden definiert: das Netzwerk der Messstationen und Misstrauen in die ausführenden Behörden. Es wurde nicht davon ausgegangen, dass der verwendete Algorithmus falsch ist, sondern eher bemängelt, dass die Position der Messstationen, d. h. Verteilung und Höhe der einzelnen Stationen, nicht kommuniziert wird. Den Behörden wurde zwar keine Manipulation vorgeworfen, aber v. a. Teilnehmer 2, der sehr emotional von dem Thema betroffen ist, sprach sein generelles Misstrauen den Behörden gegenüber aus: „I wouldn't trust them“. Problematisch wurde befunden, dass die Behörden, die Lärm messen und Karten erstellen nicht unabhängig sind.

### 8.3.5.2 Besondere Charakteristika von Fluglärm im Vergleich zu Straßenlärm - Beantwortung der Forschungsfrage 4.2.2

Aus den Aussagen im Fokusgruppeninterview wurden folgende Charakteristika von Fluglärm zur Beantwortung der Forschungsfrage „**Was sind die Charakteristika von Fluglärm, die durch Betroffene wahrgenommen werden und zum Beschreiben von Fluglärm geeignet sind?**“ abgeleitet:

- Die **Flugrouten** von Flugzeugen sind im Gegensatz zu Autos variabler und folgen sogenannten „Noise Preferential Routes“ (NPRs), bzw. den Anweisungen des Towers. In Straßenverkehrskarten sind die Straßen in den Basiskarten enthalten, die Interpretation der Lärmkarten wird dadurch erleichtert, da es für die Nutzer klar ist, dass die größte Lärmbelastung nahe der Straßen ist. Umgekehrt weisen die Pegel auf das Straßennetz hin. Bei Fluglärmkarten hingegen, werden gewöhnlich keine Flugrouten eingezeichnet lediglich die Lärmkonturen, was einen gravierenden Unterschied macht, denn Flugrouten sind anhand der Karten nicht nachvollziehbar. Damit geht die Information verloren, dass Bereiche außerhalb der dargestellten Konturen auch stark frequentiert werden und daher von Lärm betroffen sind. Hilfreich wäre somit das Einzeichnen sogenannter Routen der „standard instrument departure“ (SID), der tatsächlichen Radar Tracks oder der NPRs, die extra zur Lärmvermeidung definiert wurden.
- Es besteht im Gegensatz zu Straßenverkehr eine starke **Richtungsabhängigkeit** der Belastung, je nachdem ob der Flughafen in östliche oder westliche Richtung betrieben wird. In den offiziellen Karten, d. h. anhand der Indikatoren  $L_{eq}$  und  $L_{den}$  wird die Tatsache, dass Heathrow in den letzten 20 Jahren zu 78 Prozent westlich betrieben wurde an den Ausbuchtungen der Konturen im Westen erkennbar, die durch genau spezifizierte NPRs für den Start entstehen. Dass an einem durchschnittlichen Sommertag 2012 aber 89 Prozent der Ankünfte bei westlichem Betrieb aus östlicher Richtung, direkt über die Londoner Innenstadt erfolgten (Abb. 8.3), spiegeln die Konturen keinesfalls wider. Die Lärmbelastung liegt dabei im Durchschnitt unter 57 dB, jedoch ist die Frequenz der Flugzeuge hoch.
- Zudem entsteht der Lärm nicht nahe des Bodens, sondern über den Dächern der Bewohner in variierender **Höhe**. Das heißt die höheren Stockwerke sind eher von Lärm betroffen, als die bodennahen Stockwerke, wie diese Aussage zum Ausdruck bringt: „The first place I lived in this area I was in a block of flats and I had another flat and then a roof above me. So actually it wasn't an issue in the flat at all, simply because they sucked the noise, which is one potential issue, I think, for noise mapping. It can be very dependent on your property and how the noise moves around your property, the property above you, is there a property. But now I live in a house, so there is no property above. Just the roof for it. And there the difference is astonishing, how much you can hear inside“ (T1).
- Die Flughöhe trägt zur Veranschaulichung von Fluglärmbelastung bei. Einerseits ist damit natürlich der Schallpegel verbunden, dieser wird jedoch bereits anhand der Konturen dargestellt. Vielmehr ist mit der Flughöhe die **Sichtbarkeit der Flugzeuge** verbunden. Dieser Aspekt stellt einen entscheidenden

Unterschied zu Straßenverkehr dar: „Let’s face with the presence of these planes going over you. Now that’s a factor, that’s a different factor from the idea of a motorway that’s a mile away, that you can hear all the time, which is not desirable either of course. It’s a different sort of presence, it’s repetitious, but it’s intermittent, however short the periods are [...] because it isn’t just the noise [...] but just bear in mind that sometimes it’s the presence of the offender [...] OK if the planes are pretty high and they are going quite fast as they approach [...] But what if they are going at half of that altitude, so they (unv.) right over your chimney stacks. Now that is a different thing regardless of the noise, they may might be going in much more slowly because they are lower and still keeping within this 57 thing [...]“ (T3). Die aktuelle Darstellung anhand von Konturen vernachlässigt die physische Anwesenheit der Flugzeuge komplett, die durch das Einzeichnen von Flugrouten zumindest angedeutet werden könnte.

- Wie grundlegend die Zahl der Lärmereignisse, folgend als **Frequenz** bezeichnet, ist, zeigt diese Aussage „In particular, it [die Konturenkarte] ignores the number of noise events they [die Betroffenen] experience despite the findings of the ANASE study [„Attitudes to Noise from Aviation Sources in England“ *Department for Transport*, 2007] that annoyance is strongly influenced by the number of aircraft passing overhead“ (Aviation Environment Federation, 2010, S. 22). Die intermittierenden Lärmereignisse wurden ebenfalls im Interview beschrieben und als störender als kontinuierlicher Lärm bezeichnet: „you’ve got a burst of intrusive noise that starts, comes to a peak, diminishes, stops and then you wait a little bit and then it’ll repeat and it is the waiting a little bit actually, I think of me anyway, makes it a lot worse and much harder to tune out, because you can’t tune out“ (T2). Die Konturen stellen die Durchschnittswerte über einen Zeitraum dar, bei kontinuierlichem bzw. eher kontinuierlichem Lärm, wie Straßenlärm, ergibt das eine durchaus realistische Angabe. Fluglärm allerdings, ist geprägt von sehr starken kurzen Lärmereignissen, die teilweise in kurzer Abfolge auftreten. Ein Durchschnittswert verzerrt somit die wahrgenommene Realität und eine Erhöhung der Frequenz erhöht den Durchschnittswert nicht in dem Maße, wie die Lärmbelastung erhöht wird.
- Die **Anzahl der Betroffenen** hat in der allgemeinen Diskussion über Fluglärm einen wesentlich geringeren Stellenwert als bei Straßenlärm, sie wurde von keinem der Teilnehmer angesprochen. Gegen eine Verringerung der Zahl der Betroffenen spricht sich zum Beispiel die Aviation Environment Federation (2010, S. 4) aus: “A reduction in the number of people affected may come at the cost of concentrating even more flights over particular communities“.

### 8.3.6 Kommentare zur Methode

Der Gesprächsleitfaden wurde vorbereitet, ohne die Teilnehmer und deren Hintergrundwissen zu kennen, deshalb wurde davon ausgegangen, dass wesentlich detaillierter und technischer diskutiert werden würde und verschiedene Arten der Darstellung bekannt sein würden. Der Leitfaden wurde somit kaum verwendet, da durch die Dynamik des Gesprächs gewisse Fragen auch so beantwortet wurden. Ein Fragenblock über detaillierte Kartennutzung und Wissen von verschiedenen Darstellungen und Veröffentlichungen hätte aufschlussreiche Information darüber gegeben, welche Karten über Medien etc. bekannt sind. Da davon ausgegangen wurde, dass die Karten bekannt sind, wurde dieser Fragenblock nicht vorbereitet.

Die Stimmung beim Interview war aus Sicht der Interviewerin angenehm. Am Ende des Interviews wurden die Befragten ausdrücklich aufgefordert Kontakt aufzunehmen, falls sie noch weitere Gedanken zum Thema hätten, die sie gerne mitteilen würden. Zwei der Interviewten meldeten sich nach dem Gespräch, bedankten sich dafür und ergänzten einige wenige Aspekte. Auch die Gruppendynamik, die in durchgeführten Interview, als angenehm erachtet wurde, könnte Einfluss auf die Ergebnisse nehmen. Patton (2002, S. 386) geht aber eher davon aus, dass Interaktionen zwischen den Befragten die Datenqualität verbessern.

Ein Problem bei der Transkription war, dass Teile der Antworten kaum oder gar nicht verständlich waren wenn die Teilnehmer durcheinander sprachen oder unterbrachen, d. h., es ist ungünstig für die Transkription wenn die Diskussion etwas lebhafter ist oder mehrere Personen am Gespräch teilnehmen. Bejahende Einwürfe der Interviewerin und der anderen Teilnehmer sind schwer zu transkribieren, tragen aber zur Dynamik des Gesprächs bei und dürfen nicht unterschätzt werden. Im durchgeführten Interview herrschte großer Konsens, der durch Einwürfe ausgedrückt wurde. Grundlegender Diskonsens wurde nicht ausgedrückt.

### 8.3.7 Zwischenresümee

Obwohl entsprechend der Richtlinie 2002/49/EG für Straßen- und Fluglärm derselbe Indikator für offiziellen Lärmkarten verwendet werden soll, ergaben die Ergebnisse, dass sich Straßenlärm und Flugzeuglärm grundsätzlich unterscheiden und somit die Anforderungen an die Karten verschieden sind. Während bei Analysen von Verkehrslärmkarten in Deutschland festzustellen war, dass die Verbesserung der kartografischen Darstellung diese nutzerfreundlicher macht und dies von Behörden schon angestrebt wird, liegen die „Probleme“ mit Fluglärmkarten tiefer. Laut offiziellen Angaben fühlen sich 27 Prozent der Betroffenen bei einem Fluglärmpegel von 55 dB stark belästigt, während sich beim gleichen Straßenlärmpegel nur sechs Prozent der Betroffenen ebenso belästigt fühlen (Europäische Umweltagentur, zitiert in, Airports Commission, 2013, S. 11). Hier stellt sich die grundsätzliche Frage, ob ein Durchschnittswert die Belastung ausreichend widerspiegelt und ob die Darstellung zusätzlicher Parameter, wie die Frequenz, d. h. Häufigkeit von Starts und Landungen in einem bestimmten Zeitraum, die Flugrouten, die Flughöhe, sowie qualitative Informationen die Lärmsituation besser repräsentieren. Entsprechend der Aussagen im Interview und von Kampagnen-Organisationen ist davon auszugehen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in diversen Berichten (z. B. Airports Commission, 2013, Aviation Environment Federation, 2010, Civil Aviation Authority, 2013) eine Vielzahl von Darstellungen vorliegen, die den Flugverkehr und Fluglärm um *London Heathrow* zum Teil anhand der oben definierten Parameter beschreiben und gemeinsam umfassende Information bieten. Diese Berichte

sind zwar frei zugänglich, jedoch bedarf es einiger Suche, Fachwissens und Zeit, darauf zuzugreifen und die Karteninhalte miteinander zu verknüpfen. Die Karte, die die Teilnehmer am besten im Kopf hatten, ist die Konturenkarte, da sie am ausschlaggebendsten zur Entscheidung der Maßnahmensetzung ist. Woran es liegt, dass die anderen Darstellungen nicht bekannt sind, ist unklar. Ein Grund könnte eine einseitige Darstellung in den Medien sein, diese war jedoch nicht Teil der Untersuchung könnte aber aufschlussreiche Ergebnisse über die Verbreitung der Information anhand von Karten liefern.

Um die Ergebnisse zu verifizieren, müssten die Gespräche mit Betroffenen des Lärms anderer Flughäfen wiederholt werden, nur dann wäre sicher gestellt, dass die genannten Aspekte und Eindrücke tatsächlich übertragbar sind. Auch sollte es eine Vergleichsgruppe mit Betroffenen anderer Lärmquellen geben, um sicherzustellen, dass die Kritik an der Darstellung nicht vorrangig durch das emotionale Beteiligtsein bedingt ist. *London Heathrow* als größter Flughafen Europas bot zwar einen schönen Anwendungsfall, da es eine große Anzahl von Menschen gibt, die sehr stark vom Lärm betroffen sind, jedoch läuft man Gefahr auf sehr stark Betroffene zu stoßen, die eine sehr subjektive und kritische Meinung vertreten.

Als nachfolgender Schritt ist es notwendig, die zusätzlich zu  $L_{eq}$  oder  $L_{den}$  darzustellenden Charakteristiken, wie die Häufigkeit von Starts und Landungen in einem bestimmten Zeitraum, die Flugrouten, die Flughöhe, sowie qualitative Informationen, grafisch als Infografik und kartografisch als Karte zu entwickeln und in Nutzerstudien zu testen, ob und durch welche Darstellungsform sich ein Mehrwert ergibt.

## 8.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Daten die durch Crowdsourcing gewonnen werden<sup>6</sup>

### 8.4.1 Einleitung

Zusätzlich zu den amtlichen Lärmkartierungen der EU Mitgliedsstaaten gibt es eine Reihe von Projekten, die sich mit dem Crowdsourcing von Lärmdaten beschäftigen, beispielsweise *EveryAware* (2014), *NoiseTube* (2014), oder *da\_sense* (2014). Dieses Interesse an der Erhebung von Lärminformation ist einerseits einem erwachenden Bewusstsein für die Gesundheitsgefährdung durch Lärm geschuldet, sowie der weiten Verbreitung von Smartphones, die eine einfache Messung der Lautstärke mithilfe der eingebauten Mikrophone ermöglicht. Die Frage, was diese Art der Lärmkartierung von der amtlichen unterscheidet und inwiefern die Ergebnisse übertragbar, oder mit der amtlichen kombinierbar sind, ist grundlegend.

Die genannten Projekte bieten Smartphone Apps - *WideNoise*<sup>7</sup>, *NoiseTube Mobile*<sup>8</sup> and *Noisemap*<sup>9</sup> - die das Messen von Lärm und das anschließende Hochladen in eine Webkarte ermöglichen. Inwiefern zur Darstellung der so entstehenden Daten die erlangten Erkenntnisse dieser Arbeit und das Farbschema anzuwenden sind, wird im nachfolgenden durch einen Vergleich der Charakteristik der Daten geklärt.

Obwohl das generelle Ziel der Projekte das Abbilden von urbanem Lärm in Karten ist, unterscheiden sich die konkreten Ziele dennoch von den Zielen der Umgebungsärmrichtlinie. Deren Ziel ist „to define a *common approach* intended to *avoid, prevent or reduce* on a prioritised basis the *harmful effects*, including annoyance,

<sup>6</sup> Dieser Abschnitt enthält Auszüge aus einer Publikation (Weninger, 2015, i.E.)

<sup>7</sup> <http://www.widetag.com/widenoise/> (besucht im April 2014)

<sup>8</sup> <http://www.noisetube.net/download> (besucht im April 2014)

<sup>9</sup> <http://www.da-sense.de/> (besucht im April 2014)

due to the exposure to environmental noise“ (RL 2002/49/EG, 2002, Hervorhebung durch die Zitierende). Die Ziele der Projekte im Gegensatz sind: „*monitoring noise pollution by involving the general public*“ (NoiseTube, 2014), „*environmental monitoring, awareness enhancement, behavioural change*“ (EveryAware, 2014) und das *Sammeln und Verbreiten* von Sensor Daten von hoher Qualität (da\_sense, 2014) (Hervorhebungen durch die Zitierende). Die Projekte legen ihren Fokus eher auf die Nutzerinteraktion als auf die Information der Nutzer durch die Visualisierung: Die Nutzer werden auf das Thema Lärm in Städten aufmerksam gemacht, zeichnen Lärmereignisse auf, laden die Ergebnisse auf die jeweiligen Webseiten, erlangen dadurch Kenntnisse und werden zu Teilnehmern und Beitragenden einer Datenbank und Onlinepräsentation von Lärm in Städten. Die Berücksichtigung der angestrebten Ziele ist wesentlich für die Diskussion über die Präsentation der Daten in Karten, ebenso wie das Datenformat und die Charakteristika der Daten.

## 8.4.2 Charakteristika der Daten

Es wurde erwähnt, dass die von offizieller Seite verwendeten Indizes  $L_{den}$  und  $L_{night}$  komplex und nicht selbsterklärend sind. Jedoch sind auch die Messungen mithilfe von Smartphones nicht so überschaubar, wie man erwarten würde. Die Mitwirkenden fühlen sich zwar eher in Kontrolle der Messungen, aber tatsächlich ist die Beurteilung der Datenqualität komplex und hängt von einer Reihe von Gründen ab, die auch ausschlaggebend für die Visualisierung sind.

Die **Aufnahmedauer, Anzahl und Dichte der Messungen** haben großen Einfluss auf die Datenqualität. Die Standardmessungen von *WideNoise* sind beispielsweise nur fünf Sekunden lang und können auf zehn Sekunden verlängert werden. Diese kurze Aufnahmezeit ist zwar sehr angenehm für die Teilnehmer, die Messung spiegelt aber nur die Werte für dieses sehr kurze Zeitfenster wider. Die Anzahl der Messungen und ihre Gesamtzeit sind daher ein grundlegender Indikator für die Datenqualität, weil der dargestellte Mittelwert daraus abgeleitet wird. In der Kartendarstellung wird nicht immer deutlich, auf wie vielen Messungen die Information beruht. In der *WideNoise* Karte wird die Anzahl der Messungen als Nummer direkt in der Signatur des Schalldruckpegels angegeben (Abb. 8.4). In *da\_sense* wird laut Angabe die „Lautstärke“ als Hexagone oder Kacheln dargestellt, tatsächlich aber der Schalldruckpegel in dB. Die Anzahl der Messungen, auf der die Darstellung beruht, wird jedoch nur im interaktiven Modus angegeben (Abb. 8.5). Es ist problematisch für das Verständnis des Sachverhalts, wenn diese Information unterschlagen wird, denn so wird der Eindruck vermittelt, dass Information, die auf einer einzigen Messung von wenigen Sekunden basiert, genauso wichtig ist, wie Information, die auf einer Vielzahl von Messungen beruht. Deshalb sollte dieser Aspekt in der Visualisierung berücksichtigt werden, was zum Beispiel durch die Transparenz von Symbolen passieren kann. Auch wenn die Anzahl der Messungen kommuniziert wird, heißt das nicht, dass diese gleichmäßig über den Tag verteilt sind und somit einen Überblick über die Tagesbelastung geben. Interaktive Filter können hierbei helfen, den Zeitpunkt der Messung besser nachzuvollziehen.

Während amtliche Daten mit einer Vielzahl an Eingangsdaten berechnet sind und als flächige Isophonen dargestellt werden, beruhen Informationen aus Crowdsourcing auf Messungen. In Karten kann es daher sein, dass dargestellte Information auf nur *einer einzigen* Messung beruht. Das Problem der Punktsignaturen, die zur Darstellung dieser Punktdaten verwendet werden ist, dass sie, je nach Maßstab, stark vergrößert dargestellt werden müssen. Deshalb erscheinen einzelne Punkte teilweise als kreisrunde Flächen, die sich zum Teil überlappen und den Eindruck geben, dass

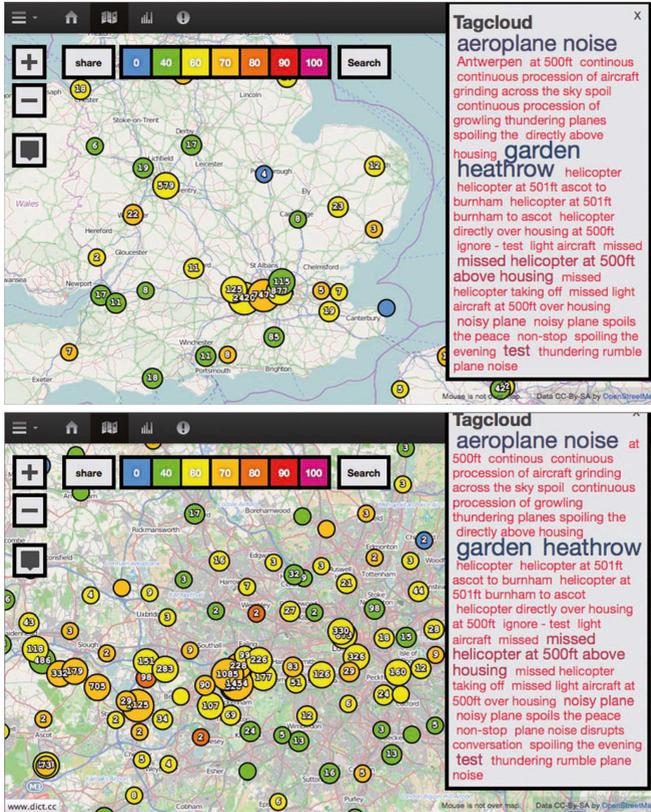
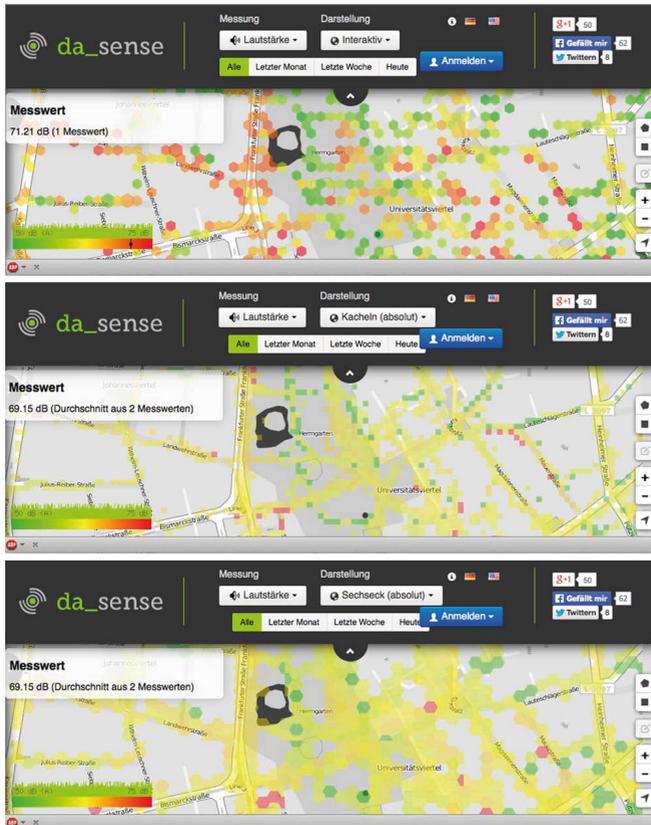


Abbildung 8.4: Die Karte des Projektes *WideNoise* in zwei verschiedenen Zoomlevels zeigt die Aggregation der Messergebnisse zu Flächen. Im kleinen Fenster rechts werden die subjektiven Schlagworte gezeigt, die von den Teilnehmern zu den Messergebnissen hinzugefügt wurden (EveryAware, 2014).

der Schalldruckpegel klar abgegrenzt werden kann. Dieser Eindruck wird verstärkt, wenn die Kreise eine dunkle Umrandung besitzen (Abb. 8.4). Tatsächlich aber zeigt nur der Mittelpunkt des Symbols den Punkt der Messung, die Reichweite des Schalldruckpegels, ist anders als bei Rasterpegel-, oder Konturenkarten nicht dargestellt. Dasselbe Problem besteht bei der Aggregation von Messungen zu Kacheln oder Hexagonen. Diese geben vor, den Sachverhalt auf gesamter Fläche abzudecken, auch wenn, für manche Bereiche nur eine geringe Messdichte besteht.

Ein anderer Aspekt der Datenqualität sind **Unsicherheiten** (engl. Uncertainty): „Uncertainty is inherent in all kinds of spatiotemporal data and is caused by uncertainty in the real world, limitation of human knowledge, limitations of measurement technologies, and the potential to generate and propagate uncertainty in



**Abbildung 8.5:** Die Karte des Projektes *da\_sense* in verschiedenen Darstellungsvarianten: Die „Lautstärke“ als interaktive Hexagone mit der Zahl der Messungen im Fenster in der linken oberen Ecke, als Kacheln und als Hexagone. Das Fenster bleibt auch für die beiden letzteren Darstellungen eingeblendet, es können aber keine Abfragen mehr gemacht werden. Obwohl das Zoomlevel und die angezeigten Daten für diese Abbildung nicht verändert wurden, verändert sich die angezeigte Information stark. Hinweise auf die Aufbereitung der Daten und der damit verbundenen Unterschiede in der Darstellung, werden nicht gegeben (da\_sense, 2014).

processing and analysis (Shi, 2010, zitiert in Kinkeldey, 2014). Die Berücksichtigung von Unsicherheiten unterstützt die Entscheidungsfindung und die Verlässlichkeit der Daten.

Die erste Unsicherheit, die im Rahmen der Lärmessungen anfällt, ist die **geometrische Unsicherheit**, also die Lagegenauigkeit der Messungen. Eigene Messungen mit der *WideNoise* App zeigten, dass Messungen, die alle an derselben

Stelle gemacht wurden, in der Karte nicht ausnahmslos zu einer Signatur aggregiert wurden, sondern zum Teil als einzelne Messungen in einem Radius von ungefähr 5 Metern dargestellt wurden. Diese fehlerhafte Verortung anhand der Positionierung des Smartphones hat Einfluss auf das Bilden der Mittelwerte, die in der Karte dargestellt werden.

Die schwerwiegende Unsicherheit bei Lärmmessungen aus Crowdsourcing ist allerdings die **Unsicherheit der Messung** selbst. Diese wird durch eine Bandbreite verschiedener Hard- und Software verursacht (NoiseTube, 2014). Die Apps *Noise-map* und *NoiseTube* bieten daher Kalibrationsprofile für eine Reihe von Smartphones an, um akkurate Messergebnisse zu gewährleisten.

Zusätzlich bestehen auch **thematische und temporale Unsicherheiten**, denn Teilnehmer legen ihren Fokus auf offensichtliche Lärmereignisse, ruhige Momente werden eher nicht gemessen. Das hat wiederum Effekte auf die Mittelwerte. Ebenso kann auch die Lärmquelle der Aufnahme nicht kontrolliert werden. Obwohl die *WideNoise* App speziell bei Betroffenen des Fluglärms von *London Heathrow* angeworben wurde und Aktivitäten zur Datenerfassung in betroffenen Gebieten forciert wurden, bleibt unklar, ob die Teilnehmer tatsächlich nur Fluglärm aufnehmen, anderen Umgebungslärm, oder weitere, als störend empfundene, Lärmquellen. In Agglomerationen ist eine Mischung verschiedener Lärmquellen sehr wahrscheinlich, da kaum eine Lärmquelle isoliert auftritt. Teilweise geben die Schlagworte zu den Messungen Aufschluss darüber, worauf der Fokus gerichtet war.

Der große Nutzen der partizipativen Methode ist jedoch, dass zusätzlich zu den quantitativen Messungen auch **qualitative Daten** erfasst werden können. So werden zum Beispiel Teilnehmer nach der Messung mit der *WideNoise* App gebeten, diese auf den vier Skalen „love vs. hate“, „calm vs. hectic“, „alone vs. social“ und „nature vs. man-made“ zu qualifizieren und am Ende ein Schlagwort zu setzen. Visualisierungen auf Basis dieser Daten haben das Potenzial die tagtäglichen Erfahrung der Betroffenen besser darzustellen. Denkbar ist daher eine Kombination von amtlichen Daten und Daten aus Crowdsourcing um auch subjektive Aspekte zu beleuchten.

### 8.4.3 Zwischenresümee

Das Crowdsourcing von Schalldruckpegeln hat sich parallel zur amtlichen Lärmkartierung entwickelt und basiert auf der „People as Sensors“ Philosophie. Vorgaben oder Empfehlungen dafür gibt es keine, das Thema wird von offizieller Seite außen vor gelassen, v. a. weil den Messdaten aufgrund der oben genannten Aspekte keine große Verlässlichkeit zur Bewertung von Umgebungslärm beigemessen wird. Eine der Schwierigkeiten ist, dass die gemessenen Schalldruckpegel, wenn sie flächenhaft dargestellt werden, aufgrund der Darstellung kaum von den äquivalenten Dauerschallpegeln ( $L_{day}$ ,  $L_{evening}$ ,  $L_{night}$ ) oder dem Lärmindex  $L_{den}$  zu unterscheiden sind, die aber über 365 Tage gemittelt werden und eine große Zahl an Eingangsparmetern zur Modellierung verwendet wird, was zu einer größeren Verlässlichkeit führt. Die Kombination könnte aber, v. a. im Hinblick auf die qualitativen Daten zusätzlich zu den Messungen einen Mehrwert bilden.

#### Zur Beantwortung der Forschungsfrage:

**Forschungsfrage 4.3:** Sind die Ergebnisse auf die Darstellung von Lärmdaten aus Crowdsourcing übertragbar?

*Hypothese 4.3:* Die Ergebnisse sind grundsätzlich übertragbar, wenn das Datenformat der Daten mit dem der amtlichen Daten übereinstimmt, ansonsten unterschei-

den sich die Charakteristika der Daten stark und die Darstellung muss entsprechend angepasst werden.

Die in dieser Arbeit genannten Empfehlungen bezüglich der Visualisierung von Schallimmissionen lassen aufgrund der Charakteristik der Daten, die durch Crowdsourcing gewonnen werden, nur begrenzt anwenden. Während die Assoziationen mit den Farben grundsätzlich zu übertragen sind, schließlich wird derselbe Sachverhalt dargestellt, wurden die Farben zur flächigen Darstellung entwickelt. Für die Darstellung von Punktdaten wurden sie nicht im Speziellen getestet, es wird befürchtet, dass die Unterscheidbarkeit bei zu kleinen Flächen nicht ausreichend gegeben ist und die Kontraste entsprechend verstärkt werden müssten.

Ein weiterer großer Unterschied ist, dass die amtlichen Daten grundsätzlich als zuverlässig angesehen werden, nachdem sie auf getesteten Algorithmen beruhen. Beim Crowdsourcing jedoch, wird eine Vielzahl an Methoden verwendet und es gibt eine Reihe an Unsicherheitsquellen, wie oben beschrieben. Findet die Visualisierung dieser Unsicherheiten keinen Eingang in die Darstellung, können durch die Präsentation falsche Tatsachen suggeriert werden.



# 9

## Schlussresümee

### 9.1 Forschungsbeitrag

Diese Arbeit betrachtet Lärmkarten, wie sie nach der Umgebungslärmrichtlinie der Europäischen Union (RL 2002/49/EG) zur Öffentlichkeitsbeteiligung zu erstellen sind. Im Fokus stand die kartografische Gestaltung im Hinblick auf die Verbesserung der Interpretation durch die breite Öffentlichkeit. Die kartografische Gestaltung generell umfasst viele Aspekte. Einerseits können die kartografischen Variablen betrachtet werden, z. B. Farben zur Kommunikation eines Sachverhalts, aber auch die Gesamtkomposition, die Ästhetik, die Karteninteraktion, oder die Kartenfunktionen. Da es im Bereich der Lärmkarten kaum kartografische Grundlagenarbeiten gibt, wurde in dieser Arbeit das Essentielle behandelt: die Darstellung der Lärmmissionen in Form des nach RL 2002/49/EG vorgeschriebenen Lärmindex  $L_{den}$ . Damit die Ergebnisse praktisch anwendbar sind, wurden als Anforderungen u. a. die Vorgaben entsprechend der Gesetzesgrundlagen (Kap. 2.3.3) definiert. Das ist die Darstellung der Lärmindizes als Isophonen-Bänder mit Klassen von 5 dB. Der grafische Gestaltungsspielraum beschränkt sich daher auf die Füllung der Flächen. Infolgedessen war das vorrangige Ziel, die Entwicklung eines Farbschemas zur digitalen Darstellung, das auf andere EU-Staaten übertragbar ist.

**Im Rahmen dieser Vorgaben sind die Hauptergebnisse, die zur Beantwortung der Forschungsfragen generiert wurden, folgende:**

- In einer Anforderungsanalyse wurde ein **Anforderungskatalog** als Hilfsmittel für ein systematisches Vorgehen bei der Erstellung von Lärmkarten ausgearbeitet. Dieser behandelt sämtliche Aspekte des Entwurfs- und Erstellungsprozesses, wie Projekttreiber, Projekttrandbedingungen, funktionale Anforderungen, nicht-funktionale Anforderungen und Projektangelegenheiten. Im

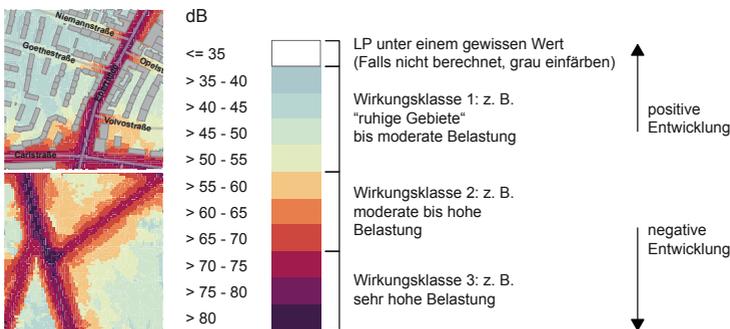
Kern dieser Arbeit standen die nicht-funktionalen Anforderungen, da die behandelten Aspekte der kartografischen Gestaltung in diesen Bereich fallen.

- In einem iterativen Prozess mit vier Nutzerstudien und insgesamt 232 Teilnehmern wurde ein **Farbschema** als Alternative zu jenem der DIN 18005-2:1991 entwickelt. Die iterative Entwicklung wird in Kapitel 7.1 beschrieben, das finale Schema in Kapitel 7.1.3.5 vorgestellt.

Das Farbschema besteht aus zehn assoziativen Farben in den drei Farbgruppen Blaugrün, Orange und Lila, die drei Wirkungsklassen repräsentieren (Abb. 9.1). Die Farben folgen einer systematischen Helligkeits- und Sättigungsverteilung, dadurch werden einerseits die positiven, niedrigen Werte betont, andererseits die negativen, hohen Werte. Durch den starken Sättigungsanstieg in Richtung der hohen Werte der Skala werden diese entsprechend der logarithmischen Skala „überbetont“. Durch die Vermeidung der Kombination von Rot und Grün ist das Schema auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit nutzbar und die Wirkungsklassen bleiben erkennbar.

Das Farbschema ist nutzbar zur visuellen Darstellung von Schallimmissionen in dB, z. B. dem Lärmindex  $L_{den}$ . Im Farbschema wurden psychoakustische Grundlagen (Kapitel 3) mit jenen der Farbwahrnehmung (Kapitel 4.3) verschmolzen, um daraus Prinzipien für ein bestmögliches Ergebnis abzuleiten. Zusätzlich flossen Grenzwerte für die Gesundheitsgefährdung ein (Kapitel 1.2), die in drei Wirkungsklassen wiedergespiegelt werden. Die Verwendbarkeit des Schemas für Nutzer mit Farbenfehlsichtigkeit und die Übertragbarkeit auf andere EU-Staaten wurden insbesondere berücksichtigt und im Zuge der Studien getestet (siehe Kapitel 7 und 8).

Das Schema wurde dem „Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI“ zur Überarbeitung der DIN 45682:2002 „Schallimmissionspläne“ (NA 001-02-03-20 UA) vorgelegt. Zusätzlich wurde das Farbschema auf der Webseite *Coloringnoise.com*, inklusive Erläuterung und Farbcodes, veröffentlicht und ist somit für die gesamte Öffentlichkeit zugänglich und verwendbar.



**Abbildung 9.1:** Das finale Farbschema besteht aus assoziativen Farben in drei Wirkungsklassen und folgt einer systematischen Helligkeits- und Sättigungsverteilung.

- In der Kartografie gibt es keine grundlegenden Systematiken für das Farbdesign komplexer Fragestellungen, die, beginnend mit einer Anforderungsanalyse, zielgerichtet vorgehen. Diese Arbeit kann als **systematischer Ansatz** zur Entwicklung eines Farbdesigns, auch für andere komplexe Fragestellungen abseits von Lärmkarten, gesehen werden.

**Die zusammengefassten Hauptkenntnisse, die im Zuge der Arbeit erlangt wurden und zur Darstellung der Schallimmissionen Relevanz haben, sind folgende:**

- Lärm ist ein psychosoziales Konzept und daher abhängig von der Wahrnehmung der Betroffenen. Die Darstellung an die physikalischen Messungen *und* die „weichen“ Faktoren der Lärmwahrnehmung anzupassen, ist eine Herausforderung.
- Der zu verwendende Index  $L_{den}$  ist aus akustischer Sicht ein geeigneter Indikator für Umgebungslärm (vergl. Europäische Kommission, 2000, S. 33): „In terms of all the criteria  $L_{den}$  would be a good choice for assessing noise impact due to sources which operate more or less continuously over long periods of time“. Dennoch wird der Index vielfach kritisiert (vergl. z. B. Berkemann, 2009). Dieser berücksichtigt die Belästigung, sowie mögliche Schlafstörungen, spiegelt aber z. B. die psychoakustische Eigenschaft der wahrgenommenen Lautheit oder das Einwirken mehrerer Lärmquellen nicht wieder. Zum Vergleich der Lärmbelastung in europäischen Ballungsräumen ist dieser Index hilfreich, zur Beschreibung der *konkreten* Situation *einzelner* betroffener Bürger ist jedoch zu hinterfragen, ob diese Information ausreicht. Hilfreich könnte z. B. *zusätzliche* Information in Form von Kartenebenen (z. B. Anzahl der Betroffenen), Grafiken oder Diagramme sein, die die spezielle Charakteristik einer Lärmquelle an einem Ort beschreibt, z. B. die Frequenz von intermittierenden Geräuschen oder die zeitliche Verteilung in 24 Stunden.
- Die Vorgaben, die in der RL 2002/49/EG zur kartografischen Gestaltung gemacht werden, sind nicht ausreichend. Nationale Vorgaben in Deutschland sind keine wesentliche Ergänzung. Lärmkarten sind daher sowohl innerhalb Deutschlands, als auch Europas sehr heterogen, was die kartografische Gestaltung betrifft. Den Kommunen *kann* diese Autonomie zwar entgegenkommen, für die Vergleichbarkeit der Karten zur Lärminderung hingegen ist das nachteilig.
- Lärmkarten sind zur Bewertung der Lärmsituation und zur Lärmaktionsplanung zu erstellen, aber sie werden vielseitig als Informationsmittel eingesetzt. Die kartografische Gestaltung ist an den jeweiligen Nutzungskontext und die Stufe im Beteiligungsprozess anzupassen, z. B. ob die Karte zu Beginn des Beteiligungsprozesses als Flyer an die Haushalte geht, ob sie zur Legitimation der Maßnahmen bei einer Präsentation verwendet wird, oder ob sie zur Selbstauskunft in einem Lärm-GIS im Internet veröffentlicht wird. Anforderungen können dabei stark variieren.
- Farben eignen sich gut zur flächenhaften Darstellung der Isophonen. Sie sind eine gewohnte grafische Variable und bieten die Möglichkeit, den dargestellten Sachverhalt durch bewussten Einsatz von Farbassoziationen verständlicher zu gestalten. Sie heben sich i. d. R. gut vom Hintergrund ab und können, im Gegensatz zu Schraffur, auch für kleine Flächen verwendet werden.

- Farbschemen haben einen Einfluss auf die Interpretation der Lärmbelastung in Lärmkarten (vergl. Kap. 7.2). Diese Ergebnisse legitimierten die Entwicklung eines neuen Farbschemas und zeigten die Notwendigkeit auf, Farbassoziationen bei der Wahl von Farbschemen zu berücksichtigen.
- Farbassoziationen zeigten sich als Grundlage zur Zuordnung zu den Wirkungsklassen. Ein zu kühler Ton zur Darstellung der hohen Werte, z. B. Blau, eignet sich daher nicht. Ebenso ist ein kräftiges Rot in der Mitte des Schemas ungeeignet, beides ist Teil des DIN-Schemas.
- Um das Schema für Nutzer mit Farbenfehlsichtigkeit lesbar zu machen, muss die gemeinsame Verwendung von Rot und Grün vermieden werden, oder der Blauanteil von zumindest einer der Farben erhöht werden. Im vorgestellten Schema wurden ein Blaugrün und ein Lila für die unterste und oberste Wirkungsklasse verwendet, die mittlere Wirkungsklasse wird orange dargestellt. Durch die geringen Helligkeitsabstufungen traten Verwechslungen zwischen benachbarten Farben derselben Wirkungsklasse auf, nicht aber zwischen Farben verschiedener Wirkungsklassen.
- Der große Umfang der Werte, bedingt durch die logarithmische Skala, kann nur anhand von Farbtonübergängen dargestellt werden. Komplementäre Farben wurden als repräsentativ eingeschätzt, um weit auseinanderliegende Werte darzustellen.
- Da aufgrund der logarithmischen Skala des Schalldrucks höhere dB-Werte einen größeren Beitrag zum Mittelwert leisten, müssen diese Werte durch starke Sättigung stärker betont werden.

### **Betrachtung der bei der Entwicklung des Farbschemas erlangten Erkenntnisse in Hinblick auf bestehende kartografische Theorie**

Entsprechend der kartografischen Theorie werden Skalen mit ansteigenden Werten mit sequentiellen, also von hell nach dunkel verlaufenden Schemen repräsentiert, nicht anhand von bipolaren Schemen, ebenso sind „Regenbogenschemen“ verpönt (vergl. Borland und Taylor, 2007 oder Light und Bartlein, 2004). In dieser Arbeit jedoch wurden die bestehenden, allgemeinen Theorien als nicht zielführend beurteilt und ein größeres Gewicht auf eine anwendungsfall- und nutzerorientierte Vorgehensweise gelegt. Der spezielle Anwendungsfall zeichnet sich durch die zielgerichteten Handlungen zur Erreichung der Nutzungsziele, z. B. Überblick über die Verteilung der Werte, die Zielgruppe, z. B. die Öffentlichkeit, und das Datenformat, z. B. äquidistante Klassen, die durch logarithmieren entstanden, aus.

Der erste Punkt, der daher nicht in Einklang mit der Theorie umgesetzt wurde, ist die Anzahl der Klassen. Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, sind sich die Kartografen nicht einig, wie viele Klassen der Gebrauchstauglichkeit am besten dienen. Mit der Einführung von 10 Klassen wurde der Faustregel 7 plus/minus 2 widersprochen, was zwei Gründe hatte:

- Erstens werden in der Praxis gerne viele Klassen dargestellt, was nicht zuletzt aufgrund einer Orientierung an der Klassenzahl im DIN-Schema der Fall sein dürfte (vergl. Kap. 6.2).

- Zweitens können bei regelmäßiger geografischer Anordnung der Klassen mehrere Klassen dargestellt werden, da z. B. der Simultankontrast verringert ist. Im Zuge dieser regelmäßigen Anordnung kann es bei Wahl geeigneter Farben und Darstellung einer größeren Anzahl von Klassen sogar eher zu einem plastischen Effekt kommen, der das Erkennen der Verteilung der Werte erleichtert.

Entsprechend der Studie zur Überprüfung der Unterscheidbarkeit (vergl. Kap. 7.3) hatten Nutzer auch bei Darstellung von 9 bis 10 Klassen keine Probleme, Werte in hohem Maße richtig abzulesen. Es wäre daher sinnvoll, Angaben über die Klassenanzahl in der kartografischen Theorie zu hinterfragen und zu spezifizieren, denn die Anzahl der Farbtonübergänge, die Variation der Sättigung und die räumliche Anordnung der Werte bzw. Farben nehmen Einfluss auf die Unterscheidbarkeit und Zuordnung zur Legende. Nicht zuletzt nimmt auch das implizite Hintergrundwissen zum Kontext Einfluss auf die Interpretation, wie Ergebnisse der Studien zeigten (vergl. Kap. 7.4 und 7.5).

Zum Zweiten wurde von der Empfehlung abgewichen, für ansteigende Werte ein sequentielles Schema mit maximal einem Farbtonübergang zu wählen. Das wurde wie folgt begründet:

- Bei einer größeren Klassenanzahl ist es aufgrund mangelnder Unterscheidbarkeit nicht zielführend nur ein bis zwei Farbtöne zu wählen.
- Da die Werte eine logarithmische Charakteristik haben, wurde durch die Verwendung mehrerer Farbtöne eine große Wertespanne suggeriert. Vor allem sehr konträre Farben, wie Komplementärfarben, lassen auf große Unterschiede zwischen den Werten schließen.
- Die Farbtöne wurden zur Unterstützung einer „intuitiven“ Interpretation eingesetzt und daher assoziativ zur Belastung gewählt.

Entsprechend der erlangten Ergebnisse ist daher zu hinterfragen, wie zeitgemäß die Empfehlungen zu einfarbigen Farbschemen sind, v. a. in Hinblick auf die Assoziation mit den Farben sowie Repräsentation von Klassenbreiten und Wertespannen.

Der dritte Punkt, der in der kartografischen Theorie bisher nicht im Speziellen behandelt wurde, ist die Auswirkung der Sättigung auf die Interpretation der Karteninhalte. Zwar definiert Brewer (1994), dass es in sequentiellen Schemen eine Variation der Helligkeit *und* Sättigung geben soll und Imhof (1965) betont die Notwendigkeit eines ausgewogenen Verhältnisses der Sättigung verschiedener Farben, aber die Sättigung verdient aufgrund der erlangten Ergebnisse eine genauere Betrachtung. Es zeigte sich, dass die Sättigung und Helligkeit in Kombination einen größeren Einfluss auf die Interpretation von Karteninhalten hatten als die Farbtöne (vergl. Kap. 7.2).

## 9.2 Zusammenfassende Beantwortung der Forschungsfragen<sup>1</sup>

- Lärmkarten können kartografisch verbessert werden, indem die Anforderungen, die an den jeweiligen Nutzungskontext (Kartenformat, Ausgabeform, konkrete Ziele, Zielgruppe etc.) gestellt werden, bei der kartografischen Gestaltung berücksichtigt werden. Aspekte betreffen die Hintergrundkarte, die Kartensymbole, die Kartenbeschriftung, die Kartenrandangaben und die kartografische Variable Farbe. (LF)
- Für die kartografische Betrachtung von Lärmkarten sind v. a. funktionale und nicht-funktionale Anforderungen wichtig. Letztere betreffen die im Spiegelpunkt darüber aufgezählten Aspekte. Die Anforderungen an die Farben sind die Unterscheidbarkeit, die visuelle Zuordenbarkeit und die sinngemäße Zuordnung der Farben zur Legende und Interpretation der Lärmsituation. (F 1)
- Entsprechend der Literaturrecherche und den Ergebnissen aus den vier Nutzerstudien eignet sich zur Darstellung des  $L_{den}$  und des  $L_{night}$  ein Farbschema mit assoziativen Farben und deutlichen Farbtonübergängen, da diese in der Lage sind eine größere Wertespanne darzustellen. Zusätzlich sollte das Schema eine systematische Helligkeitsabnahme, sowie Sättigungszunahme haben, sodass höhere Werte aufgrund der visuellen Hierarchie wesentlich stärker aus dem Kartengefüge hervortreten. Das ist auch im Sinne der logarithmischen Skala, durch die höhere Werte in größerem Maße zum Mittelungspegel beitragen. (F 2)
- Farbschemen wirken sich *signifikant* auf die Einschätzung der Lärmbelastung aus (vergl. Kap. 7.2). Schemen ohne klare Farbtonübergänge, die mit hellen Farben beginnen, führten zu einer geringeren Einschätzung der Lärmbelastung. Zwischen warmen und kalten Farben wurde kein Unterschied beobachtet. (F 2.1)
- In derselben Studie zeigte sich kein Effekt der Einfärbung der Klasse, die die niedrigsten Werte repräsentiert. (F 2.1.1)
- Nutzerstudie 3 (vergl. Kap. 7.4) über Assoziationen mit den Farben der Entwicklungsstufe III zeigte, dass Farbgruppen und einzelne Farbtöne aufgrund ihrer Assoziation den entsprechenden Wirkungsklassen und somit der Stärke der Lärmbelastung zugeordnet werden können. (F 2.2 und 2.3)
- Oben genannte Nutzerstudie zeigte auch, dass nur Farbtonübergänge und starke Farbe-an-sich-Kontraste, v. a. Komplementärkontraste große Differenzen zwischen den Werten darstellen können. Die logarithmische Skala und psychoakustische Charakteristika, wie die Lautheit, lassen sich schlecht gemeinsam in einem Schema abbilden. (F 2.2.1)
- Die generelle Unterscheidbarkeit der Farben der Entwicklungsstufe II konnte mit Erfolgsraten um 90 Prozent bzw. 83 Prozent in einer Onlinestudie bestätigt werden (vergl. Kap. 7.3). Die Unterschiede zwischen den drei Farbschemen

<sup>1</sup> Einen Überblick in welchem Kapitel die jeweiligen Forschungsfragen ausführlich behandelt werden gibt Tabelle 5.1.

sind laut einer ANOVA *nicht* signifikant. Der Anteil der Nutzer mit Farbenfehlsichtigkeit wurde mit 4 von 15 Teilnehmern bewusst hoch angesetzt, dennoch kam es zu keinen grundsätzlichen Verwechslungen von Farbtönen, daher ist das Farbschema auch für Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit unterscheidbar. (F 2.4 und 2.5)

- Die Erfassung der relativen Verteilung der Schallimmissionen wurde in Studie 4 überprüft, in der von den Teilnehmern Hotspots, d. h. Gebiete mit besonders hoher Lärmbelastung, in Papierkarten eingezeichnet werden sollten. Zwischen dem Farbschema der Entwicklungsstufe III und dem DIN-Schema gibt es nur geringe Unterschiede. Bei Karten im DIN-Schema wurden die in Rot eingezeichneten Flächen öfters hervorgehoben. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass durch die Anordnung der Isophonen der Verlauf der Straßen offensichtlich ist und die Interpretation dadurch beeinflusst wird. Mit beiden Schemen wurden große Flächen öfters hervorgehoben. Diese sind zwar offensichtlicher, aber die Lärmbelastung ist aufgrund der Größe der Fläche nicht höher, außer man berücksichtigt die Flächengröße oder die Anzahl der Bewohner bei der Definition von Hotspots oder der Lärmbelastung. (F 3)
- Die Ergebnisse sind grundsätzlich auf andere Anwendungsfälle übertragbar, sofern die Werte ähnliche Charakteristika aufweisen, wie z. B. wesentlich höhere Gefahr bei höheren Werten und eine Art Nullpunkt, ab dem die Gefahr eintritt (F 4). Ebenso ist das Farbschema in anderen Staaten der Europäischen Union anwendbar, wenn man die Farbassoziationen als Kriterium betrachtet. Es wurden zwischen Bewohnern verschiedener Regionen und der Beantwortung der Studie 3 über die Farbassoziationen in deutscher und englischer Sprache *keine* signifikanten Unterschiede gefunden. Der Anforderungskatalog allerdings, müsste entsprechend der Praxis der Lärmaktionsplanung im jeweiligen Land angepasst werden. (F 4.1)
- Grundsätzlich kann die Darstellungsweise für andere Lärmquellen übernommen werden, da dieselben Indizes dargestellt werden (F 4.2). Eine genauere Überprüfung am Beispiel Fluglärm zeigte aber, dass sich Fluglärm aufgrund seiner Charakteristika so stark von Verkehrslärm unterscheidet, da er durch kurze, sehr starke und sich wiederholende Lärmereignisse gekennzeichnet ist und sich deshalb die Frage stellt, ob es Sinn macht, denselben Index darzustellen. Das Hauptproblem ist, dass der Mittelwert, der im Index verwendet wird, die extremen Maxima des Fluglärms nicht gut spiegelt und damit die Belästigung, die bei Fluglärm wesentlich größer wahrgenommen wird als bei Verkehrslärm gleicher Stärke, nicht gut repräsentiert. (F 4.2.1 und 4.2.2)
- *Crowdsourced Data* unterscheidet sich sehr stark von amtlichen Lärmdaten: Das Format ist ein anderes, zumeist werden *kurze* Messungen an *einem* Ort gemacht - die Verlässlichkeit ist damit nicht immer gewährleistet. Der wesentliche Unterschied ist, dass die mit den Daten verbundenen geometrischen, thematischen und temporalen Unsicherheiten kommuniziert und in der Darstellung berücksichtigt werden müssen. Eine flächenhafte Darstellung, d. h. eine Aggregation der Punktdaten auf Flächen, ohne die Grundgesetze der Akustik zu berücksichtigen, und eine Darstellung der Daten im Stil strategischer Lärmkarten ist nicht zu empfehlen. (F 4.3)

### 9.3 Diskussion und Ausblick<sup>2</sup>

Diese Arbeit gibt aufgrund der großen Forschungslücke über die kartografische Gestaltung von strategischen Lärmkarten und Karten zur Öffentlichkeitsbeteiligung einerseits einen breiten Überblick und geht dann im Detail auf *einen* sehr speziellen Aspekt, die Farben zur Darstellung der Isophonen entsprechend der RL 2002/49/EG, ein. Die Ergebnisse warfen viele Punkte zur Diskussion und Fragen bezüglich weiterer Aspekte auf, die davor nicht augenscheinlich waren. Sie werden nachfolgend behandelt.

#### Unerwartete Erkenntnisse

Zu Beginn der Arbeit sollte die logarithmische Skala des Schalldrucks komplett unberücksichtigt bleiben, da ihr Einfluss aufgrund der äquidistanten Klassen der dB-Werte, als nachrangig betrachtet wurde. Bei der schrittweisen Erarbeitung der Inhalte und Konzipierung des Farbschemas rückte die Bedeutung in den Vordergrund, da beispielsweise gleichabständige Farben zur Darstellung *eigentlich* nicht gleichabständiger Werte ungeeignet sind. Vor allem in der ersten Studie, wo es um die Mittelwertbildung einer Region ging, wurde deutlich, dass höhere Werte aufgrund der logarithmischen Skala mehr zum Mittelungspegel beitragen und Flächen, die höhere Werte repräsentieren somit visuell stärker betont werden müssen.

Ebenso sollten anfangs andere Lärmquellen, wie Fluglärm, vernachlässigt werden, da die vollständige Übertragbarkeit der Ergebnisse vorausgesetzt wurde. Es wurde angenommen, dass die Übertragbarkeit auf andere EU-Staaten einer genauen Betrachtung bedarf, diese ist aber v. a. ein administratives Problem, nicht so sehr ein kartografisches. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Lärmquellen hingegen, betrifft die Kartografie. Zwar können die Farben zur Darstellung der Isophonen für andere Lärmquellen verwendet werden, nach einer Recherche wurde aber klar, dass zusätzlich die Darstellung weiterer Eigenschaften, die die Lärmquelle charakterisieren, hilfreich wäre. Aus diesem Grund wurde ein Interview mit von Fluglärm Betroffenen durchgeführt. Die Ergebnisse halfen, das Gesamtkonzept Lärm besser zu verstehen und zeigten Facetten auf, die für die kartografische Darstellung berücksichtigt werden können.

#### Welche Informationen benötigt die Öffentlichkeit?

Diese Arbeit nahm die gesetzlichen Vorgaben als gegeben an und hinterfragte sie nicht grundsätzlich, unter anderem um die praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse zu sichern. Dennoch trat die Frage auf, welche Aspekte des breiten Themas Lärm von der Öffentlichkeit benötigt werden, um Lärmsituationen und Lärmkarten zu verstehen. Auch im Hinblick auf das Farbschema stellte sich diese Frage, wie am Ende der Arbeit klar wurde, denn es galt zu entscheiden, welcher Aspekt hervorgehoben werden sollte: die logarithmische Charakteristik, die Gesundheitsgefährdung, die Belästigung oder die Veränderung der wahrgenommenen Lautheit.

Willich et al. (2006) fanden heraus, dass das Herzinfarktrisiko tatsächlich eher mit der Höhe des Schalldruckpegels als mit der subjektiven Belastung zusammenhängt. Um beispielsweise diese Information darzustellen, wäre eine Karte ausreichend, die den Schalldruckpegel darstellt und die zeitliche Dimension, die zu dem Risiko führt.

<sup>2</sup> Umfangreicher werden die einzelnen Aspekte in den Zwischenresümées der Kapiteln diskutiert.

Zur grundsätzlichen Frage, ob Kennwerte aus der Akustik zur Darstellung in Karten zur Öffentlichkeitsbeteiligung „ausreichen“, gibt es, den Kenntnissen der Autorin entsprechend, keine wissenschaftlichen Arbeiten. Es bedarf daher grundsätzlicher Forschung, die behandelt, wie vorhandene Lärmkarten interpretiert werden, welche Erkenntnisse daraus abgeleitet werden und ob damit die Fragen der Öffentlichkeit beantwortet werden können. Als Methode eignen sich Beobachtungen bei der Karteninterpretation mit *think aloud*, unstrukturierte Interviews und das Erstellen von mentalen Karten (vergl. Yvroux und Bord, 2011).

Des Weiteren ist zu beachten, dass es eine Verzerrung zwischen den Eindrücken aus der Karte und der subjektiven Wahrnehmung der Realsituation Betroffener geben kann (vergl. z. B. Airports Commission, 2013), die sich mitunter negativ auf das Vertrauen in die Karten und die Lärminderungsplanung auswirken kann, wie es z. B. im Fokusgruppeninterview zum Ausdruck kam (vergl. Kap. 8.3). Diese Verzerrung entsteht u. a. dadurch, dass jeweils nur eine Lärmquelle dargestellt wird und wird beeinflusst vom Hintergrundwissen und den Erwartungen der Öffentlichkeit an die Karten. Ein Interview zeigte, dass von Fluglärm Betroffene ihre Situation nicht gut durch strategische Lärmkarten mit Isophonen präsentiert sahen, sondern z. B. eher durch Karten der „Radar Flight Tracks“ (vergl. Abb. 8.2), da dadurch die Flugrouten deutlich werden und durch deren Dichte die Anzahl der Flugzeuge, die entscheidend für die Belästigung ist.

Es stellt sich folglich die Frage, welche Informationen für die interessierten Bürger, die Leidtragenden oder die Wähler *tatsächlich* von Nutzen sind: die physikalischen Werte, die die subjektive Wahrnehmung von Lärm weitgehend vernachlässigen, oder Information, die die subjektiv wahrgenommene Realsituation der Bürger spiegelt, aber von Experten bisher nicht als objektive Entscheidungsgrundlage akzeptiert wird. Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen darauf schließen, dass eine Kombination aus beidem sinnvoll wäre. In Hinblick darauf sollte überprüft werden, welche Methoden sich eignen, um Daten zur Abbildung der Lärmsituation aus Nutzersicht zu erhalten: *Public Participation GIS*<sup>3</sup> (PPGIS), *Voluntary Geographic Information*<sup>4</sup> (VGI) oder *Scitizen Science*<sup>5</sup>. Entscheidend ist es auch den Mehrwert zu definieren, den die erhobenen Informationen zusammen mit amtlicher Information bieten.

Von sehr großer Bedeutung sind auch die kombinierte Darstellung mehrerer Lärmquellen und die Verknüpfung der dB-Werte mit der Anzahl der Betroffenen. Diese Information würde zu einer Gewichtung führen, die dB-Werten, von denen mehr Nutzer betroffen sind, einen höheren Stellenwert einräumt und „Misinterpretationen“, wie in Exkurs 3 (S. 226) beschrieben, entgegenwirken.

---

<sup>3</sup> Ist die Beteiligung der Öffentlichkeit in speziellen Anliegen durch von Experten zur Verfügung gestellte Geografische Informations Systeme (GIS).

<sup>4</sup> Sind freiwillig erhobene geografische Informationen, deren Erhebung und Nutzbarmachung von den Laien selbst organisiert werden (Goodchild, 2007).

<sup>5</sup> Ist wissenschaftliche Forschung, die von der breiten Öffentlichkeit selbständig oder in Kooperation mit professionellen Wissenschaftlern oder wissenschaftlichen Einrichtungen durchgeführt wird (Oxford English Dictionary, 2014).

## Was sind Ziel und Aussage der Darstellung?

Neben der Frage, welche Information die Nutzer benötigen, um eine Lärmsituation zu verstehen, ist die Frage zu klären, was Lärmkarten entsprechend RL 2002/49/EG konkret darstellen. In der END wird nur das allgemeine Ziel dargelegt, nicht aber was Lärmkarten genau darstellen sollen. Mit RL 2002/49/EG (Abs. 1.1) „soll ein gemeinsames [EU-weites] Konzept festgelegt werden, um vorzugsweise schädliche Auswirkungen, einschließlich Belästigung, durch Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu mindern“. Laut der European Environmental Agency ist  $L_{den}$  „a descriptor of noise level based on energy equivalent noise level (Leq) over a whole day with a penalty of 10 dB(A) for night time noise (22.00-7.00) and an additional penalty of 5 dB(A) for evening noise (i.e. 19.00-23.00). [definition source: Adapted from: EEA. 2001. TERM 2001. Copenhagen]“ (EEA, 2001). Ob er die Lautstärke, die Belästigung oder ähnliches ausdrückt, wird nicht dargelegt. Laut McDonald (2013) ist  $L_{den}$  ein Maß der Belästigung. Bezugnehmend auf die Öffentlichkeitsbeteiligung drückt er aus: „The  $L_{den}$  indicator in particular can be misleading, and any tendency to take  $L_{den}$  as a direct measure of loudness, rather than an indicator of annoyance, must be avoided. A full understanding of what a noise map is showing is key to accessing the information and subsequently making a meaningful contribution“ (2013, S. 345). In der Praxis werden die Karten oft missinterpretiert und als Darstellung der Lautstärke in Städten angeboten (siehe Exkurs 2 und 3, S. 46 bzw. 226).

Um ein Urteil über die Gebrauchstauglichkeit der Karten zur Kommunikation mit der Öffentlichkeit zu fällen, müsste die konkrete Kartenaussage und das Ziel, welches die Karten laut Vorgabe haben, mit der Interpretation der Kartennutzer verglichen werden. Zielführend wäre eine Abstimmung des offiziellen Kartenziels und der Erwartungen der Nutzer. Sollte das nicht möglich sein, ist das Ziel und der Anwendungsrahmen der Karten von offizieller Seite offenzulegen, sodass eine entsprechende Interpretation gewährleistet ist.

### Exkurs 3: Die lauteste Stadt Deutschlands

In dieser Arbeit wurde des Öfteren betont, dass der Lärmindex  $L_{den}$  ein Maß für die Belästigung und der  $L_{night}$  ein Maß für die Schlafstörung ist und das Ziel der Umgebungslärmrichtlinien ein EU-einheitliches Vorgehen zur Vermeidung und Bekämpfung der schädlichen Auswirkungen durch die Lärmbelastung, insbesondere auch der Lärmbelästigung, ist.

In der Praxis zeigt sich jedoch oft eine etwas andere Interpretation: Anhand von Lärmkarten wird die „Lautstärke“ eines Ortes interpretiert. So machte im Jahr 2011 Hannover als lauteste Stadt Deutschlands Schlagzeilen (Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 2011). Zu diesem Ergebnis kam das *Fraunhofer-Institut für Bauphysik* in einer Studie im Auftrag der *GEERS-Stiftung*, nachdem erstens ungeeignete Berechnungsmethoden verwendet wurden und zweitens unberechtigte Schlüsse daraus gezogen wurden. Zu ihren Ergebnissen kamen sie, indem sie zuerst die Werte der Lärmkarten für Straßen-, Bahn- und Fluglärm zusammen führten und daraus den Anteil der Fläche der 27 Ballungsräume mit einem Wert größer als 55 dB berechneten. Auf dieser Basis entstand das „Städte­lärm­ranking 2011“ mit Hannover als der lautesten Stadt Deutschlands, was für viele nicht nachvollziehbar war. Das Problem an der Berechnung war, dass die Bevölkerungszahlen nicht in die Analyse flossen, sodass Autobahnen,

die durch unbesiedelte Gebiete am Stadtrand gehen, das Ergebnis „verfälschten“. Zumindest kann aus diesem undifferenzierten Ergebnis nicht die Aussage „lauteste Stadt“ abgeleitet werden, zumal die Werte mit der Lautstärke, wie sie die meisten Laien interpretieren, nichts zu tun haben. (vergl. Kap. 3.2.4)

### Zugänglichkeit der Lärminformation

Sobald das Ziel der Karten und die Erwartungen der Kartennutzer aufeinander abgestimmt sind und Kennwerte und eine grafische Sprache definiert wurden, ist es sinnvoll, zu überprüfen, ob die Information für die Nutzer zugänglich ist. Werden Karten oder Vorgaben zur kartografischen Gestaltung publiziert, wird empfohlen, diese vor Veröffentlichung auf Gebrauchstauglichkeit zu testen. Dabei ist die erste Stufe die physische Zugänglichkeit der Webkarten, die mitunter durch Dateiformat und verwendete Technologie bestimmt wird. Hier stellt sich auch die Fragen, ob die Bevölkerung ausreichend darüber informiert ist, dass es Lärmkarten gibt und wo diese zu finden sind.

Die zweite Stufe, die aus kartografischer Sicht Priorität hat, ist die inhaltliche Zugänglichkeit, d. h. ob die präsentierten Werte und verwendeten Begriffe von den Nutzern richtig interpretiert werden. Das lässt sich ausschließlich anhand empirischer Methoden testen, einen Überblick darüber gibt Roth (2011). Für Lärmkarten wurde diese inhaltliche Zugänglichkeit bisher noch nicht umfangreich analysiert.

### Fachbegriffe

In den Bereich der Zugänglichkeit fällt auch die Verwendung von Begriffen, insbesondere Fachbegriffen, die für die Nutzer verständlich sind. Vor allem im Kontext der Lärmkarten ist das eine besondere Herausforderung, denn mit den korrekten Fachbegriffen, wie Schalldruckpegel, kann der Großteil der Bevölkerung wenig anfangen und die umgangssprachlichen Begriffe, wie Lärmpegel, sind aus akustischer Sicht nicht klar zu definieren und somit Interpretationssache. Wäre klar, wie Nutzer Karten und Begriffe interpretieren, könnte bei der Darstellung und Beschreibung der Inhalte darauf eingegangen werden. Um Erkenntnisse zu erhalten, müssten die Informationsbroschüren der Kommunen, sowie die Webauftritte im Hinblick auf Wortwahl und Formulierungen analysiert werden.

### Farbwahrnehmung

Farben entstehen im Gehirn, physikalisch messbar sind lediglich die Wellenlängen, die die Reize verursachen. Welche Empfindung im Gehirn entsteht, kann nicht genau nachvollzogen werden: „The same color in two different contexts is not the same color. [...] This means that the identity of a color does not reside in the color itself but is established by relation“ (Arnheim 1969, in Holtzschue, 2011, S. 94). Man kennt zwar den Einfluss benachbarter Farben und der Objektgröße auf die Wahrnehmung, bisher kann jedoch nur die Veränderung der Helligkeit einer innenliegenden Fläche mathematisch ausgedrückt werden (Lübbe, 2012). Dabei ist zu beachten, dass diese Formalisierung auf Testbeispielen beruht, die Anwendung auf die Kartografie ist jedoch kritisch zu betrachten, denn Nutzungsszenarien von Farbschemen sind vielfältig und die Flächen für welche diese Farben verwendet werden, sind nicht wie in einem Testszenario regelmäßig angeordnet.

Ein besonderes Ziel dieser Arbeit war es, ein Schema zu entwickeln, dass auch von Menschen mit Farbenfehlsichtigkeit zu verwenden ist, denn das Schema der DIN 18005-2:1991 ist für diese Nutzergruppe aufgrund der Verwendung von Rot und Grün nicht geeignet. Durch die Erhöhung des Blauanteils im Grün für niedrige Werte und die Verwendung von Lila für hohe Werte konnte eine Unterscheidbarkeit erreicht werden, die in Studie 2 bewiesen wurde (vergl. Kap. 7.3).

Auch unter den Nutzern, die laut Selbstauskunft keine Farbensehstörung haben, konnten Schwierigkeiten bei der Identifizierung von Ishiharatafeln beobachtet werden. Eine Abweichung vom „normalen“ Farbsehen ist häufig (vergl. Welsch und Liebmann, 2012, S. 270-271 und Schumann und Müller, 2000, S. 98), daher besteht Forschungsbedarf, diese „situativen“ Farbenfehlsichtigkeiten beim Lesen von Karten zu prüfen. Die Hypothese hierfür ist, dass sie durch die verschiedenen Blickwinkel und Kontrastverhältnisse bei einer Vielfalt an Endnutzgeräten auftreten.

Diese Arbeit beschäftigt sich sehr ziel- und zweckorientiert mit der Entwicklung und dem Test eines neuen Farbschemas. Es wurde deshalb keine Grundlagenforschung betrieben. In den Studien wurden Möglichkeiten getestet, die anhand der Anforderungsanalyse als sinnvoll für die praktische Anwendung gehalten wurden. Grundlegende Aussagen zur Verwendung von Farben in Karten können daraus nur bedingt abgeleitet werden. Für grundlegende Aussagen, die auf sämtliche Anwendungsfälle übertragbar sind, müssten die Erkenntnisse gezielt in Karten mit anderem Anwendungsgebiet geprüft werden. Dennoch wird nachfolgend eine erste Version von Aspekten auf denen eine Entscheidungshilfe zur Wahl von Schemen beruhen könnte, als Diskussionsgrundlage geboten.

#### Zur Entwicklung des Farbschemas

Um die Farbwahrnehmung und die Zuordnung zu den Werten einer ansteigenden Skala positiv zu beeinflussen, eignet sich v. a. eine kombinierte Variation der Helligkeit und der Sättigung. Diese schafft eine visuelle Hierarchie im Schema (vergl. Slocum et al., 2010), denn verschiedene Farbtöne erhalten aufgrund ihrer Eigenschaften ein unterschiedliches Maß an Aufmerksamkeit, v. a. Gelb wirkt gesättigter als andere Farbtöne und tritt deshalb oft aus dem Kartengefüge. Imhof (1965, S. 337) bringt es mit seiner Aussage auf den Punkt: „Ein Eidottergelb dieser ausgedehnten Stufe [er bezieht sich auf eine Klasse, die zahlreich vorkommt und somit eine große Fläche einnimmt] verwüestet oft ganze Atlanten“. Im resultierenden Schema wurde daher die Sättigung der Farben in der Mitte und zu Beginn des Schemas gering gehalten, um hohe Werte zu betonen.

Aufgrund der Farbwahrnehmung kann die große Spanne an Werten, die durch die logarithmische Skala entsteht, nur anhand eines Schemas dargestellt werden, das aus mehreren Farbtönen besteht, da die Farbtonübergänge auf eine große Spanne an Werten schließen lässt. Hierfür sprechen Ergebnisse aus den Studien 1 und 3 (Kap. 7.2 und 7.4). Gewählt wurden Farbtöne, die aufgrund ihrer Konnotation eine Interpretation ermöglichen: Grün mit hohem Blauanteil für die niedrigste Wirkungsklasse, Orangetöne für die mittlere Wirkungsklasse und Lilatöne zur Repräsentation der höchsten Werte. Die verschiedenen Farbtöne, bestehen jeweils aus wenigen Helligkeitsstufen und erleichtern dadurch die Unterscheidung der Farben und Zuordnung zu den Farbfeldern der Legende.

Das Farbschema dieser Arbeit wurde in einer „gewöhnlichen“ Nutzerumgebung entwickelt, ebenso wurden die Nutzerstudien absichtlich in einer „gewöhnlichen“ Umgebung getestet, damit die praktische Anwendbarkeit für die Öffentlichkeit gegeben ist. Dennoch wäre es zur zukünftigen Verwendung und Weitergabe des Schemas

notwendig, ein strukturiertes Farbmanagement anzuwenden, um die Darstellung durch Anwendung spezifischer Standards abzusichern, denn Farben werden je nach Bildschirm und Einstellungen unterschiedlich ausgegeben. Allerdings wären diese Standards in jeder publizierten Karte anzuwenden, d. h. es müssten bei den Anwendern der Standards, das sind die Kartenersteller, ein entsprechendes Bewusstsein und Kenntnisse vorhanden sein.

Weitere zukünftige Fragestellungen, das Farbschema für Lärmkarten betreffend, sind die Skalierbarkeit auf eine andere Anzahl von Klassen, oder einen anderen Wertebereich, sowie die kumulative Darstellung verschiedener Lärmarten. Letzteres ist eine besondere Herausforderung, da die Pegel verschiedener Quellen nicht aufsummiert werden dürfen und visuell ebendieser Eindruck nicht vermittelt werden darf.

### Formalisierung der Design-Aspekte für Farbschemen

Aus den Erfahrungen aus dieser Arbeit können als essentiell für die Entwicklung und Wahl eines Farbschemas folgende Punkte zusammengefasst werden:

- der Typ der dargestellten Elemente, Flächen, Linien, Punkte;
- das Skalenniveau, z. B. logarithmisch;
- die Spannweite der Werte und Abstände zwischen den Werten;
- die Größe der Elemente und ob diese gleichmäßig für alle Elemente ist;
- die Charakteristika des dargestellten Sachverhaltes, z. B. die wahrgenommene Lautheit verdoppelt sich bei einem Anstieg um 10 dB;
- die Assoziationen, die über die Werte dargestellt werden soll, z. B. die Gesundheitsgefährdung ab einem gewissen Wert, oder das Ausmaß der Belästigung;
- die geografische Verteilung der Werte, ob sie z. B. immer in der gleichen Abfolge auftreten, wie z. B. die Isophonen.

Zurzeit besteht noch keine Formalisierung, was diese Aspekte konkret für die Wahl der Farben bedeuten und wie sie gewichtet werden können. Fest steht, dass nicht alle Aspekte im gleichen Ausmaß berücksichtigt werden können, denn wird ein Aspekt hervorgehoben und mit Farben betont, kann das zu Lasten eines anderen Aspektes passieren. Ein Konzept für Entscheidungshilfen zum Farbdesign liefert Weninger (2015). *Tasks*, das Abstraktionslevel und emotionale und kognitive Aspekte spezifizieren das Farbdesign. Bei den *Tasks* wird zwischen *lookup tasks*, für die die Unterscheidbarkeit der Farben eine Priorität ist, unterschieden und der Mustererkennung, bei der die relative Verteilung der Werte zum Ausdruck gebracht werden soll. Hier kann entweder ein kritischer Schwellenwert betont werden, oder auch ein Ende der Skala, wodurch sich ein dreidimensionaler Effekt ergeben kann. Das Abstraktionslevel bestimmt die Wahl der Farbtöne, davon abhängig, ob das dargestellte Phänomen physisch und somit sichtbar ist (z. B. Landbedeckung), physisch aber unsichtbar (z. B. Lärm), oder keine physische Präsenz im Raum hat (z. B. Alter der Bevölkerung, Inflation). Bei physischen Phänomenen sind Farben zu wählen, die mit der visuellen Erscheinung assoziativ sind, bei nicht sichtbaren Phänomenen sollten Farben mit einem anderen Sinneseindruck assoziativ sein und bei nicht physischen Phänomenen sollte auf passende Assoziationen mit der Aussage der dargestellten

Information geachtet werden. Emotionale Aspekte umfassen die Verbesserung von *Look and Feel*, die Aufmerksamkeit für die Karte und des Wiedererkennungswertes, das Vertrauens in die Karte oder die Überzeugungskraft der Karte (ad. *persuasive maps* siehe 2.3.1).

### Kognitive Informationsverarbeitung

Kartennutzer organisieren Karteninhalte nach Regeln der Gestalttheorie, z. B. nach dem Gesetz der Nähe oder der Ähnlichkeit (Slocum et al., 2010). In der Entwicklung des Farbschemas wurde das berücksichtigt, indem Werte, die einer Wirkungsklasse angehören, in einem Farbton dargestellt werden, um ihre Ähnlichkeit auszudrücken. Bei den Aufgaben der Nutzerstudien jedoch wurde die Bedeutung der Gestalttheorie unterschätzt. Es zeigte sich klar, dass nicht nur die Farben zur Interpretation herangezogen wurden, sondern auch die Anordnung der Isophonen. Denn diese lassen auf die Straßen schließen, die wiederum mit höheren Pegeln assoziiert werden. Hohe Werte weisen auf das Straßennetz hin, d. h. es ist augenscheinlich wo die Straßen verlaufen. Studie 4 zeigte auch, dass v. a. bei großen Flächen eine hohe Belastung angenommen wird, was mit der Breite der Straßen in Verbindung stehen könnte. Um allgemeinere Erkenntnisse zu erhalten, könnten in Zukunft neben der Straßenverkehrskarten auch Karten anderer Lärmquellen getestet werden, denn Quellen, wie Flug- und Industrielärm, sind nicht linear wie Straßenlärm.

In der zukünftigen Forschung zum Thema muss die kognitive Verarbeitung von Information und die Einflüsse verschiedener grafischer Merkmale, neben den Farben, stärker berücksichtigt werden, um die visuelle Hierarchie an die thematische Relevanz anzupassen (vergl. Fabrikant et al., 2010 und Ooms, 2012). Im Sinne von Toblers (1970) erstem Gesetz der Geografie „Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things“ muss überprüft werden, welchen Einfluss Lage und Ähnlichkeit der Objekte auf die Interpretation haben.

Eine Möglichkeit, Einblicke in die unbewusste Vorgehensweise zur Ausführung von Tasks zu erhalten ist *Eye Tracking*, d. h. die Blickerfassung. In dieser Arbeit wurde die Ausführung der *Tasks* nur zielorientiert betrachtet. Von Interesse war, ob sie erfolgreich bewältigt werden konnten. *Eye Tracking* ist eine Möglichkeit die Interpretation, d. h. *wie* werden die *Tasks* ausgeführt, im Detail zu betrachten, um Einblicke darüber zu erhalten, welche Elemente Aufmerksamkeit erhielten, in welcher Reihenfolge und in welchem Ausmaß. Diese Ergebnisse würden dazu dienen, die Darstellung weiter zu optimieren.

### Vertrauen und Ästhetik

Besonders zur Öffentlichkeitsbeteiligung sind das Vertrauen und die emotionale Reaktion der Nutzer auf die Karten wichtig. Allerdings müssen emotionale Reaktionen, wie z. B. das Vertrauen, nicht mit dem ästhetischen Empfinden der Karten übereinstimmen. So riefen auch ungewohnte Anwendungen von Farben, wie z. B. Pink für Gewässer, starke Reaktionen hervor (Fabrikant et al., 2012), werden in Karten aber gewöhnlich nicht als ästhetisch empfunden. In diesem Bereich, Vertrauen und Ästhetik, ist sehr großer Forschungsbedarf gegeben, wobei nach Skarlatidou (2012) manchmal nicht allen Aspekten gleichzeitig gedient werden kann. Im Falle der Lärmkarten ist das Vertrauen der Nutzer stärker zu gewichten als eine bloße Ästhetik und stellt eine Grundanforderung für den Prozess der Öffentlichkeitsbeteiligung dar. Dennoch ist zu überprüfen, inwieweit diese beiden Aspekte zusammenhängen: „If

we want to communicate a particular message through a map, its overall aesthetics can help to convey this message by influencing how users interact with the map and their perception of the information it contains. Understanding how aesthetics influences map reading and perception can help us to design maps that are more effective and engaging“ (Kent et al., 2012, S. 14).

### Karteninteraktion und innovative Kartendarstellung

Im Zentrum der Betrachtung stand die geeignete grafische Darstellung, sie ist *eine* Grundvoraussetzung für die Gebrauchstauglichkeit. Nicht zu verachten sind die Möglichkeiten, die Kartennutzung und -interpretation durch Interaktion zu erleichtern. Vor allem bei Lärmkarten eignen sich die Funktion „Filtern“, um die Verteilung besser zu verstehen und Kontextinformation zu den einzelnen Isophonen, um die Legende zu ergänzen. Shneidermans (2005) Mantra „overview first, zoom and filter, then details on-demand“ sollte hierbei berücksichtigt werden, ebenso wie die *Tasks*, die das Interaktionsdesign bestimmen sollten.

Zum besseren Verständnis des raumzeitlichen Phänomens sind 3D Modelle und Animationen geeignet oder, wie (Manvell, 2013) empfiehlt, realistische Auralisationen, *Virtual Reality* Präsentationen, dynamische Echtzeit-Lärmkarten, oder jährliche Lärmkarten zum Vergleich. Auch um spezifische Charakteristika verschiedener Lärmquellen auszudrücken, kann eine 3D Darstellung hilfreich sein, denn im Gegensatz zu Verkehrslärm, der eher bodennahe belastet, ist die Belastung bei Fluglärm eher in den höheren Stockwerken zu erwarten. Kartennutzer könnten daraus aufschlussreiche Information auf die Ausbreitung von Lärm erhalten.

### Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die Übertragbarkeit der Farben für Schallimmissionen generell war das Ziel und diese wurde auch exemplarisch überprüft (vergl. Kap. 8), dennoch müssten die vielfältigen Anwendungsfälle im Detail betrachtet werden, um die Gebrauchstauglichkeit zu bestätigen. Da die Farbtöne für die Wirkungsklassen assoziativ gewählt wurden, können Probleme entstehen, wenn das Farbschema, z. B. zur Präsentation von C-bewertetem Schießlärm, verschoben wird. Die Farbassoziationen stimmen dann nicht mehr.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diese Arbeit nicht nur grundlegende Erkenntnisse zur kartografischen Darstellung in Lärmkarten liefert, sondern auch zur Darstellung von Karten für die Öffentlichkeitsbeteiligung allgemein und für das Farbdesign von Karten. Die vielen Diskussionspunkte, die aus den Ergebnissen abgeleitet wurden, sind als Problemstellung und Startpunkt für zukünftige Forschung zu sehen.

## 9.4 Kritische Reflektion der Methode

Diese Arbeit ist eine der ersten, umfangreichen über die kartografische Darstellung in Lärmkarten, wenn man jene, die vor der Umgebungslärmrichtlinie entstanden, nicht beachtet (Scharlach, 2002 und Glück, 1973). Es konnte daher nicht auf vorhandene, einschlägige Forschungsergebnisse aufgebaut werden. Anstelle dessen wurde ein sehr breiter Ansatz gewählt, zuerst die *Tasks* und Anforderungen systematisiert und das Thema Farben in diesem Kontext neu definiert. Durch die vielen Aspekte, die betrachtet und berücksichtigt werden mussten, wurden Arbeit und Fragestellungen komplex.

Der Methodenmix wird grundsätzlich als geeignet für ein nutzerorientiertes Vorgehen bewertet. Dieser eignete sich v. a. dazu, die verschiedenen Aspekte zu betrachten. Dennoch wäre es bei einer weniger komplex angelegten Arbeit zu empfehlen, einzelne Forschungsfragen nicht nur anhand der Ergebnisse jeweils einer Studie zu beantworten.

Das iterative Vorgehen beim Design des Farbschemas führte dazu, dass in jeder Studie ein weiterentwickeltes und daher verändertes Schema getestet wurde, die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Studien flossen in die Weiterentwicklung ein und ihre Übertragbarkeit wurde *angenommen*. Da das Schema von Grund auf neu definiert wurde, war kein anderes Vorgehen möglich, idealerweise müssten alle Anforderungen am Ende beim finalen Schema noch einmal explizit überprüft werden.

Die Zielgruppe des Schemas ist die breite Öffentlichkeit, die der Studien ebenso. Allerdings ist die erreichte Stichprobe nicht repräsentativ für die deutsche Bevölkerung, die die Zielgruppe der Karten ist. Das liegt v. a. an der Art der Rekrutierung der Teilnehmer über soziale Netzwerke, persönliche E-Mails und Verteiler der Universität. Für die speziellen Fragestellungen dieser Arbeit, in denen es um Farbwahrnehmung ging, ist das zu vernachlässigen, bei Studien, die die Interpretation des Karteninhalts betreffen, ist es hingegen sehr wichtig, eine repräsentative Zielgruppe mit Teilnehmern aller Altersgruppen und Bildungsgrade zu haben. Empfohlen wird auch ein ausgewogenes Verhältnis betroffener und nicht betroffener Teilnehmer, da sehr emotionale Reaktionen die Ergebnisse verzerren können. Bei der Überprüfung der Übertragbarkeit, auf Fluglärm z. B., wurde bereits die physische Präsenz eines Flugzeuges am Himmel als störend gewertet. Fraglich ist, ob nicht so stark Betroffene dieser Aussage zugestimmt hätten.

Alle Studien wurden als Feldstudien durchgeführt und auch das Schema auf unkalibrierten Bildschirmen entwickelt. Das hat den Vorteil, dass die Ergebnisse der Studien auf die Nutzung von Lärmkarten im Internet zu übertragen sind, aber den Nachteil, dass nicht kontrollierbar ist, wie die Inhalte den Nutzern angezeigt wurden und somit kausale Schlüsse erschwert werden.

Zum Test der Farbschemen und zur Durchführung der Studien stand sehr wenig Kartenmaterial zur Verfügung. Das hatte einerseits den Nachteil, dass die Farben nicht für diverse Varianten der Isophonen-Verteilung getestet werden konnten und andererseits, dass die Auswahl der Ausschnitte für die Studien sehr klein war, ebenso die Kartengröße. Auch hier ist bei Fortführung der Forschung darauf zu achten, dass in Nutzerstudien zur Karteninterpretation eine größere Auswahl an Kartenmaterial besteht.

# A

## Anhang

### A Glossar<sup>1</sup>

#### **Aktionsplan**

Ist ein „Plan zur Regelung von Lärmproblemen und von Lärmauswirkungen, erforderlichenfalls einschließlich der Lärminderung“ (RL 2002/49/EG)

#### **Ausarbeitung von Lärmkarten**

Ist „die Darstellung von Informationen über die aktuelle oder voraussichtliche Lärm-situation anhand eines Lärmindex mit Beschreibung der Überschreitung der relevanten geltenden Grenzwerte, der Anzahl der betroffenen Personen in einem bestimmten Gebiet und der Anzahl der Wohnungen, die in einem bestimmten Gebiet bestimmten Werten eines Lärmindex ausgesetzt sind“ (RL 2002/49/EG)

#### **Ballungsraum**

Bezeichnet „einen durch den Mitgliedsstaat festgelegten Teil eines Gebietes mit einer Einwohnerzahl von über 100 000 und einer solchen Bevölkerungsdichte, dass der Mitgliedsstaat den Teil als Gebiet mit städtischem Charakter betrachtet“ (RL 2002/49/EG)

Laut BImSchG (§ 47b Abs. 2) muss neben einer Einwohnerzahl von 100 000 Menschen eine Bevölkerungsdichte von mehr als 1000 Einwohnern pro Quadratkilometer bestehen.

#### **Belästigung**

Ist der „Grad der Lärmbelästigung in der Umgebung, die mit Hilfe von Feldstudien festgestellt wird“ (RL 2002/49/EG)

<sup>1</sup> Hier werden grundlegende, in der Arbeit wiederkehrende Begriffe erklärt, die sich auf Lärm beziehen. Spezielle Fachbegriffe, die nur im Zuge der Ausführungen in einzelnen Kapiteln benötigt werden, werden auch in diesen erklärt.

### **Beurteilungspegel**

Ist ein „Maß für die Stärke der Schallbelastung innerhalb der Beurteilungszeit. Der Beurteilungspegel setzt sich zusammen aus dem äquivalenten Dauerschallpegel und Zuschlägen bzw. Abschlägen (z. B. Impulszuschlag, Tonzuschlag, Zuschlag für Ruhezeiten, Zuschlag für bestimmte Geräusche und Situationen). Der maßgebende Wert des Beurteilungspegels ist der Wert des Beurteilungspegels, der zum Vergleich mit vorgegebenen Immissionswerten (z. B. Immissionswerten) bestimmt wird (in Anlehnung an DIN 45645-1)“ (DIN 45682:2002).

### **Differenzkarte**

In Differenzkarten wird die aktuelle Lage mit der zukünftigen Situation verglichen (RL 2002/49/EG).

### **Erhebungsgebiet**

Das „Gebiet, aus welchem Schallquellen, Hindernisse und Gelände berücksichtigt werden. Das Erhebungsgebiet umfasst zum einen das Untersuchungsgebiet sowie darüber hinaus den Bereich, aus dem Schallquellen in das Untersuchungsgebiet einwirken.“ (DIN 45682:2002)

### **Farbe**

„Farbe ist diejenige Gesichtsempfindung, durch die sich zwei aneinandergrenzende, strukturlose Teile des Gesichtsfeldes bei einäugiger Beobachtung mit unbewegtem Auge allein unterscheiden können. [Elektromagnetische] Strahlungen [im Wellenlängenbereich zwischen 380 und 780 nm], die durch unmittelbare Reizung der Netzhaut Farbempfindungen hervorrufen können, werden Farbreize genannt.“ (DIN 5033-7:1983-07)

### **Grenzwert**

Beschreibt „einen von dem Mitgliedstaat festgelegten Wert für  $L_{den}$  oder  $L_{night}$  und gegebenenfalls  $L_{day}$  oder  $L_{evening}$ , bei dessen Überschreitung die zuständigen Behörden Lärmschutzmaßnahmen in Erwägung ziehen oder einführen. Grenzwerte können je nach Lärmquellen (Straßenverkehrs-, Eisenbahn-, Flug-, Industrie- und Gewerbelärm usw.), Umgebung, unterschiedlicher Lärmempfindlichkeit der Bevölkerungsgruppen sowie nach den bisherigen Gegebenheiten und neuen Gegebenheiten (Änderungen der Situation hinsichtlich der Lärmquelle oder der Nutzung der Umgebung) unterschiedlich sein“ (RL 2002/49/EG).

### **Hauptverkehrsstraße**

„Eine vom Mitgliedstaat angegebene regionale (lt. [BImSchG], § 47b, Abs. 3, Landesstraßen), nationale (lt. § 47b, Abs. 3, Bundesfernstraßen) oder grenzüberschreitende Straße mit einem Verkehrsaufkommen von über drei Millionen Kraftfahrzeugen pro Jahr“ (RL 2002/49/EG).

### **Isophonen**

Linien gleicher Lärmbelastung

### **Lärmaktionsplan**

Siehe „Aktionsplan“

### **$L_{day}$**

Siehe „Lärmindex“

### **$L_{den}$**

Siehe „Lärmindex“

**L<sub>evening</sub>**

Siehe „Lärmindex“

**L<sub>night</sub>**

Siehe „Lärmindex“

**Lärmindex**

Ist „eine physikalische Größe für die Beschreibung des Umgebungslärms, der mit gesundheitsschädlichen Auswirkungen in Verbindung steht“ (RL 2002/49/EG). „Die Lärmindizes  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  und  $L_{night}$  sind die A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel in Dezibel gemäß ISO 1996-2:1987, [...], wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmung an allen Tagen in folgenden Zeiträumen erfolgen:  $L_{day}$ : 12 Stunden, beginnend um 6.00 Uhr;  $L_{evening}$ : 4 Stunden, beginnend um 18.00 Uhr;  $L_{night}$ : 8 Stunden, beginnend um 22.00 Uhr.“ (34. BImSchV §2)

$L_{den}$  kombiniert den A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel für alle Tage eines Jahres gemäß für bestimmte Perioden: 12 h Tageszeit ( $L_{day}$ , 6 bis 18h), 4 h Abendzeit ( $L_{evening}$ , 18 bis 22h) und 8 h Nachtzeit ( $L_{night}$ , 22 bis 6h). Die sensiblen Abend- und Nachtzeiten werden extra mit 5 dB bzw. 10 dB bezuschlagt.

**Öffentlichkeit**

Ist „eine oder mehrere natürliche oder juristische Personen sowie gemäß den nationalen Rechtsvorschriften oder Gepflogenheiten die Vereinigungen, Organisationen oder Gruppen dieser Personen“ (RL 2002/49/EG)

**Schallimmissionsplan**

Flächenhafte Darstellung von Schallimmissionen in einem Plan als Oberbegriff für die Bezeichnungen Mittelungspegelplan und Beurteilungspegelplan (DIN 45682:2002).

**Umgebungslärm**

Sind „unerwünschte oder gesundheitsschädliche Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr sowie Geländen für industrielle Tätigkeit gemäß Anhang I der Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung ausgeht“ (RL 2002/49/EG).

**Strategische Lärmkarten**

Ist „eine Karte zur Gesamtbewertung der auf verschiedene Lärmquellen zurückzuführenden Lärmbelastung in einem bestimmten Gebiet oder für die Gesamtprognose für ein solches Gebiet“ (RL 2002/49/EG)

B Materialien zur Bestandsanalyse der Lärmkarten der Ballungsräume

B.1 Fragenkatalog

## Lärmkarten der 27 Ballungsräume

Diese Umfrage enthält 40 Fragen.

### Allgemeines

**1 Stadt:**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**2 Einwohner:**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**3 Weblink zur Lärmkarte:**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**4**

**Bietet das Bundesland zusätzlich Lärminformation in einem Web-GIS an?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte Weblink angeben:
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**5 Format:**

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- GIS bzw. interaktive Karte
- PDF
- anderes Bildformat

## Kartenrandangaben

6

**Gibt es einen aussagekräftigen Kartentitel? (siehe Erläuterung)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Es gibt einen Titel, aber der ist nicht aussagekräftig.
- Nein, es gibt keinen gut sichtbaren Titel (eventuell eine kleine Überschrift über der Legende).

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**7 Gibt es eine vollständige Legende? (siehe Erläuterung)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein. Erläutern Sie bitte was fehlt:

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**8 Wie wird die Legende dargestellt?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

\* ((G2\_0002.NAOK == "1"))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- immer am Seitenrand
- über einen Button einzublenden
- sonstiges. Bitte erläutern:

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**9 Gibt es qualitative erklärende Ergänzungen zur Legende? (siehe Erläuterung)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Erläutern Sie bitte welche:
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**10 Gibt es einen Maßstab, in welcher Form?**

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Ja, grafisch
- Ja, numerisch
- Nein

**11 Gibt es einen aussagekräftigen Begleittext, eine Erläuterung oder einen weiterführenden Link über die dargestellte Information?**

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Ja, einen Begleittext oder eine Erläuterung.
- Ja, es wird ein Link angegeben.
- Nein

**12 Gibt es einen aussagekräftigen Begleittext, eine Erläuterung oder einen weiterführenden Link über Lärmkartierung allgemein?**

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Ja, einen Begleittext oder eine Erläuterung.
- Ja, es wird ein Link angegeben.
- Nein

**13 Wird der Herausgeber der Karte angegeben? (eigentlich die Stadt oder eine Behörde, eventuell eine beauftragte Firma)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

**14 Ist das Datum der Erhebung (gut sichtbar, nicht versteckt) angegeben? (in der Überschrift oder Erläuterung etc.)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**15 Werden Hinweise auf das Quellenmaterial gegeben (Quelle der Grundkarte, Quelle der Lärminformation)?**

Bitte wählen Sie alle zutreffende Einträge aus und schreiben Sie einen Kommentar dazu:

- Ja, es werden Quellen für beides angeführt.
- Es wird eine Quelle für die Grundkarte angeführt.
- Es wird eine Quelle für die Lärminformation angeführt.
- Nein.

**16 Wird eine Möglichkeit zur Kontaktaufnahme angeboten? (z.B. Kontaktformular, Angabe einer E-Mail Adresse etc.)**

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- Angabe einer E-Mail Adresse
- Kontaktformular
- Telefonnummer

**17 Gibt es eine Überblickskarte?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

### Kartographische Darstellung

**18 Sind in der Karte Landmarks dargestellt (z.B. öffentliche Gebäude, U- und S-Bahn Stationen, etc.)?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie an welche:
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**19 Werden topographische Zusatzinformationen gegeben? (z.B. Grün-, Gewässerflächen etc.)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie an welche:
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**20 Werden thematische Zusatzinformationen gegeben? (z.B. Parkplätze, Einbahnstraßen etc.)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie an welche:  
 Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**21 Wird die Darstellung an die Zoomstufe angepasst?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

° ((G1\_0005\_SQ001.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

**22 Welche Grundkarte wird verwendet? (Mehrfachantwort falls verschiedene Karten als Layer zu wählen sind)**

Bitte wählen Sie alle zutreffende Einträge aus und schreiben Sie einen Kommentar dazu:

<input type="checkbox"/> amtliche Karte	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> modifizierte amtliche Karte	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> nur ausgewählte Objekte (z.B. Gebäude)	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> OSM	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Google Maps	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> andere	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> ist nicht zu identifizieren	<input type="text"/>

**23 Kartendarstellung in schwarz-weiß oder Farbe?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- schwarz-weiß
- Farbe

**24 Gibt es eine Kartenbeschriftung?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja, detailliert.
- Ja, die wichtigsten Straßen tragen Straßennamen.
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**25 Wie ist die grafische Qualität der Grundkarte?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Objekte sind in allen Zoomstufen gut lesbar (Text lesbar, nicht verschwommen, keine Pixel erkennbar).
- Objekte sind in manchen Zoomstufen schwer lesbar.
- Objekte sind in allen Zoomstufen schlecht lesbar, da verschwommen oder Pixel zu sehen sind.

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl



## Darstellung von Lärminformation

### 26 Welcher Layer mit Lärminformation wird standardmäßig angezeigt?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- LDEN
- anderer Layer. Bitte erläutern:

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

### 27 Gibt es einen Layer mit Fassadenpegeln?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:  
\* ((G1\_0005\_SQ001.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

### 28 Gibt es einen Layer mit Differenzpegeln?

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:  
\* ((G1\_0005\_SQ001.NAOK == "Y"))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

### 29 Welchem Kartentyp entspricht die Karte? (siehe Erläuterung)

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Isophonenbandkarte
- Klassifizierte Rasterpegelkarte
- Kontinuierliche Rasterpegelkarte

**30 Welche Farbskala wird verwendet? (siehe Erläuterung)**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Nach DIN 18005-Teil 2
- Andere. Bitte erläutern:

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

**31 Unterste Klasse:**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- eingefärbt
- keine Farbe

**32 Ist das in der Legende angegeben?**

Beantworten Sie diese Frage nur, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

\* ((G4\_0003.NAOK == "A2"))

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

## ANHANG

### 33 Klassen für Lden nach (siehe Erläuterung):

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- DIN 18005-Teil2 (11)
- 34. BImSchV (5)
- 34. BImSchV (inklusive <=55)
- Andere Klassenbildung. Bitte erläutern:

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

### 34 Netzdichte lt. Angabe:

Bitte wählen Sie alle zutreffende Einträge aus und schreiben Sie einen Kommentar dazu:

- vorgeschriebene Hauptlärmquellen  
(>6 Mio. Fahrzeuge/Jahr)
- zusätzlich zu den vorgeschriebene  
Hauptlärmquellen weitere Straßen lt.  
Angabe
- zusammenhängendes Straßennetz  
bzw. gesamtes Gebiet
- nicht nachvollziehbar

**35 Netzdichte visuell wahrgenommen:**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- einzelne Straßen
- zusammenhängendes Straßennetz bzw. gesamtes Gebiet
- nicht nachvollziehbar

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

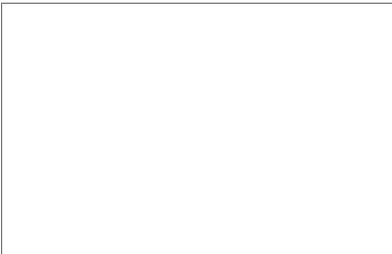


**36 Ist das Berechnungsgebiet explizit eingezeichnet?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja, in der Karte eingezeichnet und in der Legende angegeben.
- Ja, in der Karte eingezeichnet, aber nicht in der Legende angegeben.
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

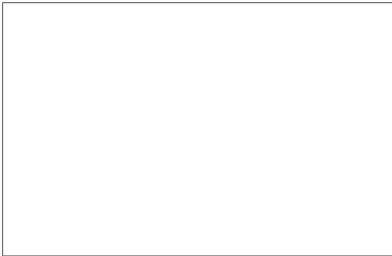


**37 Wie ist die grafische Qualität der dargestellten Lärmpegel?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Lärmpegel sind in allen Zoomstufen gut lesbar (Text lesbar, nicht verschwommen, keine Pixel erkennbar).
- Lärmpegel sind in manchen Zoomstufen schwer lesbar.
- Lärmpegel sind in allen Zoomstufen schlecht lesbar, da verschwommen oder Pixel zu sehen sind.
- Lärmpegel sind in allen Zoomstufen schlecht lesbar, da sich Inhalte überlagern.

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl



## Funktionalitäten von Web-GIS und interaktiven Karten

### 38 Welche GIS-Funktionalitäten werden angeboten?

Bitte wählen Sie alle zutreffende Einträge aus und schreiben Sie einen Kommentar dazu:

- |   |  |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Zoom                                 |  |
| <input type="checkbox"/> Navigation über Richtungskreuz       |  |
| <input type="checkbox"/> Pan                                  |  |
| <input type="checkbox"/> Layer-Auswahl                        |  |
| <input type="checkbox"/> Adresss-, Gemeindesuche              |  |
| <input type="checkbox"/> Messen (Entfernung, Fläche)          |  |
| <input type="checkbox"/> Download des Kartenausschnitts       |  |
| <input type="checkbox"/> Zentrieren                           |  |
| <input type="checkbox"/> Überblickskarte als Navigationshilfe |  |
| <input type="checkbox"/> weitere. Bitte erläutern:            |  |

### 39 Werden weitere thematische Layer angeboten?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte anführen:  
 Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

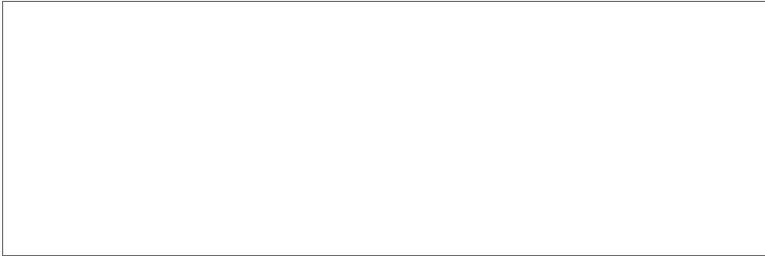
## Abschluss

40

**Bitte erstellen Sie einen Screenshot der Karte und der Legende.**

**Sonstige Kommentare:**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:



## B.2 Diagramme



Abbildung B.1: Bietet das Bundesland Lärminformation in einem Web-GIS an?

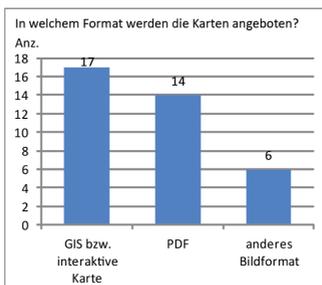


Abbildung B.2: In welchem Format werden die Karten angeboten?

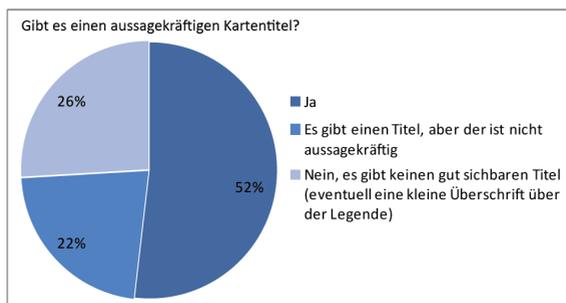


Abbildung B.3: Gibt es einen aussagekräftigen Kartentitel?

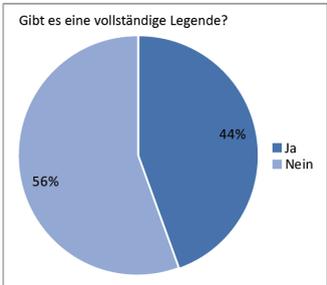


Abbildung B.4: Gibt es eine vollständige Legende?

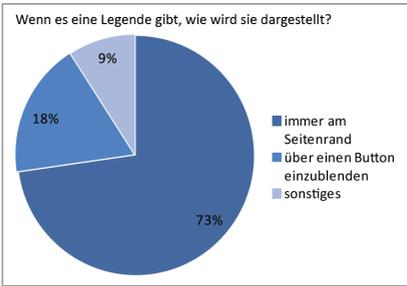


Abbildung B.5: Wenn es eine Legende gibt, wie wird sie dargestellt?



Abbildung B.6: Gibt es qualitative, erklärende Ergänzungen zur Legende?

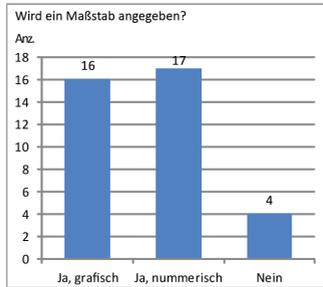


Abbildung B.7: Wird ein Maßstab angegeben?



Abbildung B.8: Wird der Herausgeber der Karte angegeben?

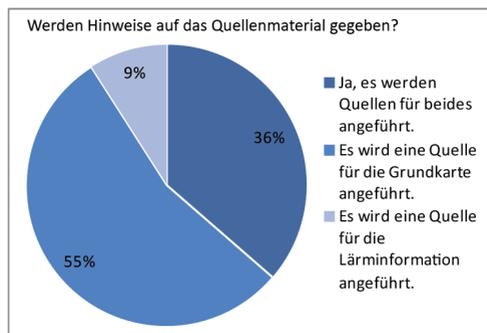


Abbildung B.9: Werden Hinweise auf das Quellenmaterial gegeben?

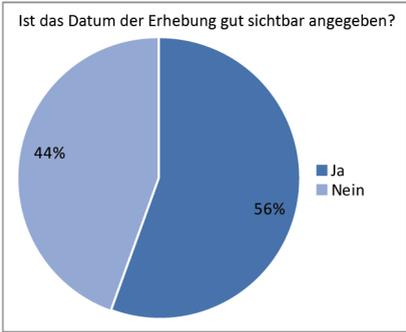


Abbildung B.10: Ist das Datum der Erhebung gut sichtbar angegeben?

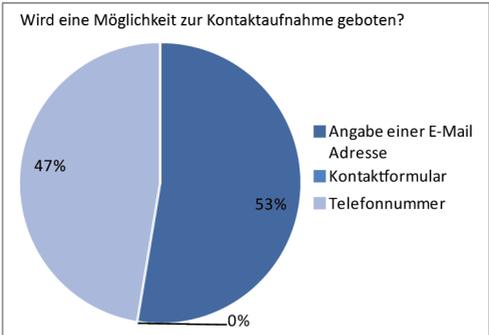


Abbildung B.11: Wird eine Möglichkeit zur Kontaktaufnahme geboten?

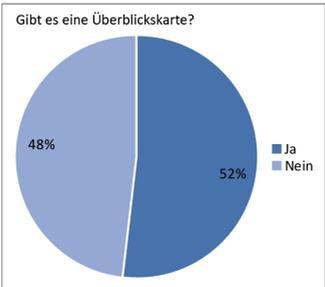


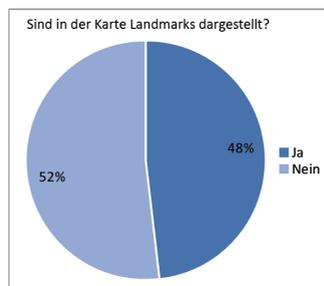
Abbildung B.14: Gibt es eine Überblickskarte?



**Abbildung B.12:** Gibt es einen aussagekräftigen Begleittext, oder eine Erläuterung etc. über die dargestellte Information?



**Abbildung B.13:** Gibt es einen aussagekräftigen Begleittext, oder eine Erläuterung etc. über Lärmkartierung allgemein?



**Abbildung B.15:** Sind in der Karte Landmarks dargestellt?

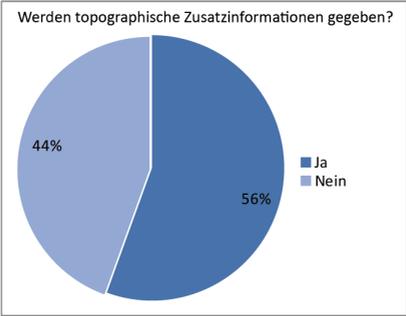


Abbildung B.16: Werden topographische Zusatzinformationen gegeben?

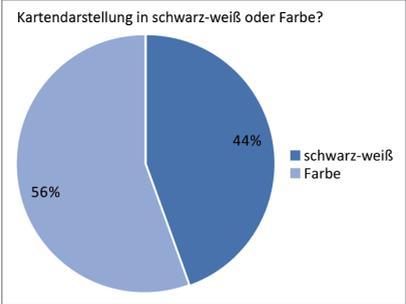


Abbildung B.17: Kartendarstellung in schwarz-weiß oder Farbe?

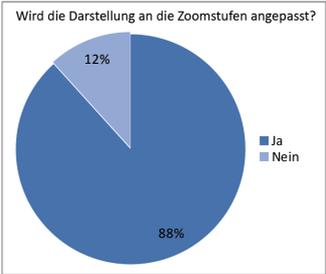


Abbildung B.18: Wird die Darstellung an die Zoomstufen angepasst?

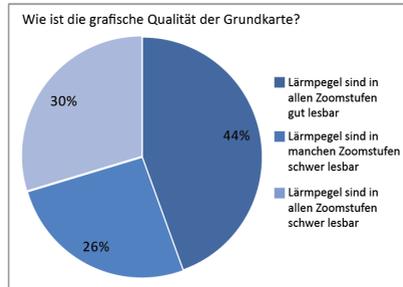


Abbildung B.19: Wie ist die grafische Qualität der Grundkarte?

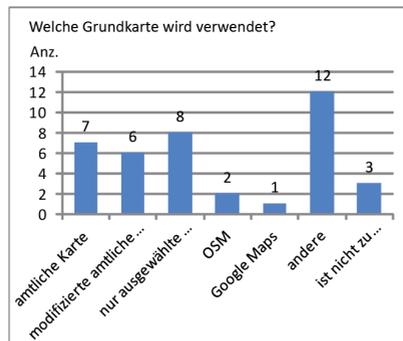


Abbildung B.20: Welche Grundkarte wird verwendet?

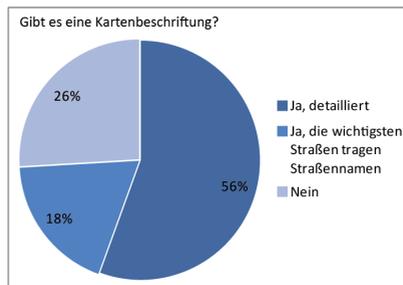


Abbildung B.21: Gibt es eine Kartenbeschriftung?

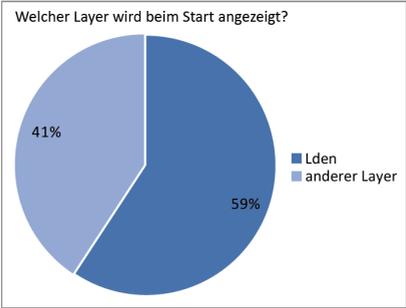


Abbildung B.22: Welcher Layer wird beim Start angezeigt?

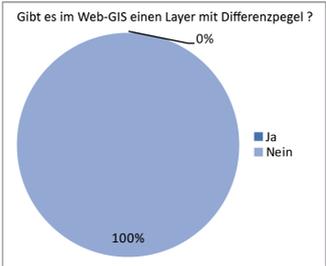


Abbildung B.23: Gibt es im Web-GIS einen Layer mit dem Differenzpegel?

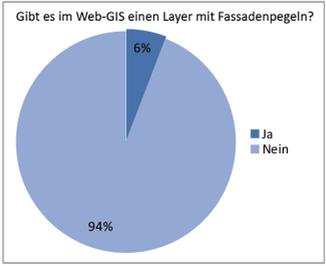


Abbildung B.24: Gibt es im Web-GIS einen Layer mit dem Fassadenpegeln?

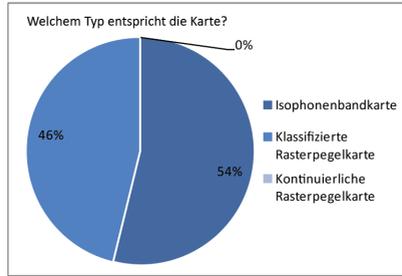


Abbildung B.25: Welchem Typ entspricht die Karte?

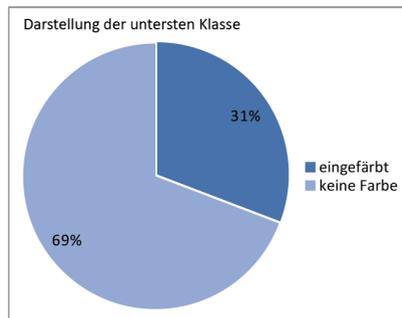


Abbildung B.26: Darstellung der niedrigsten Klasse



Abbildung B.27: Wird in der Legende angegeben, dass die niedrigste Klasse farblos dargestellt ist?

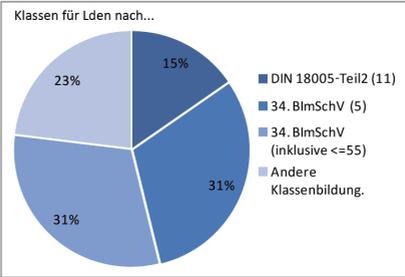


Abbildung B.28: Klassen für  $L_{den}$  werden nach angegebenen Vorgaben gebildet

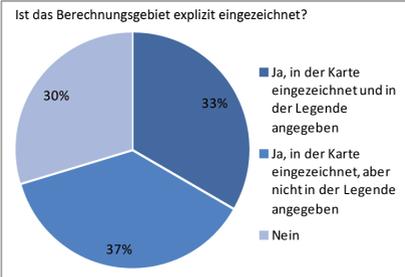


Abbildung B.29: Ist das Berechnungsgebiet explizit eingezeichnet?

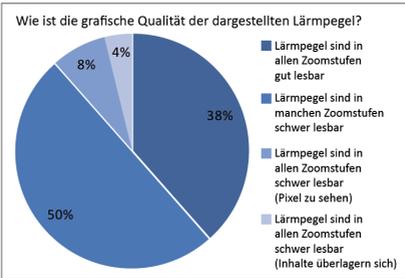


Abbildung B.30: Wie ist die grafische Qualität der dargestellten Lärmpegel?

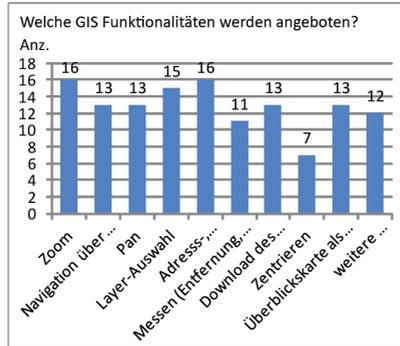


Abbildung B.31: Welche GIS-Funktionen werden angeboten?

C Fragebogen der Studie 1 über den Einfluss von Farbschemen auf die Interpretation der Lärmbelastung

## Farbskalen für Lärmkarten

Sehr geehrte Nutzerin, sehr geehrter Nutzer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage **"Farbskalen für Lärmkarten"** teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden darin Fragen zur Einschätzung der Lärmbelastung in Ausschnitten von Lärmkarten gestellt. Ihre Antworten tragen dazu bei, das Farbschema zur Darstellung des Lärmpegels in Lärmkarten zu verbessern.

Die Umfrage dauert ca. 20 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und Ihre Antworten werden vertraulich behandelt. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone.

Bei Fragen oder Anliegen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,  
Beate Weninger  
Doktorandin  
HafenCity Universität Hamburg

Sehr geehrte Nutzerin, sehr geehrter Nutzer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage **"Farbskalen für Lärmkarten"** teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden darin Fragen zur Einschätzung der Lärmbelastung in Ausschnitten von Lärmkarten gestellt. Ihre Antworten tragen dazu bei, das Farbschema zur Darstellung des Lärmpegels in Lärmkarten zu verbessern.

Die Umfrage dauert ca. 15-20 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und Ihre Antworten werden vertraulich behandelt. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone.

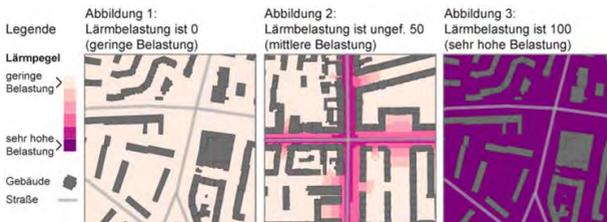
Bei Fragen oder Anliegen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,  
Beate Weninger  
Doktorandin  
HafenCity Universität Hamburg

Um die Umfrage zu starten **klicken Sie bitte auf den "Weiter" Button** rechts unten.

### Beschreibung:

Nachfolgend werden Ihnen Karten gezeigt. Sie werden gebeten, die Lärmbelastung im gezeigten Ausschnitt spontan und intuitiv auf einer Skala von 0-100 einzuschätzen. Die Abbildung 1, 2 und 3 verdeutlichen, wie ein Ausschnitt bei geringer, mittlerer bzw. sehr hoher Lärmbelastung aussehen würde.



Diese Umfrage enthält 65 Fragen.

### Vorwissen

1

#### Wie groß ist Ihre Erfahrung in folgenden Bereichen:

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	sehr groß	groß	mittel	gering	nicht vorhanden
Gestaltung von Karten	<input type="radio"/>				
Lesen von Karten	<input type="radio"/>				
Lesen von Diagrammen	<input type="radio"/>				
Grafikdesign	<input type="radio"/>				
Erstellung von Lärmkarten	<input type="radio"/>				
Lesen von Lärmkarten	<input type="radio"/>				

**Nutzereigenschaften**

2

**Wurde bei Ihnen von einem Fachmann eine Farbfehlsichtigkeit diagnostiziert?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie im nebenstehenden Feld an welche.
- Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

3

**Welche Farbskalen gefallen Ihnen - unabhängig von irgendeiner Anwendung - am besten?**

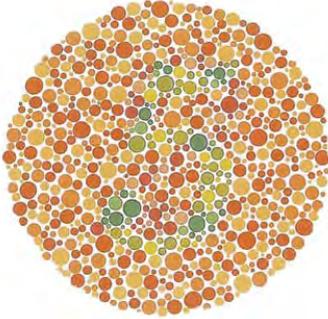


Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7
1. Wahl	<input type="radio"/>						
2. Wahl	<input type="radio"/>						
3. Wahl	<input type="radio"/>						

Farben

4 Welche Zahl sehen Sie?



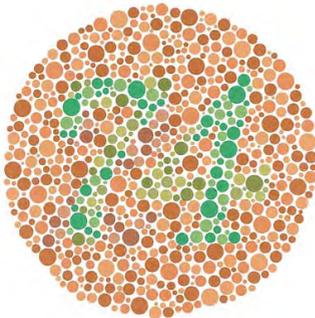
Bitte tragen Sie die Zahl im Textfeld darunter ein. Falls Sie keine Zahl sehen, schreiben Sie bitte "sehe nichts" oder ähnliches.

\*

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

5

Welche Zahl sehen Sie?



Bitte tragen Sie die Zahl im Textfeld darunter ein. Falls Sie keine Zahl sehen, schreiben Sie bitte "sehe nichts" oder ähnliches.

\*

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

6

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

7

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

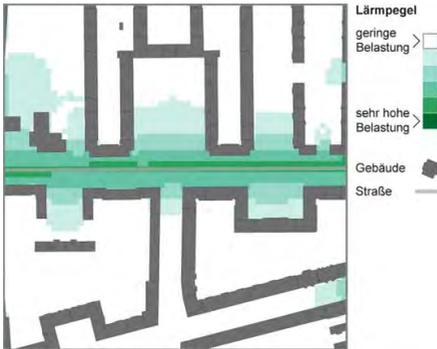


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

8

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

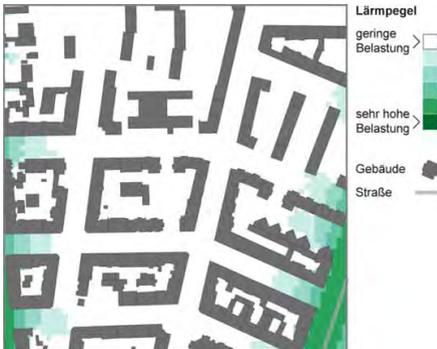


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

9

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

ANHANG

10

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

11

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

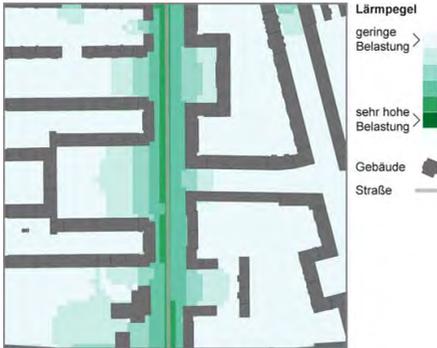


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

12

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

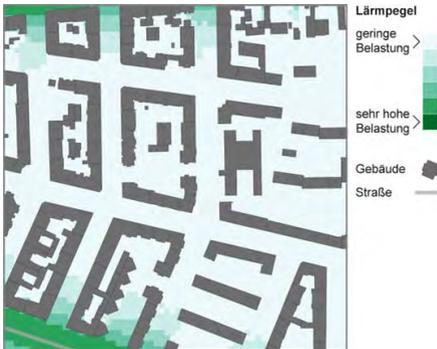


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

13

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

ANHANG

14

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

15

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

16

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

17

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



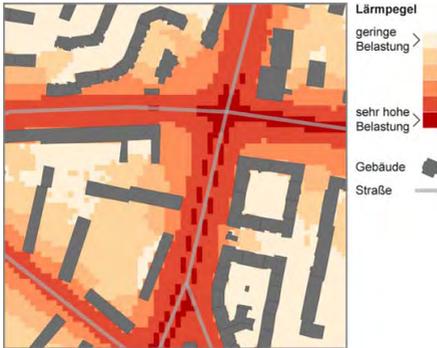
Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

ANHANG

18

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

19

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

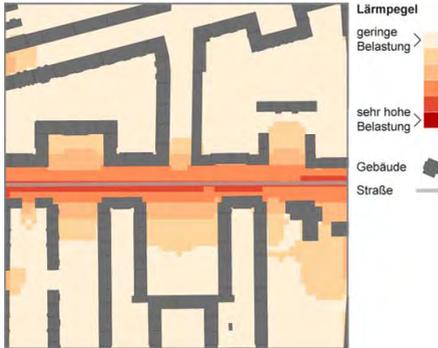


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

20

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

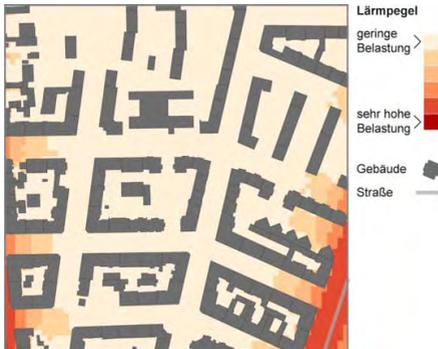


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

21

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

22

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

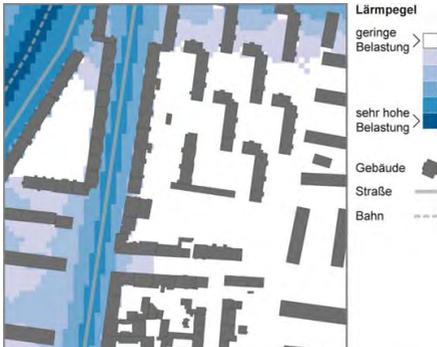


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

23

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

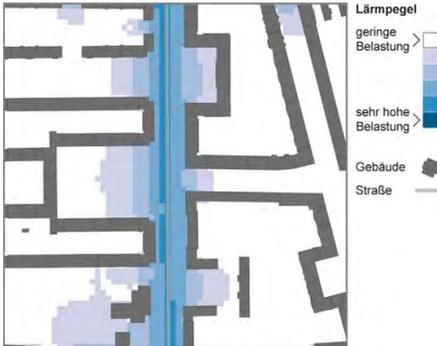


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

24

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

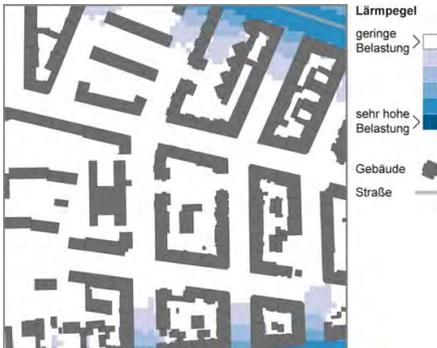


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

25

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

26

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

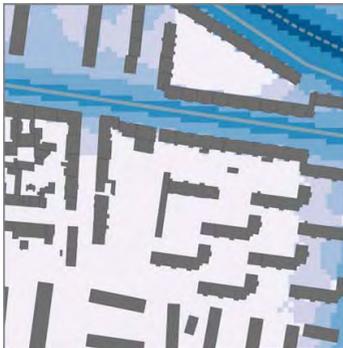


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

27

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

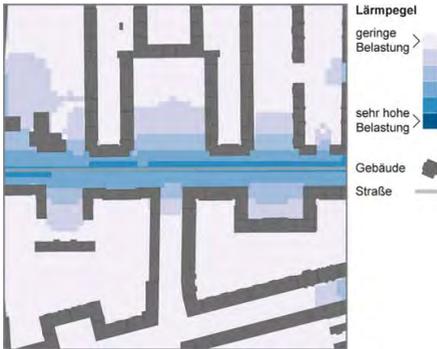


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

28

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

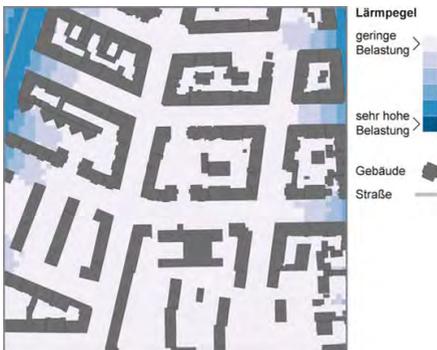


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

29

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

30

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

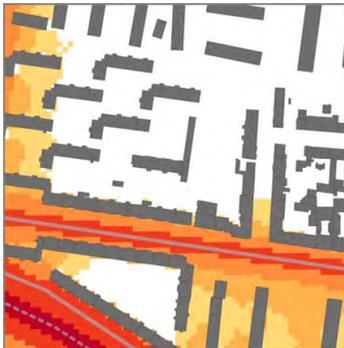


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

31

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

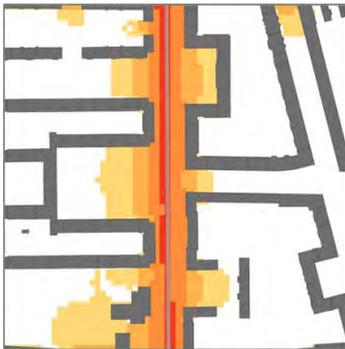


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

32

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

33

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

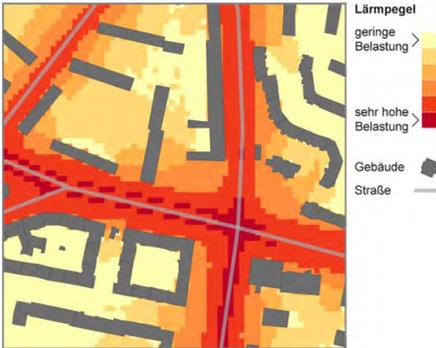


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

34

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

35

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

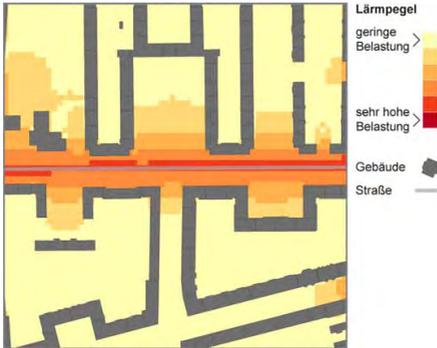


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

36

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

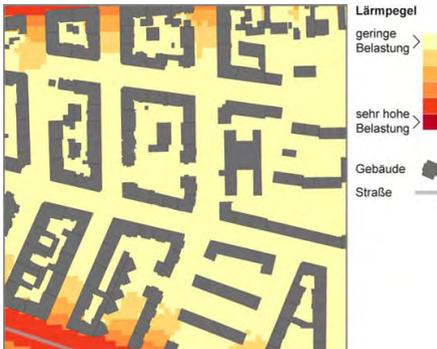


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

37

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

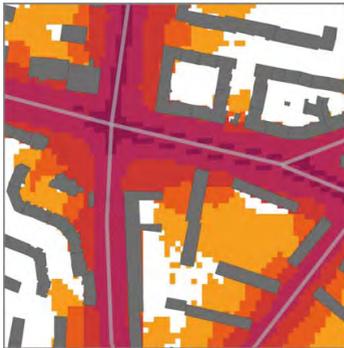


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

38

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

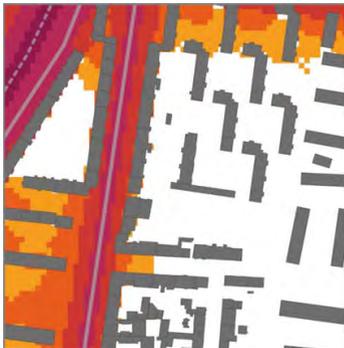


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

39

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

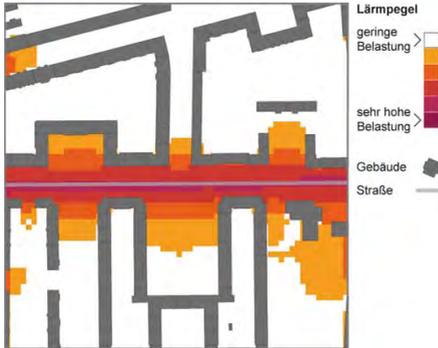


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

40

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

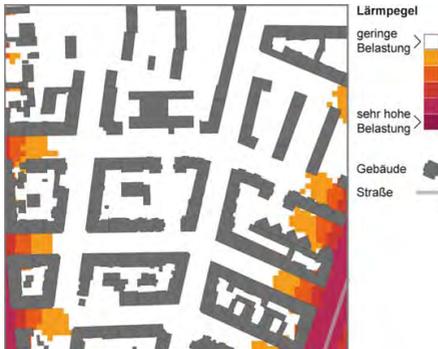


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

41

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

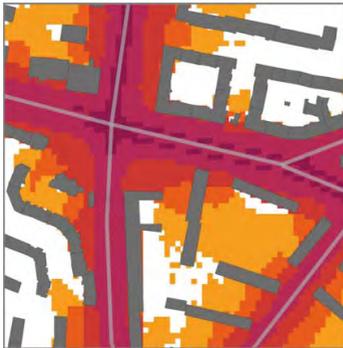


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

42

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

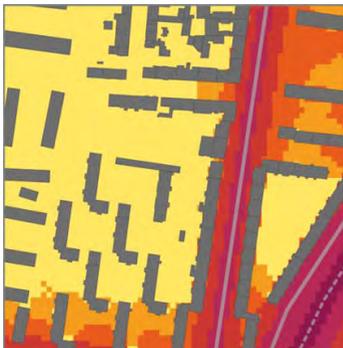


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

43

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

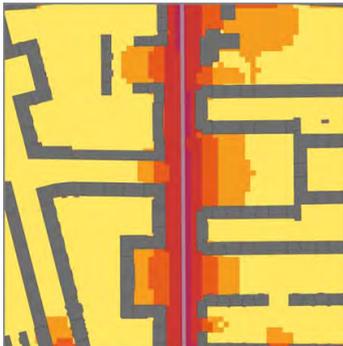


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

44

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

45

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

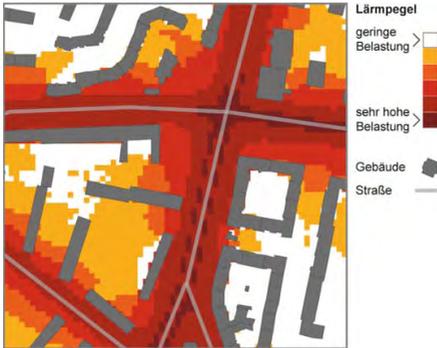


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

46

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

47

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

48

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

49

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

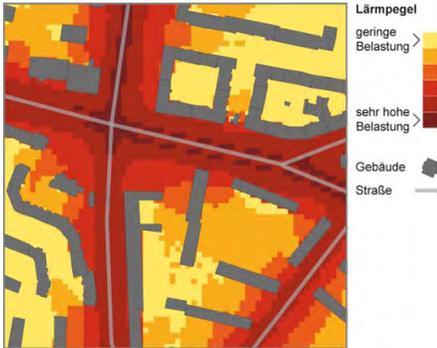


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

50

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

51

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

52

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

| 0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

53

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

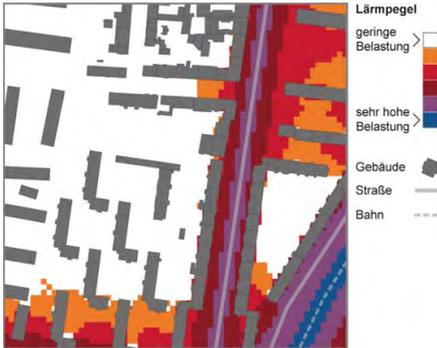


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

| 0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

54

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

55

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

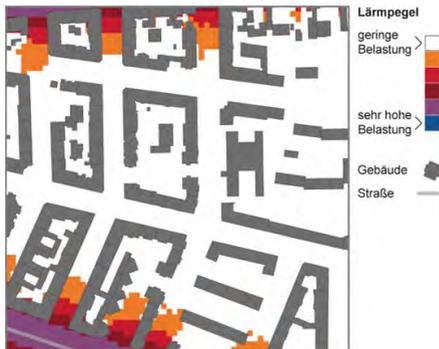


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

|0 = geringe Lärmbelastung |100 = sehr hohe Lärmbelastung

56

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

57

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

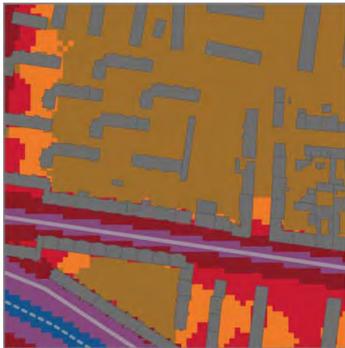


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

58

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

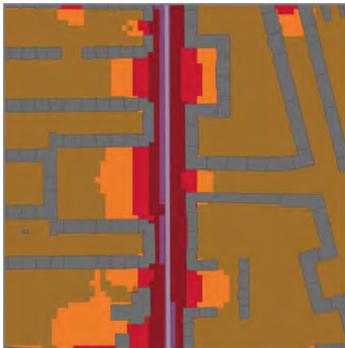


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

59

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:

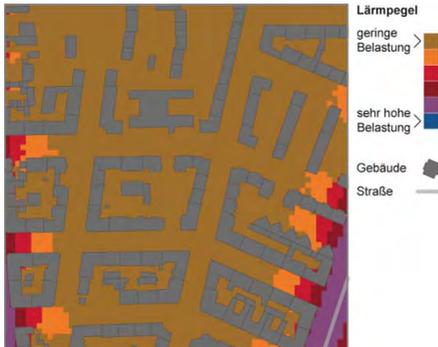


Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

60

Schätzen Sie die durchschnittliche Lärmbelastung im Bild ein:



Bitte geben Sie Ihre Antwort(en) hier ein:

0 = geringe Lärmbelastung | 100 = sehr hohe Lärmbelastung

**Demographische Fragen**

**61 Wo leben Sie zurzeit?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- im deutschen Sprachraum
- in einem anderen Land innerhalb Europas
- außerhalb Europas

**62 Auf welchem Gerät machen sie diese Umfrage?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Laptop
- Tablet
- Desktop-Computer
- Smartphone

**63**

**Bitte verraten Sie noch Ihr Alter...**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- < 20
- 21 - 25
- 26 - 30
- 31 - 35
- 36 - 40
- 41 - 45
- 46 - 50
- 51 - 60
- 61 - 70
- 71 oder älter

**64 ...und Ihr Geschlecht.**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- weiblich
- männlich

**65 Haben Sie noch ein Kommentar zur Umfrage oder zum Thema Lärmkarten?**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

D Fragebogen der Studie 2 über die Unterscheidbarkeit der Farben

## Farbunterscheidung\_PreTest\_6

Sehr geehrte Teilnehmer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage "**Farbunterscheidung**" teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden verschiedene Lärmkarten gezeigt, Sie sollen bitte den Lärmpegel an den gekennzeichneten Punkten ablesen und in der Matrix pro Punkt (A, B, C) den entsprechenden Lärmpegel wählen. Dafür steht Ihnen am rechten Bildrand eine Legende zur Verfügung.

Die Umfrage dauert ca. 30 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und Ihre Teilnahme ist anonym. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone.

Bei Fragen oder Anliegen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,  
Beate Weninger  
Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung (g2lab), HCU Hamburg

Um die Umfrage zu starten klicken Sie bitte auf den "**Weiter**" Button rechts unten.

Sehr geehrte Teilnehmer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage "**Farbunterscheidung**" teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden verschiedene Lärmkarten gezeigt, Sie sollen bitte den Lärmpegel an den gekennzeichneten Punkten ablesen und in der Matrix pro Punkt (A, B, C) den entsprechenden Lärmpegel wählen. Dafür steht Ihnen am rechten Bildrand eine Legende zur Verfügung.

Die Umfrage dauert ca. 20 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und anonym. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone.

Bei Fragen oder Anliegen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,  
Beate Weninger  
Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung (g2lab), HCU Hamburg

Um die Umfrage zu starten klicken Sie bitte auf den "**Weiter**" Button rechts unten.

Diese Umfrage enthält 37 Fragen.

### Vorwissen

**1 Ich beschäftige mich beruflich oder privat mit dem Thema Kartographie oder Geovisualisierung.**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja  
 Nein

## Nutzereigenschaften

2

**Wurde bei Ihnen von einem Fachmann eine Farbfehlsichtigkeit diagnostiziert?**

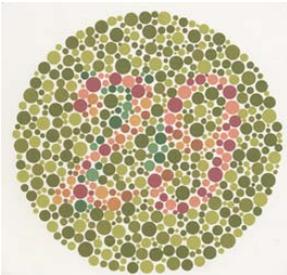
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie im nebenstehenden Feld an welche.  
 Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

3

**Welche Zahl sehen Sie?**



**Bitte tragen Sie die Zahl im Textfeld darunter ein. Falls Sie keine Zahl sehen, schreiben Sie bitte "sehe nichts" oder ähnliches.**

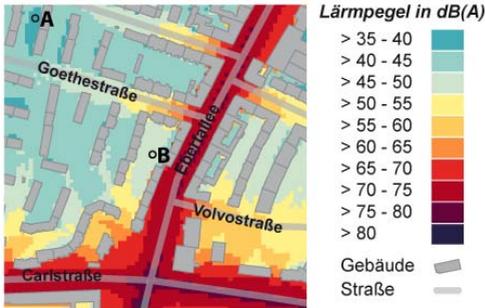
\*

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**Aufgaben**

4

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



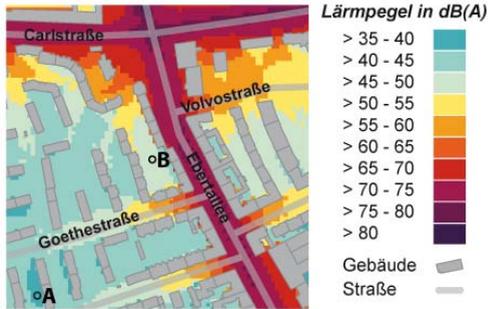
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

5

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



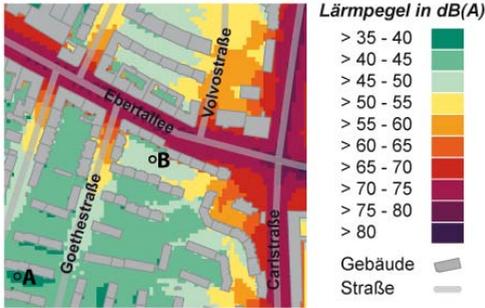
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

6

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



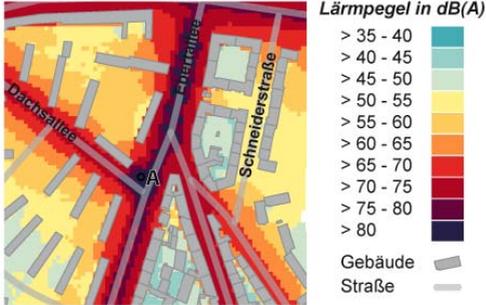
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

7

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



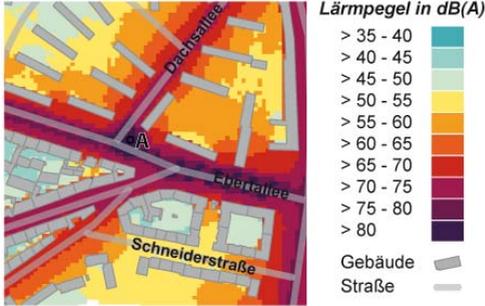
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

8

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



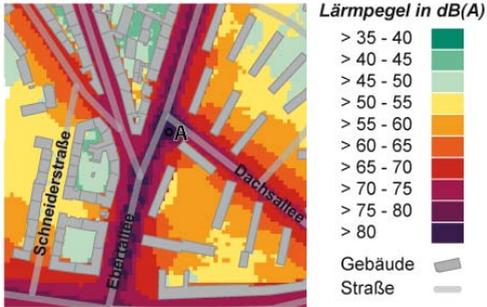
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

9

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



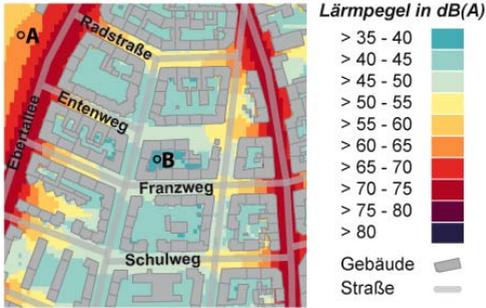
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

10

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



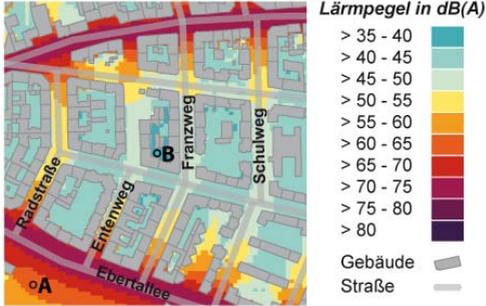
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

11

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



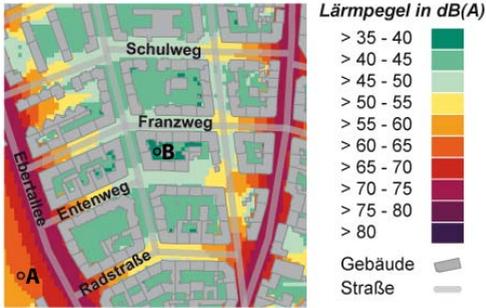
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

12

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



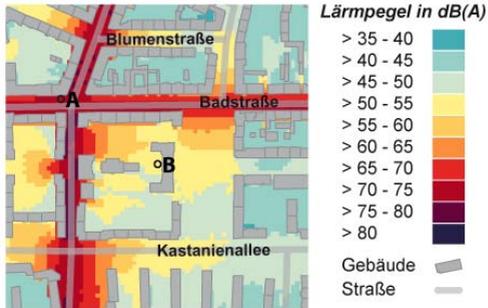
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

13

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



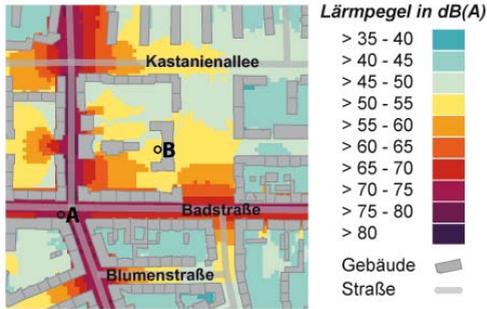
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

14

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



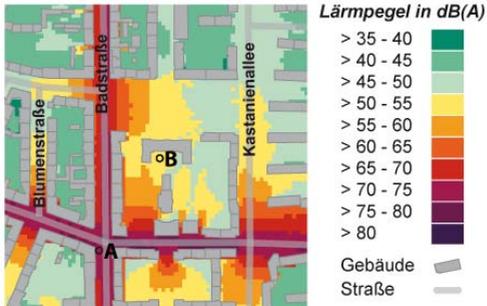
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

15

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



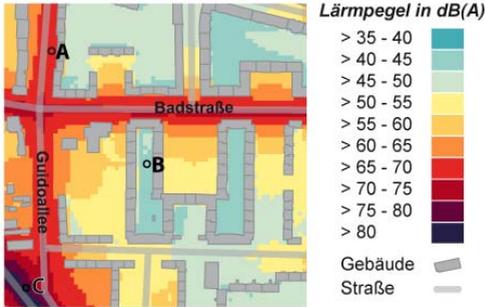
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

16

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



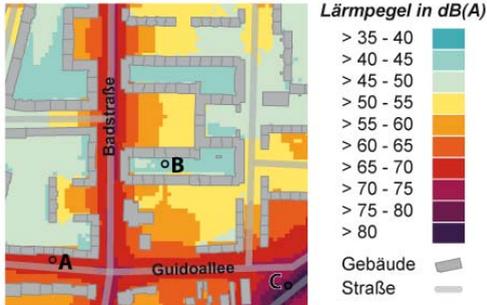
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

17

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



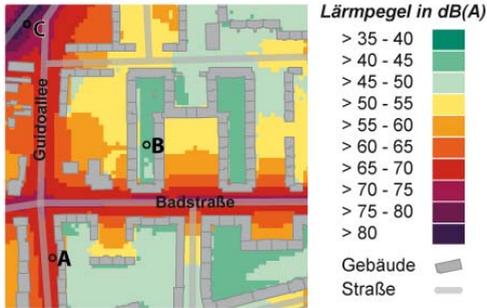
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

18

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



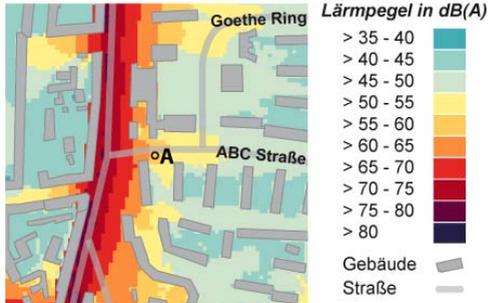
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

19

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



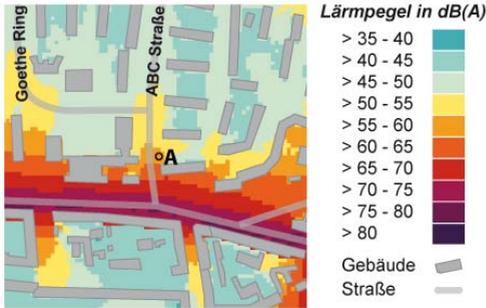
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

20

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



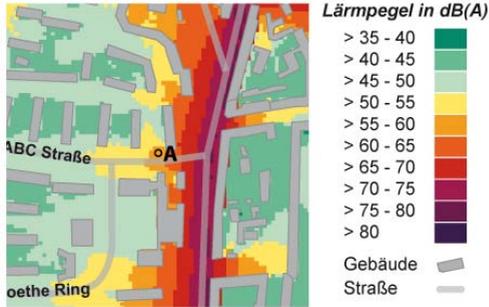
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

21

Wie hoch ist der Lärmpegel am markierten Punkt?



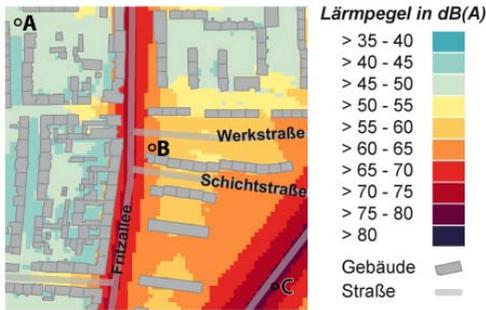
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

22

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



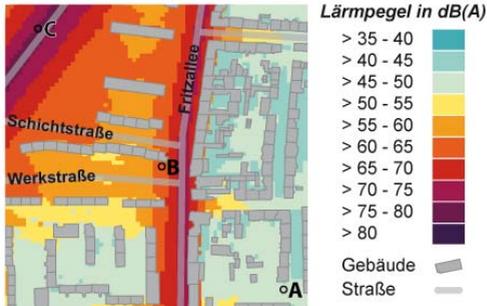
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

23

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



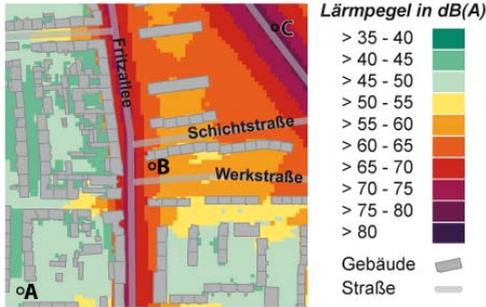
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

24

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



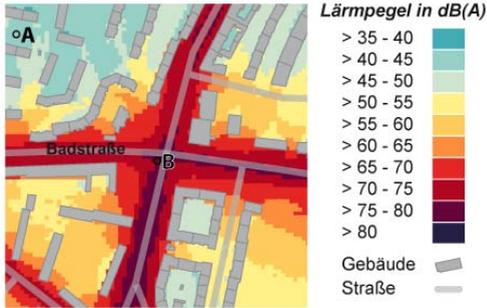
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										
Punkt C	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

25

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



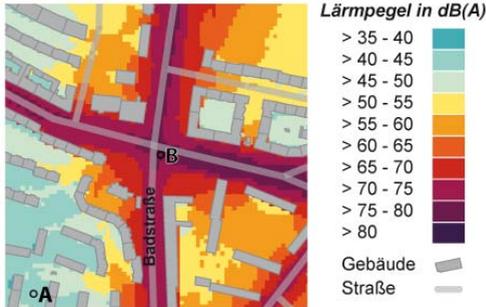
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

26

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



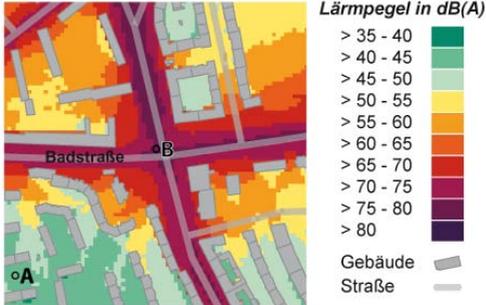
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

27

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



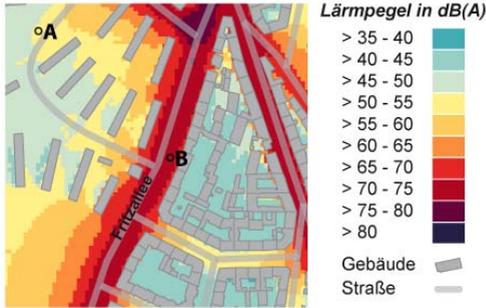
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

28

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



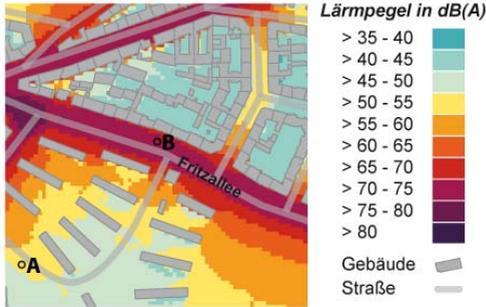
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

29

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



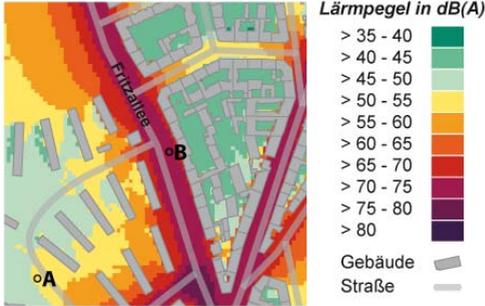
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

30

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



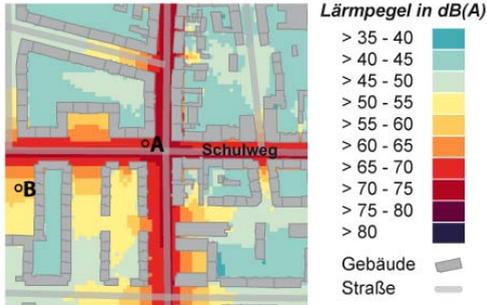
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

31

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



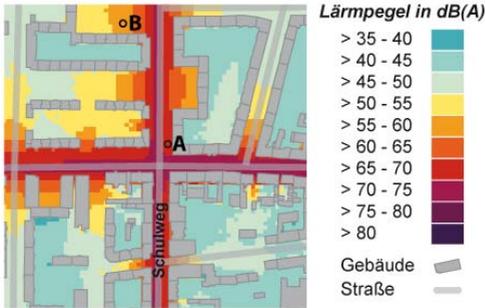
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

32

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



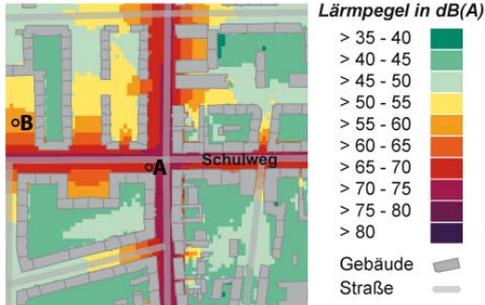
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

33

Wie hoch ist der Lärmpegel an den markierten Punkten?



Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	> 35-40	> 40-45	> 45-50	> 50-55	> 55-60	> 60-65	> 65-70	> 70-75	> 75-80	> 80	Kann ich nicht erkennen
Punkt A	<input type="radio"/>										
Punkt B	<input type="radio"/>										

Bitte wählen Sie pro Punkt den entsprechenden Lärmpegel in der Matrix. Falls Sie den Lärmpegel nicht erkennen können wählen Sie bitte die Option "Kann ich nicht erkennen".

### Demographische Fragen

#### 34 Auf welchem Gerät füllen Sie diese Umfrage aus?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Laptop
- Tablet
- Desktop-Computer oder Laptop mit extra Bildschirm
- Smartphone

#### 35

#### Bitte verraten Sie noch Ihr Alter.

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- < 20
- 21 - 25
- 26 - 30
- 31 - 35
- 36 - 40
- 41 - 45
- 46 - 50
- 51 - 60
- 61 - 70
- 71 oder älter

#### 36 Sind Sie weiblich oder männlich?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- weiblich
- männlich

#### 37 Haben Sie noch ein Kommentar zur Umfrage?

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

Fragebogen der Studie 3 zur Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben zu den Werten E

E Fragebogen der Studie 3 zur Evaluation der assoziativen Zuordnung der Farben zu den Werten

## Farbassoziationen

Sehr geehrte Teilnehmer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage "**Farbassoziationen**" teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden Farbfelder gezeigt, die zur Darstellung des Straßenlärmpegels in Karten Verwendung finden sollen, sowie Gebiete in Kartenausschnitten. Diesen ordnen Sie bitte die entsprechende Bedeutung zu.

**Bitte treffen Sie eine schnelle und intuitive Entscheidung!**

Die Umfrage dauert ca. 10 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und Ihre Antworten werden vertraulich behandelt. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone. Die Ergebnisse dienen der Entwicklung eines Farbschemas für strategische Lärmkarten entsprechend der EU Richtlinie 2002/49/EG.

Bei Fragen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,

Beate Weninger

Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung (g2lab), HafenCity Universität Hamburg

Betreuer der Arbeit: Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe, HafenCity Universität Hamburg

Sehr geehrte Teilnehmer,

vielen Dank für Ihre Bereitschaft an der folgenden Umfrage "**Farbassoziationen**" teilzunehmen, welche ich im Rahmen meiner Promotion durchführe. Ihnen werden Farbfelder gezeigt, die zur Darstellung des Straßenlärmpegels in Karten Verwendung finden sollen, sowie Gebiete in Kartenausschnitten. Diesen ordnen Sie bitte die entsprechende Bedeutung zu.

**Bitte treffen Sie eine schnelle und intuitive Entscheidung!**

Die Umfrage dauert ca. 10 Minuten. Ihre Teilnahme ist freiwillig und Ihre Antworten werden vertraulich behandelt. Bitte verwenden Sie zur Beantwortung der Fragen kein Smartphone. Die Ergebnisse dienen der Entwicklung eines Farbschemas für strategische Lärmkarten entsprechend der EU Richtlinie 2002/49/EG.

Bei Fragen erreichen Sie mich unter [beate.weninger\(at\)hcu-hamburg.de](mailto:beate.weninger(at)hcu-hamburg.de)

Nochmals vielen Dank,

Beate Weninger

Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung (g2lab), HafenCity Universität Hamburg

Betreuer der Arbeit: Prof. Dr.-Ing. Jochen Schiewe, HafenCity Universität Hamburg

Diese Umfrage enthält 25 Fragen.

## Vorwissen

**1 Ich habe theoretische oder praktische Kenntnisse in folgenden Themenbereichen:**

Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Keine Kenntnisse	Geringe Kenntnisse	Gute Kenntnisse	Kenntnisse auf professionellem Level
Kartographie oder Geovisualisierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Visualisierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
der Interpretation von Diagrammen im Allgemeinen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lärmkarten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**2 Ich habe bereits an einer Studie der Autorin zum Thema Lärmkarten teilgenommen.**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja
- Nein

### Nutzereigenschaften

#### 3 Wurde bei Ihnen von einem Fachmann eine Farbfehlsichtigkeit diagnostiziert?

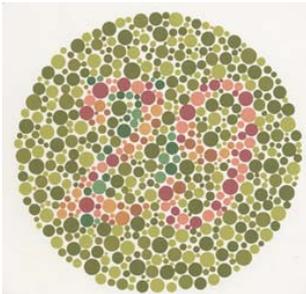
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Ja. Bitte geben Sie im nebenstehenden Feld an welche.  
 Nein

Bitte schreiben Sie einen Kommentar zu Ihrer Auswahl

4

Welche Zahl sehen Sie?



Bitte tragen Sie die Zahl im Textfeld darunter ein. Falls Sie keine Zahl sehen, schreiben Sie bitte "sehe nichts" oder ähnliches.

\*

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

**Teil 1**

5

Welche Farbgruppe repräsentiert Ihrer Meinung nach den höchsten Lärmpegel?



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- A
- B
- C

6

Welche Farbgruppe repräsentiert Ihrer Meinung nach den niedrigsten Lärmpegel?



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- A
- B
- C

7

Ordnen Sie die Farbgruppen den entsprechenden Wirkungsklassen zu.



Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	A	B	C
1) Keine bis moderate Belastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Moderate bis hohe Belastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Sehr hohe Belastung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Teil 2

8

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

9

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

10

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

11

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

12

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

13

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

14

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

15

Stellen Sie sich vor, die Farbfelder A und B werden zur Darstellung des Lärmpegels in einer Karte verwendet. Vergleichen Sie die Verschiedenheit der beiden Farbfelder und wählen Sie bitte die Aussage, die Ihnen am passendsten erscheint.



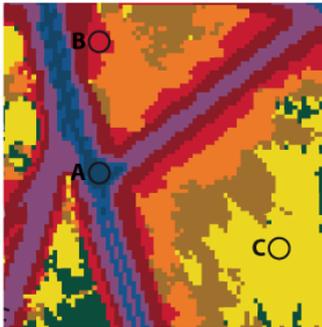
Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- 1) Beide Farben repräsentieren einen Lärmpegel der gleichen Höhe.
- 2) Mit Farbe B ist der Lärmpegel WENIGER als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 3) Mit Farbe B ist der Lärmpegel DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- 4) Mit Farbe B ist der Lärmpegel MEHR als DOPPELT so hoch wie mit Farbe A.
- Sonstiges

Teil 3

16

Welche Wirkungsklassen würden Sie den Gebieten A, B und C zuordnen? (Eine Wirkungsklasse kann mehreren Gebieten zugeordnet werden.)

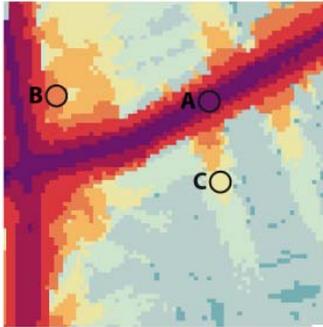


Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Keine bis moderate Belastung	Moderate bis hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gebiet A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

17

Welche Wirkungsklassen würden Sie den Gebieten A, B und C zuordnen? (Eine Wirkungsklasse kann mehreren Gebieten zugeordnet werden.)



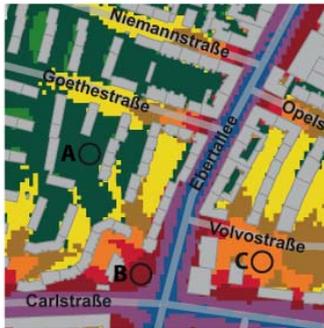
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Keine bis moderate Belastung	Moderate bis hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gebiet A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Teil 4

18

Welche Wirkungsklassen würden Sie den Gebieten A, B und C zuordnen? (Eine Wirkungsklasse kann mehreren Gebieten zugeordnet werden.)

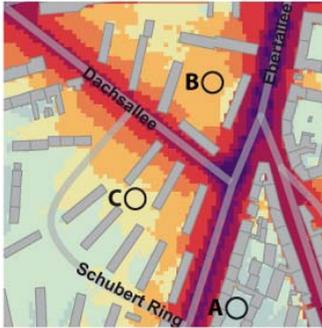


Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Keine bis moderate Belastung	Moderate bis hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gebiet A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19

Welche Wirkungsklassen würden Sie den Gebieten A, B und C zuordnen? (Eine Wirkungsklasse kann mehreren Gebieten zugeordnet werden.)



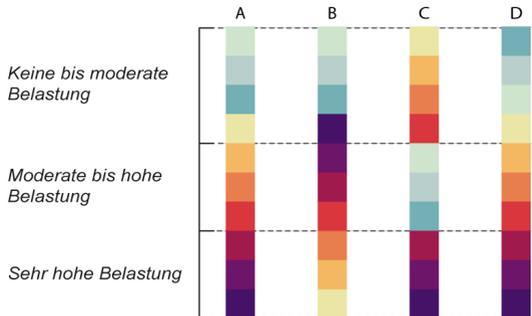
Bitte wählen Sie die zutreffende Antwort für jeden Punkt aus:

	Keine bis moderate Belastung	Moderate bis hohe Belastung	Sehr hohe Belastung
Gebiet A	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet B	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gebiet C	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Teil 5

20

Welche Reihung der Farbfelder erscheint Ihnen zu den angegebenen Wirkungsklassen am sinnvollsten?



Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- A
- B
- C
- D

## Demographische Fragen

Im Folgenden werden Ihnen wenige demographische Fragen gezeigt. Ihre Antworten sind vertraulich und werden nur für die analytische Auswertung verwendet.

Vielen Dank!  
Beate Weninger

### 21 Auf welchem Gerät füllen Sie diese Umfrage aus?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- Laptop
- Tablet
- Desktop-Computer oder Laptop mit externem Bildschirm
- Smartphone

### 22 Wo haben sie die letzten fünf Jahre gelebt?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- in Deutschland
- in einem anderen Land innerhalb Europas
- in Nordamerika
- in einem weiteren Land

### 23

**Bitte verraten Sie Ihr Alter.**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- < 20
- 21 - 25
- 26 - 30
- 31 - 35
- 36 - 40
- 41 - 45
- 46 - 50
- 51 - 60
- 61 - 70
- 71 oder älter

**24 Sind Sie weiblich oder männlich?**

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- weiblich
- männlich

**25 Haben Sie einen Kommentar zur Umfrage?**

Bitte geben Sie Ihre Antwort hier ein:

F Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hots-  
pots

## Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hotspots

Sehr geehrte Teilnehmer,

im Rahmen meiner Doktorarbeit an der Hafencity Universität Hamburg beschäftige ich mich mit der **kartographischen Darstellung von Lärmkarten**. Um meine Entwürfe zu testen, führe ich Nutzerstudien durch. Danke, dass Sie sich bereit erklärt haben an einer solchen teilzunehmen! Ihre Teilnahme ist freiwillig. Die Ergebnisse werden anonym behandelt und fließen ausschließlich in die Doktorarbeit und daraus resultierende wissenschaftliche Veröffentlichungen ein.

Bitte gehen Sie der Reihe nach vor und ändern Sie ihre Antworten nach Ihrem Eintrag nicht mehr.

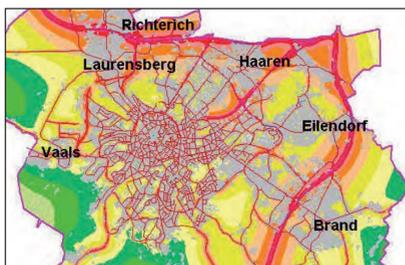
Vielen Dank für die Teilnahme!

Beate Weninger

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung  
Studiengang Geomatik

### BITTE BEANTWORTEN SIE VOR DEM UMBLÄTTERN FOLGENDE FRAGE:

1) Was denken Sie, worüber geben Ihnen Lärmkarten, wie die Beispiele unten, Information?



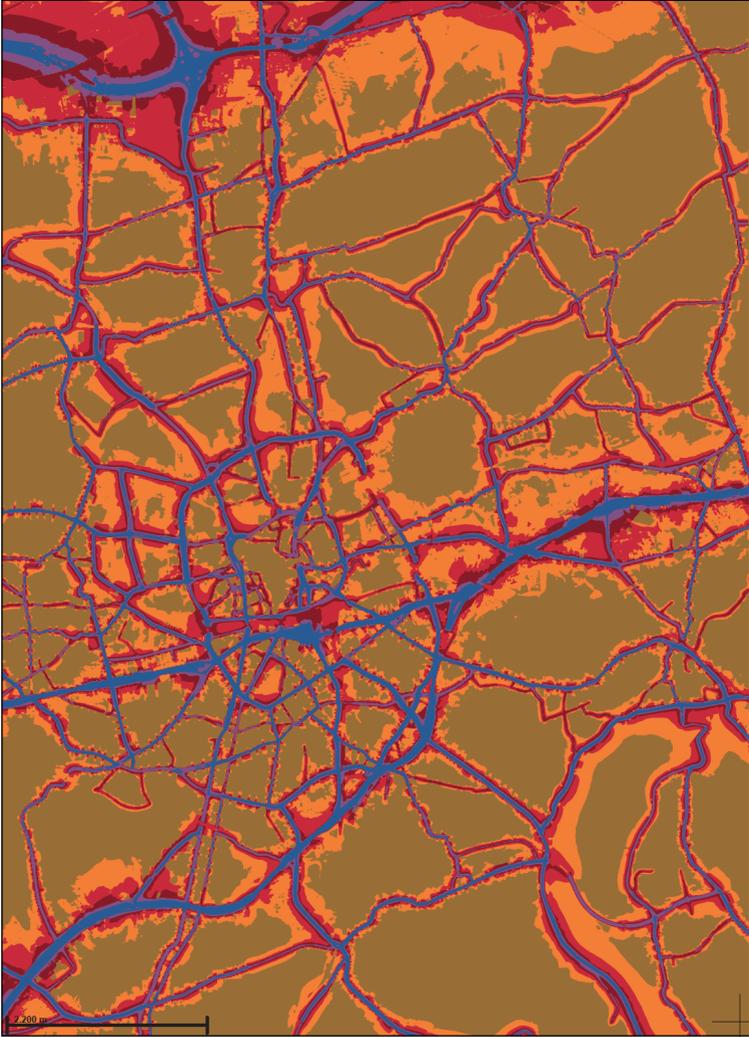
Aachen



Augsburg

ANHANG

Bitte umranden Sie die Gebiete mit der ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



*Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hotspots*



Bitte umranden Sie die Gebiete mit der ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



ANHANG



Bitte umranden Sie die Gebiete mit der ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



100m



**BITTE BEANTWORTEN SIE NOCH FOLGENDE FRAGEN:**

**2) Addiert (+) man die Schalldruckpegel 50 dB und 70 dB erhält man:**

- ... 70 dB
- ... 100 dB
- ... 120 dB
- ... Ich weiß nicht.

**3) Eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautheit ergibt sich bei einem Anstieg des Schalldruckpegels von 50 dB auf:**

- ... 60 dB
- ... 80 dB
- ... 100 dB
- ... 120 dB
- ... Ich weiß nicht.

**4) Bei einem Anstieg von 100 auf 110 dB passiert folgendes:**

- ... Die wahrgenommene Lautheit verändert sich kaum.
- ... Die wahrgenommene Lautheit nimmt um 10% zu.
- ... Die wahrgenommenen Lautheit verdoppelt sich.
- ... Ich weiß nicht.

**Studiengang und Semester:**

- Alter:**
- < 20
  - 20 - 25
  - 25 - 30
  - 30 - 35
  - 35 - 40
  - > 40

**Haben Sie Kommentare zur Befragung, oder zum Thema?**

VIELEN DANK FÜR IHRE TEILNAHME!

Sehr geehrte Teilnehmer,

im Rahmen meiner Doktorarbeit an der HafenCity Universität Hamburg beschäftige ich mich mit der **kartographischen Darstellung von Lärmkarten**. Um meine Entwürfe zu testen, führe ich Nutzerstudien durch. Danke, dass Sie sich bereit erklärt haben an einer solchen teilzunehmen! Ihre Teilnahme ist freiwillig. Die Ergebnisse werden anonym behandelt und fließen ausschließlich in die Doktorarbeit und daraus resultierende wissenschaftliche Veröffentlichungen ein.

Bitte gehen Sie der Reihe nach vor und ändern Sie ihre Antworten nach Ihrem Eintrag nicht mehr.

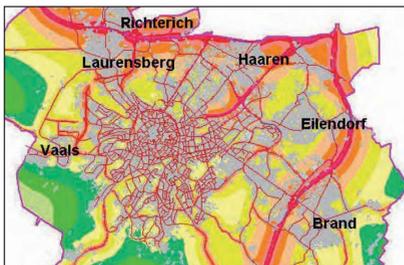
Vielen Dank für die Teilnahme!

Beate Weninger

Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Labor für Geoinformatik und Geovisualisierung  
Studiengang Geomatik

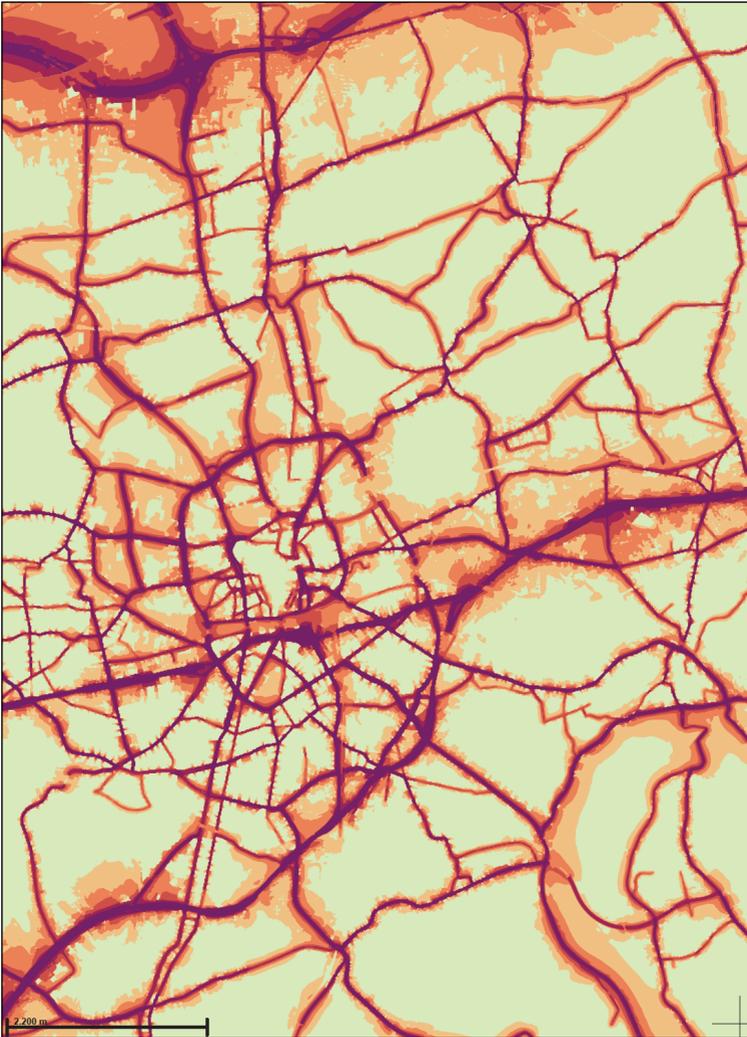
**BITTE BEANTWORTEN SIE VOR DEM UMBLÄTTERN FOLGENDE FRAGE:**

- 1) Was denken Sie, worüber geben Ihnen Lärmkarten, wie die Beispiele unten, Information?



*Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hotspots*

Bitte umranden Sie die Gebiete mit der ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



ANHANG



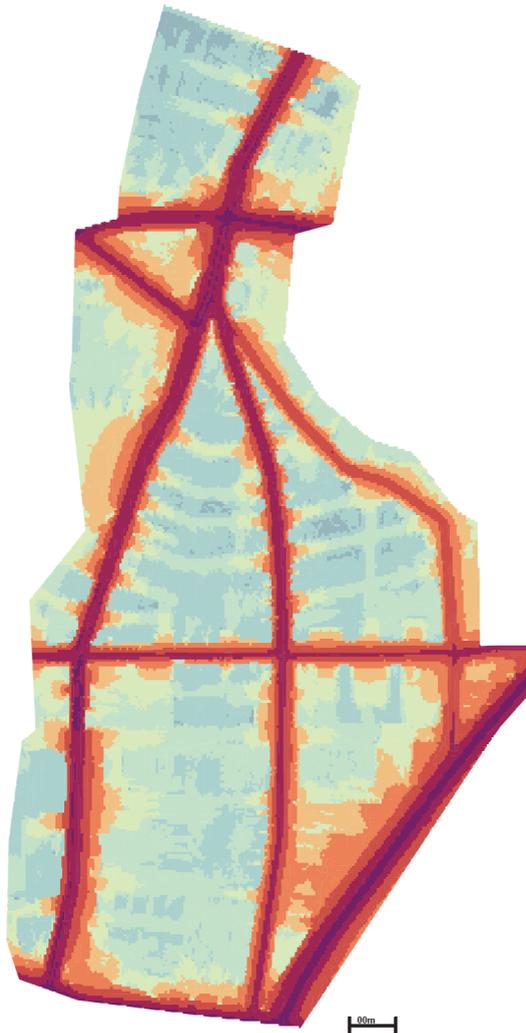
Bitte umranden Sie die Gebiete mit der Ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



Fragebögen der Studie 4 zur Evaluation der Erkennung von Hotspots



Bitte umranden Sie die Gebiete mit der ihrer Meinung nach stärksten Lärmbelastung.  
(Mehrfachnennungen möglich)



## ANHANG

**BITTE BEANTWORTEN SIE NOCH FOLGENDE FRAGEN:**

**2) Addiert (+) man die Schalldruckpegel 50 dB und 70 dB erhält man:**

... 70 dB

... 100 dB

... 120 dB

... Ich weiß nicht.

**3) Eine Verdoppelung der wahrgenommenen Lautheit ergibt sich bei einem Anstieg des Schalldruckpegels von 50 dB auf:**

... 60 dB

... 80 dB

... 100 dB

... 120 dB

... Ich weiß nicht.

**4) Bei einem Anstieg von 100 auf 110 dB passiert folgendes:**

... Die wahrgenommene Lautheit verändert sich kaum.

... Die wahrgenommene Lautheit nimmt um 10% zu.

... Die wahrgenommenen Lautheit verdoppelt sich.

... Ich weiß nicht.

**Studiengang und Semester:**

**Alter:** < 20  
20 - 25  
25 - 30  
30 - 35  
35 - 40  
> 40

**Haben Sie Kommentare zur Befragung, oder zum Thema?**

VIELEN DANK FÜR IHRE TEILNAHME!

## G Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm

### G.1 Interviewleitfaden für das Fokusgruppeninterview

- 1 How would you describe noise you are exposed to generally? What are its characteristics?
  - 1a What is it that determines these characteristics, e.g. the time of day?
  - 1b Can you determine a certain direction the noise is coming from?
  - 1c Is there a difference between take-off noise and departure noise?
  - 1d Are you especially affected if a certain runway is used?
- 2 Are you afraid of the health risk that comes along with noise exposure?

#### Map use

- 3 Do you use noise maps to get information about airport noise? What information is of interest to you?
- 4 What is the main purpose of noise maps according to your experience? Are noise maps helpful as a basis for discussion?
  - 4a Have you experienced a situation where noise maps helped to advance an argument?
  - 4b What kind of noise maps do you use for discussions?
  - 4c Should there be different maps for different purposes, e.g. different levels of discussion?

#### General discussion about the visualization of aircraft noise

- 5 What information would you expect to be represented in a noise map? What's your wish list (visualization or additional info)? What information would reflect your experience with aviation noise?
  - 5a Rhythm/time pattern
  - 5b Frequency of noise events/ Number of flights (How many noise events occur in a defined period of time?)
  - 5c Duration of a sound event (average, min, max)
  - 5d Frequency in a physical sense (pitch)
  - 5e Information about night-time noise ( $L_{eq}$  represents noise from 7-23h)
  - 5f Number of affected people
  - 5g Runway modes
  - 5h Flightpaths
  - 5i Prevailing wind direction
  - 5j Complaint data

5k Information on single noise events

5l Points of interest, like noise sensitive buildings (e.g. schools, hospitals etc.)

### Concrete discussion about the representation of noise levels

- 6 What do you think about the presentation of noise by means of equal loudness contours? Are they an appropriate method for the presentation in maps? What alternatives would you suggest?
- 7 What noise indicator does seem most appropriate to you? Why? (Participant's personal opinion is asked. Studies about the technical suitability of different metrics are available.)
- 8 Would you find it more reasonable to represent implications of noise instead of the noise levels, e.g., by categorizing noise values according to health risk, e.g., by means of a color scheme or by means of a symbol?
- 9 Would a combined map of different noise sources result in a more realistic representation of noise exposure?
- 10 What do you think about crowd-sourced noise modeling?

## G.2 Transkript des Interviews zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm

### Kommentare zur Transkription

- Es wurde wörtlich transkribiert, d. h. nicht zusammenfassend oder lautsprachlich, Dialekte wurden nicht berücksichtigt.
- Satzabbrüche wurden ausgelassen, oder mit / gekennzeichnet, Stottern wurde geglättet.
- Die Interpunktion wurde sinngemäß gesetzt.
- Pausen wurden gekennzeichnet (...) wenn sie wichtig für die Interpretation erschienen. Die Länge der Pausen wurde nicht bestimmt.
- Verständnissignale, wie „mhm“, wurden nur transkribiert, wenn sie als emotionale Äußerung einen Teil zur Antwort beitragen, dann wurden sie in eckige Klammern gesetzt.
- Phrasen zur Lückenfüllung, wie „you know“, „basically“ etc. wurden größtenteils nicht transkribiert.
- Besonders betonte Aussagen werden mit GROSSBUCHSTABEN gekennzeichnet.

- Einwürfe wurden, sofern sie verständlich waren und wirklich zur Diskussion beitragen, in einen extra Absatz geschrieben. In vielen Fällen waren diese Überlagerungen nicht verständlich. Ihnen wurde, da sie meist zustimmend waren, kein großes Gewicht beigetragen.
- Unverständliche Passagen wurden mit „(unv.)“ gekennzeichnet, vermutete Satzteile und Wörter in Klammern mit Fragezeichen.
- Sprechüberlappungen wurden mit // gekennzeichnet.
- Generell wurde auf den Inhalt geachtet und abgebrochene Satzanfänge, bis jemand eine tatsächliche Aussage zum Thema machte, weggelassen.

## ANHANG

--- *selected excerpts only*

[P1. comes much earlier then the other participants]

P1: [summary] have had house in Ealing for 55 years, moved there 1,5 years ago, invested a lot, "and then they started bombarding us", "no notice, nothing", "it's taking my life over",

#00:01:20-2# INTERVIEWER 2: are you doing measurements?

#00:01:20-8# P1: I actually pay for surveys.

[summary] has taken a lot of actions, written to the MP, payed an acoustic engineer etc. but had no success

#00:03:15-1# Then was I found I was actually in the middle of the NPR. But Heathrow published lots of data, but he said, you know, you might be on the centre line, that doesn't necessarily mean aircrafts have to follow it.

#00:04:28-7# They talked about witching from the whole proposition from flying West to flying East now. They are weasels, in the same months that they told me "don't worry, you'll only gonna get it, when it is westerly". I then find out that actually in another document actually (unv.) to push the boundary even further.

#00:06:10-9# They are not saying it straight and the measurements aren't straight in terms of noise, as you know, this is half of the problem, they are disingenious with what they say. If they were actually honest, they said "OK, we are going for a third runway, possibly a forth one".

[summary] new tools are sometimes "just window dressing, not dealing with the substantive issue", "they fly low, 2000 to 3000 feet for 20 miles or more", "they compressed the levels of airspace to actually just cram in more aircrafts", INTERVIEWER 2: "over 10 000 feet noise is just not an issue, thats their argument",

#00:11:20-0# INTERVIEWER 1: I think the problem about aviation noise is the frequency, because the noise level doesn't rise much, it's almost the same if you double the amount of airplanes, but the frequency...

[the other participants arrive]

--- *(start of the transcript)*

#00:15:18-0# INTERVIEWER 1: Thanks for coming.

#00:15:19-4# P1: Is this us now?

#00:15:22-4# INTERVIEWER 1: Yes, [name] was also interested, I don't know if you know her, but she wrote a few days ago that she couldn't come. So it's a nice small group, it's better to talk through things.

#00:15:40-2# INTERVIEWER 1: I'd like to introduce myself first. I am Beate Weninger, I am PhD student and research associate at HafenCity University in Hamburg. My background is geography and cartography. So I am not a physicist, I am not a politician, I am having another view on noise. For my PhD I did a project together with the German Environmental Agency on the improvement and analysis of traffic noise maps, so this is how I got an interest into noise. But as I found out here traffic noise is quite different from airport noise. So this is why we are here today I'd like to find out more about the visualization of aircraft noise and this is why I'd like to get to know your experience with aircraft noise. It would be nice if you could introduce yourself as well.

#00:16:44-1# INTERVIEWER 2: My name is Christian, I am PhD student here, like I said I am doing a kind of sociology take (unv.) working with HACAN. (some sentence incomprehensible) I am trying to catch both the supposed objective quality of noise but also some kind of the subjective. How do we talk about this stuff, that's really what my PhD is about. How noise is (unv.) dealt with as kind of objective by certain people and as kind of subjective by other people and how you negotiate the politics around that.

(INTERVIEWER 1 asks if the recording started and if it was OK with the participants that this interview is recorded. Then they are informed that the recording will only be used for the interpretation and not published.)

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

#00:17:54-2# P2: My name is [name] and I just sort of in and out been involved in and out over years with some campaigns to sort of (reigning?) the ability of Heathrow and commercial aircrafts more in general to upset our lives and (unv.) fly roughshod over us frequently. And so I know John Steward slightly well, and that's me for purposes of introduction.

#00:18:33-2# R: My name is [name], I also know John, we are in the same local transport campaign group as we first met him. We are now actually colleagues (unv.) accidentally. No, aircraft noise in particular not an issue that I thought about until I moved to be under a couple of flightpaths [in South East London as he later describes]. Albeit that I wouldn't say they dominate my life to the extent that I am raging about them, or don't see that they have their place to some extent in sky over a big city. I have got. I do work in transport loosely (unv.) polity guys, but not on noise, so I am complete average here in it, from my part of view.

#00:19:24-3# P1: I am [name], I am from West-London and as I have just explained to you and Beate earlier, I moved to a home, we've had it in the family 55 years, and moved into it myself in the last year and a half. I nearly fell of the scaffolding, I think in March when I saw this airbus in tandem with another plane because they seem that they had two spots down the (bottom?) of our park and just headed over. And that was the beginning of really basically a quite an awful experience. And I felt very angry and disempowered about the whole process and that officialdom actually was there I thought to try and help but done (unv.) at all. And you know I could (rage?) on forever, but I think the issue is that I have for my family's sake I am trying to actually focus on the issue. Try and understand the nature and the scope of it because for example I was told by Heathrow it's only a westerly thing, so just when it's westerly you gonna get it, in other words suck it up and 65% of the time you not going to have any. Because they changed that negotiation in fact in the virtually same week that they told me about it, in an other publication pushing to actually change from West to East as a preferred direction potentially. So they put everything up in the air, so it's very difficult to believe, that's lot of examples, with lots been going on. (unv.) I actually commissioned a noise report on, that was money I didn't have, because I was actually so, almost, desperate to actually demonstrate that there was actually an issue. And it came in at certainly 61 Lden over four days. And you know I have pointed it out its like the two finger to salute, they don't give as a monkey's.

#00:21:37-3# INTERVIEWER 2: Did you get response from them?

#00:21:37-6# P1: No, this is the one that's gone to my MP. He's (unv.) it across to the minister for transport. I actually asked for specific responses from Heathrow who I've written to twice. And they were no unreasonable requests, were just clarifications about certain policies. They wouldn't even deal with those. It's really frustrating you feel as a none-person, you pay the taxes in etc. etc. And you are treated like something on the (unv.). Sorry, that's, I don't know (unv.). I won't go on too much, but I feel like they are actually parking on the roof.

#00:22:23-8# INTERVIEWER 1: How would you describe the noise you are experiencing? What are the characteristics besides it's like they are parking on your roof.

#00:22:31-6# P1: One is the frequency and then it's the lack of respire and the lack of purpose it seems, because they are meandering it seems of track. I watched them, because at the midpoint of the NPR (noise preferential route) they decide well let's target practice and then they got back where they really want to go. Instead of flying the line that they should they have obviously got some kind of program to do what ever they are doing, like a dogleg. And they don't think really, you know some guys playing on a sort of a tablet in NATS or where ever it is, like some gaming thing. They are desensitizes, they don't understand. I know they've got a job to do, but not once that they actually come down and actually stood under a flightpath, or not even the MP has done it. And they've been asked by our campaign group twice. They got no balls and no morals. But I think if you give it up you'd actually be able to take it as well.

#00:23:40-0# INTERVIEWER 1: And the others, how would you characterize the noise you are experiencing? Similar like frequency and no purpose or?

#00:23:48-2# P3: I am in South East London, SE23 post code (tells nearest tube stations) and I have lived in two spots there, so clearly we don't have the same level of noise that C will be experiencing in West London and we also have (great a?) respire. On the other hand one of the things I found incredibly frustrating about the way the debate is framed commonly in media like standard (unv.), this is the West London problem, clearly it is, but it's also a London problem. That was one of the disconnects for me in moving to South East London. An area I didn't know, I have not lived in before. I did not think / I tell you what, I'd better look up some noise maps online and check that I am not under the Heathrow and City flightpath.

#00:24:43-8# INTERVIEWER 1: Sorry, you did or you didn't?

## ANHANG

#00:24:43-8# P3: No

#00:24:44-6# // INTERVIEWER 1: You did not.//

#00:24:45-1# P3: I (didn't came across them at all?)

#00:24:46-4# INTERVIEWER 1: But in the media it was communicated as a Western

#00:24:48-6# P3: You know it was a REASONABLY thorough research through the area. I looked up the route (unv.) strategy from network rail, I looked up the plans from Transport for London to introduce new London overground stations. (...beyond perhaps...?) But it's not something that occurred to me at all. So, that was the start for me back 07 when I moved there and suddenly realized, but hang on when it's over us, it really is over us. And the frequency there can certainly feel relentless, because it is not like being in the final approaches but you are still talking about (thinks) certain more than one a minute and that's enough to pretty much be continuous, not quite the ramble, is JUST gone, there is maybe ten seconds or something like that, but because you know the next one is coming, your sort of slightly (braising/praising?) and get some background away for that.

#00:25:53-1# INTERVIEWER 1: And when does it start in the morning, or when does it annoy you most in the mornings, or in the evening?

#00:25:58-9# P3: It's been another issue. The first place I lived in this area I was in a block of flats and I had another flat and then a roof above me. So actually it wasn't an issue in the flat at all, simply because they sucked the noise, which is one potential issue, I think, for noise mapping. It can be very dependent on your property and how the noise moves around your property, the property above you, is there a property, but now I live in a house, so there is no property above. Just the roof for it. And there the difference is astonishing, how much you can hear inside. I personally find it manageable with particular amazing earplugs that I have discovered. Without them, I think, you'd have to be a VERY sound sleeper to not be woken up very early in the morning. So that's what your point, it's USUALLY the sort of 6.05/10 am sort of zone, can be earlier, can be significantly earlier. Does vary quite a bit and seemed to be much predictability to it. And yeah, you gotta be a very sound sleeper to get through that with that bit of help. And that's I don't know how far we are from Heathrow, but it must be 15 miles or 20

#00:27:22-8# P3: What sort of level would you say they are flying, are they still below 4000? They seem exceptionally low they way the snake around London.

#00:27:32-6# P3: I mean I just don't know how I /

#00:28:02-4# // P1: I know it's difficult to (unv.)//

#00:28:02-4# P3: [pff] it (feels?) like they are in a sense of the amounts of detail I can see of them [laughing]. You know there is sort of window shapes and stuff you can pick out as well and I know Heathrow is one the/ has a quite shallow approach, or however you call it compared to some other airports. And they definitely you see (unv.) #00:28:02-4# and you can go onto the roof and there you get an absolutely panoramic view of London right from Heathrow itself right around Canary Wharf and beyond and you can see the sort of questions mark shape that the flight path often makes over London, so you can see them head across north London nearby impacting all those people (bank?) round over East London and get all those people

#00:28:18-4# // INTERVIEWER 1: So you don't need a map. //

#00:28:18-8# P3: hop over us in Sout East London and eventually go over you to West London you know. Completely the same really.

#00:28:31-9# P2: Yeah, well

#00:28:28-4# // P3: Sorry sorry, the CITY PLANES that are going to City Airport are much lower. These are propeller planes, they are on a different (unv.)#00:28:37-6#. //

#00:28:28-4# P2: Cities are noisy places now and becoming more so even though obviously there are people working as noise hopefully gets a higher profile as an environmental problem, but that's glacially slow at the moment its seems to me. But cities are getting noisier are moving faster in the direction of noise, and I think resistance is having an effect to reduce it. and (...) so I think first of all sociologically that that's the way

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

life is going to be, I think, look at London, London is an extremely crowded city now, I mean obviously it could just expand, but it doesn't seem sort of maintaining the same population density it seems to just be thickening and people are prepared to just crowd and queue and push and wait and you know, wait six months to get booked for the theatre and twenty minutes to get on the doors of the train standing on / it's normal and everybody seems to want to do it and they accept the noise and the sirens and the aeroplanes and the motorways and the flyovers and that's it. That seems to be an acceptance amongst the new younger population I think that just want to live in cities and regardless of the negative of it. So I think it's that aspect about life and the way it's going to be in the next / already is, I think London/

#00:30:14-3# // INTERVIEWER 1: What do you personally think, how do you experience, in the morning does it annoy you?//

#00:30:16-5# P2: What?

#00:30:16-5# INTERVIEWER 1: Noise, like aircraft noise.

#00:30:16-5# P2: It annoys me all the time [laughing] everywhere I go and work at, it's always there somehow, I can hardly ever escape it.

#00:30:27-0# INTERVIEWER 2: And what do you do?

#00:30:27-4# P2: Landscape gardening, so (...) now on the other thing I mean so there is an awful lot of acceptance about noise and people used to love Concorde. Concorde used to come over and shake the very foundations of yourself and the houses and yet people loved or love it. Goes over twice a day, "I look forward to it", people used to say. They still say they MISS it. So there you are.

#00:30:54-0# // INTERVIEWER 1: (unv.) was the development at that time//

#00:30:55-2# P2: But what it really means is that / what it means is the thing about it for me that it means that no one ever consulted me about that noise /level of noise, that persistent noise. No one ever consulted anyone who represents me not a councillor not an MP, not my neighbours, not a community group. Not probably really / I remember somebody, a lady (unv.) she used to be minister for transport and it was hard to believe that anybody ever consulted her at all apart, and she was minister in charge of it at one stage, so I think that the noise for me represents that powerlessness and also the sheer certainty with which the aviation authorities and there general sort of access that they formed with commercial aircraft in a way that they are able to just with just kind of cosmetic window dressing and pseudo consultation e.g. the terminal five inquiry that they basically press an and push on and will continue to do so. So I think for me the noise is related/ it's not just something that is registered on a machine or has a dB reading it's to do with A) that my powerlessness as an individual and B) the need to do something about it. So that's frustrating is that where am I gonna find time to try and do something about this and if you said that to anyone, even your best friends, they laugh at you. You see. That's how powerless you are, that even your friends will laugh at you, if you thought that you can do anything about it.

#00:32:50-3# INTERVIEWER 1: Some people say that maps have power. Do you think that maps could have the power to discuss noise. Would you use maps of aviation noise and would they help you to communicate the subject of noise and discuss it?

#00:33:06-7# P2: Yeah, I think profile maps are the best sort of maps for communication other than you finding your way, cross a mountain or something. They, I mean, people like, they like for example those, are they infrared / I don't know much science, but you know those sort of heat registering photographs of something possibly taken from a satellite, people love that, they, you give them something like that and then talk about it for twenty minutes you get full attention, it's an exciting kind of profile and even profiles on a map, the contours of (unv.). So I think they could be superb propaganda to have really good maps that show variation of the reach of the noise factor relative to you know to the / each contour can be a decibel reading you know 20, 30, 40, 50, up to hundred or whatever. I don't know what the range is, but that's an extremely powerful thing if that could be introduced, someone who was trying to put our sort of case in a programme or in a presentation that would be effective, I thought, you know, you put down one rather (unv.) looking profile or contour rather and then you added the next one which was 10 more decibel, or whatever and eventually you saw that almost the entire of our lives in a kind of metropolitan area can be DOMINATED in a way.

#00:34:43-5# INTERVIEWER 1: And have you ever used a noise map, have you, I mean to look up how the noise pressure level is at a certain place?

## ANHANG

#00:34:55-3# P2: Personally I am mainly / ever had interest in it to see where it goes, where the approach paths and departures paths, what are they called, take off paths, where they tend to dominate. That's sort of the thing I have been more interested in. When I first got interested in the whole thing that was this sort of decibel level that was meant to be not exceeded and, I can't remember what was this, 50 something I seem to remember. So mainly it's a more/ the direction of flight path and approach path it's always been more interest to me and the general noise profile map.

#00:35:37-8# INTERVIEWER 1: And you said that you were not using noise maps at the time you were moving into this new flat. How is it now do you use noise maps and for what purposes?

#00:35:46-3# P3: Yeah, I didn't look up before moving there but I quickly looked them up once I got there and I think in principal they are brilliant tools and I think there's huge (unv.)#00:36:00-8# now especially as there is so much stuff being online for you know easy, detailed, rich, visualizations of stuff, easy to navigate, but my (unv.) big data, urban data, it's got to be accurate, trustworthy and it's gonna be contextualized, so the first hurdle I came across was I don't know what all those means

#00:36:24-4# // INTERVIEWER 1: Yes (laughing) //

#00:36:25-5# P3: (unv.) the lines need to relate to numbers, I don't know what the numbers mean and I found that actually surprisingly, you know you had to put a bit of work, I found, to discover

#00:36:45-6# // INTERVIEWER 1: Yes, yes. //

#00:36:36-8# P3: some kind of real world comparison of what 57 or whatever it is meant

#00:36:40-6# INTERVIEWER 1: And how did you get the information?

#00:36:42-3# P3: I just googled around.

#00:36:43-6# INTERVIEWER 1: You googled what, like for reference values?

#00:36:48-7# P3: Yeah, for (unv.) levels. BUT the crucial (unv.) I found with all of them, this isn't something I looked at sporadically, not something I studied, they just didn't match up to my experience. So that's when I lost interest in the noise contour maps (unv.) and then got on to the web track site which shows you delayed version of what's

#00:37:14-3# // INTERVIEWER 1: the live //

#00:37:15-8# P3: going into Heathrow. And THAT matched much more closely to my experience of (unv.) (these data all look, they're trying to look?) but it doesn't, it shows you where the planes being and that made sense then, makes sense then about what is happening above my head, whereas the noise maps didn't really give me that.

#00:37:42-0# INTERVIEWER 2: You saw the maps online?

#00:37:42-4# P1: Yeah, I mean I'm just picking up a point here on a discussion we had earlier, I think the first statement is that the official version of noise is dodgy, that we actually need to objectify, at least introduce another component into the dialogue and you know this type of application potentially can impower communities. I give you a for instance, when I was trying to actually work out about noise levels I was being told the planes aren't above your house the are more then 2000ft, you can't be hearing anything. I said where is the nearest sort of noise monitor. "Oh there in Hounslow, bla bla", basically 3.5 miles away. So there all a (unv.) of actually the airport. What was the point of that for me, as actually a member of the community. It was pointless. Useless. #00:38:42-6# So, yes, I think the point really is / there needs to be some honesty about the noise. It's being denied a big time by officialdom. The reality is as I said it looks like a fish, smells like a fish, is a fish. This is definitely a fish (laughing) the noise is much bigger an issue than actually is being portrait. We know why it's being dumped down, played down, because they don't want to admit, the issue that actually people face, so this as a tool, is certainly something you would use (unv.) designed appropriately and deployed appropriately, something that actually could provide some data to actually use to argue the case. That really, you know we have been telling you for twenty years the noise is all over here as well in these other areas you are not acknowledging and they are above the threshold by the way, so should actually be deploying mitigation. #00:39:41-6# But frankly how can you mitigate for noise in a / your back garden. So they give you a little bit of insulation and a bit of double glazing, so what's that gonna do? So the point is, they trivialize the impact that actually noise can have. (Now it varies?) in terms of how people react

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

to it. I've got a (unv.) extreme reaction to it, and it is something I am trying to manage, it's something I am not wanting, it's another complication in my life. But it doesn't help when officials deny all that reality, it really doesn't. It makes you quite angry and disempowered. But anyways, sorry.

#00:40:28-2# INTERVIEWER 1: And what does this honesty mean for you, because engineers or physicists would say the indicators in noise maps are really honest because they are mathematically, this is physics they are based on equations and so on.

#00:40:43-2# P1. Sure.

#00:40:46-1# INTERVIEWER 1: But do you have the feeling that this is dishonest to you as laymen, because it's hiding something and you cannot understand the values, would it be more honest if it would / if the health risk, for example, would be mapped?

#00:40:58-9# P1: Definitely. Because the issue is the costs, the human costs (unv.)#00:41:03-6# I think the issue about the / you know what the map means is one thing and actually what does a sound of 57 sound like, so it can be described, and what I've read I think "there is a discussion going on in our room". (laughing) For me, my experience of an average day in West London is more than a discussion in a room.

#00:41:26-8# // P3: Totally agree, and (we have it easier in South East London?) I mean absolutely//

#00:41:30-8# P1: And it's trying to get that across and I don't know whether the (samples?) / I mean Boris, fair plays to Boris, the CBI apparently, but I don't know if I have to say this now, but anyway, play the sample of aircraft noise. I thought well done Boris. Probably (unv.) their fingers in their ears, but I thought that's what you've got to do, get down to the nuts-and-bolts of it. I don't think anyone's necessarily saying things can't change, but it has to be balanced, the / this year wasn't it, it was the British medical journal published that, the research and Haca you know went to market with it and that's just actually, serious though it is, the physical side. It's not looking actually at the psychological impact it's actually having on people. There is no resources or no support, or no recognition amongst the major mental health charities and there are actually is a hidden issue in there, but of course difficult to cost difficult to talk about. But it is, it is an issue.

#00:42:43-3# INTERVIEWER 2: Just a quick question, just for all of you. When we were talking about honesty, I still have this question, do you think, let's just imagine that noise was a purely measurable thing, let's just kind of treat it that way for just one second. Do you think that they actually did have been dishonest in their technical modeling or do you think that dishonesty, if you think it is dishonesty, is somewhere else? I am just trying to locate where we think this issue of honesty or dishonesty is.

#00:43:14-4# P3: I don't think that dishonesty is quite the word for me. I think it's accuracy. So I would be surprised if the algorithm itself is fundamentally wrong or misguided. I am sure it's been studied to death (unv.) and it can be improved a little perhaps, but I would imagine much more the issue is, where is the data coming from, the point about measuring it at the

#00:43:36-2# (peruser?) I mean [laughing]

#00:43:37-9# // P1: a physical geographical (unv.)//

#00:43:39-3# P3: Yeah, absolutely. And how sophisticated is their network. Are we talking about three points, thirteen points, 83 points, underneath three points. Where are they? Are they all on the ground, or are some etc. etc. So I'd imagine you need a pretty sophisticated comprehensive network to actually get anywhere near a reasonable proximation of the majority of people's experiences of that noise and I suppose that's partly where you get more to this objective SUBJECTIVE debate that you where touching on at the start. I think for me accuracy of the data coming into the algorithm or whatever it is and then there's also the issues about describing (that?)#00:44:25-9# because that's another facet of subjective objective, I mean certainly a conversation in a room, NO. (loud laughing) forget it! (Starke Ablehnung der gebotenen qualitative Referenzen!) It's more like a plane landing on you head.

#00:44:36-5# // P1: Yeah, yeah.// (starke Zustimmung)

#00:44:37-8# P3: I've seen some comparisons to sort of washing machines on spin cycling getting close that, it's getting a bit nearer (unv.)

#00:44:46-4# // P1: Yeah, yeah.// (starke Zustimmung)

## ANHANG

#00:44:48-4# P3: Albeit this stuff is difficult. Maybe it's just playing sound files and that's more objective.

#00:44:54-4# Interviewer 1: Yeah, we had..

#00:44:55-6# P2: Let's take it further, let's say there's no such thing as noise. So you just got the presence of / (...). Let's just say there no such things as noise, let's face with the presence of these planes going over you. Now that's a factor, that's a different factor from the idea of a motorway that's a mile away, that you can hear all the time, which is not desirable either of course. It's a different sort of presence, it's repetitious, but it's intermittent, however short the periods are and that's leads me onto, the reason why I am saying it, because it isn't just the noise, I know that's what your topic is, but just bear in mind that sometimes it's the presence of the offender and so it's one thing to say that is it 57 the magic number, it's one thing to say 57, I remember it know, but that might be OK if the planes are pretty high and they are going quite fast as they approach what they call it the glide paths as they come down to the (thing?) #00:46:08-5# . But what if they are going at half of that altitude, so they (unv.)#00:46:13-8# right over your chimney stacks. Now that is a different thing regardless of the noise, they may might be going in much more slowly because they are lower \*\*Flughöhe, Sichtbarkeit\*\* and still keeping within this 57 thing, I am speaking theoretically that that has to be kind of born in mind, not necessarily for you, but your studies, unless you don't need to live with it and want to do something about it?

#00:46:34-8# INTERVIEWER 1: This is exactly what we want to know.

#00:46:38-3# P1: I find it very impressive, in fact of (I am not sure if the word crazy violates it?)#00:46:44-5# I feel it's a violation of my civil liberties (whether they were?#00:46:49-0# ) or human rights whatever then I looked them up and found out really I didn't have any, in this country although having done various things, I would have been able to stay here for / well whatever. Anyway, I won't go (down that road?) (laughing). There is this visual thing as well, where they are at a particularly low level. And it depends where your house is positioned or where you are, but it feels although they're sort of just squatting almost/on that might be just a psychological reaction but it's certainly one I had, in the early days I used to bother, feeling (?#00:47:28-8# ) rather just gave up basically because they weren't really listening. It was really, you know, my back garden is not BA's third runway or Heathrow's third / it feels like it. So I do emphasize /

#00:47:42-0# INTERVIEWER 2: So I think that's a really interesting thing you just picked up, just to sort of clear understand that, I mean I really imagine in the way you've described it, made me think of this kind of big hunky things up in the sky. When you talk about presence of the offender is that a similar kind of vision you had in mind, just this thing being there all the time, is that what you kind of meant?

#00:48:01-2# P2: I thought it was straightforward discussed, it's the presence of that thing (...) let's think of clarification. Let's say someone's stupid car alarm goes off in a distance and you can hear it, that funny noises they make (imitating the sound of a car alarm) it might seem quite, because it's so far away, it could sound quite interesting.

#00:48:26-7# P3: I think it's something about constancy or the lack of it (so I was saying earlier that they are almost constant) and it occurred to me, shortly after I moved there, I might actually prefer this if it were constant, because then I bit like that whatever it is noise that you can hear right now, you just tune it out a bit. Because that's not what you've got, you've got a burst of intrusive noise that starts, comes to a peak, diminishes, stops and then you wait a little bit and then it'll repeat and it is the waiting a little bit actually, I think of me anyway, makes it a lot worse and much harder to tune out, because you can't tune out, in you have sort of two cycles to work in there, it doesn't really function like that. And the other thing that made me perceive it much more I think, is the context I talked about our house and nothing above, but also we happened to live in (?#00:49:21-1# ) streets that have those barriers across, so there is no car traffic and consequently the neighborhood is incredibly quiet. So actually for us the city becoming noisier and busier isn't happening at all. And it's substantially quieter to where I grew up in suburban Leeds. And so of course it makes the planes noise when they are over all #00:49:42-5# the more dominant and intrusive and you certainly have a lot of feelings of (...) rage and impotence when particularly you're outside in the garden which otherwise is blissfully quiet and a rest by from the city and so on and (we have almost no neighborhood noise ? #00:50:01-6# ) and then this crushing intrusion.

#00:50:05-7# P2: I'd suggest another sort of contour as well to think about, take it leave it and have a look at it and see what you think, is proximity to noise, if we would map not noise contours but just proximity to this particular issue. So there are plenty of people in the land who never hear an aeroplane. One day, end of the day to the next I was in York over the weekend, didn't hear any aeroplanes and you never do. So what you got here is, you've got the people who are right down kind of the middle line of the (?#00:50:48-7# ) who are us perhaps and worse you know right by the airport. So we have something to say about it, we have some

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

idea of the relationship that is has with us and with society and we formed relatively sophisticated thoughts as we become, you know we think about it and we become if necessary activists what you know / the root word for us is NIMBYs but of course, everything / all opposition starts with NIMBYISM and otherwise / if the people that was suffering don't alert the rest of you, you never gonna think about it. So you have NIMBY without NIMBYs there is nothing. It means that we are compartmentalized all the time, the people that might be suffering in London, or in Hamburg or in Liverpool, what have you, were separated like (cantomised?#00:51:40-7# ). Our ability we need to work out to amalgamate ourselves sufficiently that everybody starts to think about the noise created by commercial aircrafts and our needs and the way we all indeed use / that we need to move towards the way we now think about motorcars, when I was a kid how a motorcar was quite something, I don't mean I had a motorcar, I mean my parents did and that was just such a fant... / people smoked it was great to smoke, you know, doctors smoked on television. My doctor used to smoke when I went down to see him, even when I had a cold and it was a cigar. Who would imagine how much that's changed, who could imagine that now we all have some opinion of our relationship with the car, don't we? We might feel guilty about it, we might even reduce the amount that we use it we might familiarize ourselves with all the alternatives and it might be partly because we are concerned about noise or the planet or whatever. And we haven't reached anything like that as a society with the whole business of this VERY important questions which is driving some people quite nutty.

#00:52:54-2# INTERVIEWER 2: Do you think it almost would be a matter of mapping the issue almost the contours of the issue.

#00:52:59-7# P2: YES [agrees strongly]

#00:53:02-1# INTERVIEWER 2: If I understand you right, you are talking about this thing being bigger than just noise, it's actually something that affects your way of being in a wider sense, right?

#00:53:11-7# P2: It's good for society, if I go back to that car thing, it's basically good for us, wouldn't you agree, that we do think about our relationship with something that is potentially damaging as well as useful to us like a car. We've all learnt to do that there is a little equation that defines each one of us how we relate the car, do we have one, how often do we use it, do we disapprove people with big cars, all these things right. And that's a good thing I think in society that we are moving along / quite a lot of young people don't have a car purposely and I think therefore it's aeroplanes are fantastically useful but create all sorts of damage on different levels and it should be right that we all think about it. As (it's thing stand?#00:54:08-9# ) the majority of people have never thought about it and you just take as randomly and select six or ten people randomly out there and get (us to chat on?#00:54:19-4# ), what are the chances that any of them would know what we are talking about. What do you think?

#00:54:25-8# P3: I think certainly you've got a massive difference between London and perhaps the South East more likely to a lesser extent and the rest of the country because of the aviation market in London and the number of people under those flightpaths. Equally my parents in Leeds live near an airport that's / when I was a kid in the eighties you sort of / a few (nudges?) about the flying club, but now it's expanding rapidly and the difference in noise that they experience is dramatic. But I certainly think you are right about the (cantomisation?#00:55:03-8# ) that / I don't think it would occur to them, but I don't think (ah?) here is a known issue in society that I can now easily engage with as a community member. That's just not there in the discourse. The car stuff yes, but I think that's quite a London perspective, I got a South East perspective. Car use and ownership is actually rising still in the rest of Britain. Albeit in London (?#00:55:34-0# ) people in my age and there's a trend towards urbanization, insurance cost for young drivers and so on an on. (...) Whether plane use is ever gonna be thought of in quite that way (...) because it's something that does effect only SOME people, even though it's clearly not the 350 000 (?#00:55:58-9# ) that's currently (banded?#00:56:00-7# ) around London. It's far more people.

#00:56:04-6# INTERVIEWER 1: Do you still fly?

#00:56:07-0# P3: Yes, and there is obviously a disconnection people on the plane flying over the areas where they quite often don't live [laughing] and so (joining up?#00:56:16-0# ) how much are they going to care and if they change their behaviour as if you said. Yes, I do still fly and living under a flightpath wouldn't stop me flying and I don't see quite why it should, personally because A) I suppose on a selfish level I can mitigate enough, some nights broken sleep and so on, but on the whole I can (live with it?#00:56:37-8# ) etc. and I do feel the fundamental problem is Heathrow in particular being in the wrong place, with the wrong flightpaths, with too shallow approaches, with still running on mainly westerly operations. So you know I don't see the solution is gonna be people of the South East stop flying.

#00:57:07-1# INTERVIEWER 1: Coming back to the map, do you think that there could be an honest and

## ANHANG

accurate map of noise?

#00:57:11-6# P1: Yeah, why not?

#00:57:12-4# // P3: Yeah, I don't see why not.//

#00:57:13-5# // P2: Plane noise? Do you mean commercial aircraft noise?//

[starke Übereinstimmung aller]

#00:57:16-9# INTERVIEWER 1: Yeah because we are focusing on this topic.

#00:57:19-8# P3: Why not basically. You described the science of it. It's basically do we trust people that do actually gather that data, but I think if communities gather it and aggregate it then that's a much better indicator than perhaps the data that we're actually getting from Heathrow for the reasons being (so well?) explained.

#00:57:44-3# P2: Has any of us a well considered opinion about how reliable and truthful records are that are kept by the Aviation Authorities. What do you think, I mean do you think /

#00:57:59-5# P1: I wouldn't trust them.

#00:58:00-3# // P2: You wouldn't? //

#00:58:01-1# P1: That's just me, I've become cynical really, in terms of, when I looked behind things in terms of how facts how Heathrow is pleased. It doesn't really necessarily / well that might be save. I think the operational freedom for example that they had and I think created some of the problems that I've been / now it inherited on other people in other places in the UK. It's really been operational free fall basically it seems that they (causing?#00:58:32-6# ) more or less. That might be my extreme view, but I am not convinced that we have an independent regulator. We don't have one for noise and there was a possibility, I think (Davies?#00:58:44-6# ) is sort of edging away (from that maybe?). Why would that be? I suppose it might be because Heathrow would be held to account more, perhaps. So therefore if that mechanism isn't gonna be there we need an alternative.

#00:59:04-1# INTERVIEWER 2: I just want to come back to the question you asked because I wanted to know what you mean, I just wanted to be clear what you meant by records?

#00:59:13-3# P2: There must be records maybe, don't you think / what do they call, is it NATS they call themselves the Air Traffic Control, they must be keeping records of every single flight. What do you call that sort of overlay when you just repeat an imprint on a paper and you get a density, what's that called? Like a density map

#00:59:38-0# INTERVIEWER 1: Like this? [shows flight track map no 1] It's called radar flight tracks.

#00:59:40-9# P2: Flight tracking, you see.

#00:59:42-3# INTERVIEWER 2: From the website.

#00:59:44-8# INTERVIEWER 1: This is official by the Civic Aviation Authority .

#00:59:52-1# P2: (unv.) obviously you need a little bit of activism to just register an average, what we call decibel level per plane, and obviously familiarize yourself with the flightpath and then plane noise strategically (plays?#01:00:14-0# ) at different distances from the runway your measurements and build up an average there and maybe take the number of averages and trying to get an average of averages and get a general coefficient that you can use every time and then you know that there is probably 550, 600 flights a day and you can start getting an equation out almost, can't you.

#01:00:40-1# INTERVIEWER 2: The point I am trying to make is that stuff is actually public information. So do we trust them, do we think there's manipulation, this data is FALSE. There is a difference, if we think this data is true, where is the break in the chain because I think they use this (stuff?) for doing the modeling for the contours. So as far as I understand these kind of things are actually used with the measurements to produce these kind of contour maps [shows a contour map of Heathrow no2, contour map 2012 of the standard modal split]

## Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm

#01:01:12-6# P2: Yeah, sound maps.

#01:01:15-2# P3: So here we come to the massive disconnect, for me, THIS [map example 1] which is the where the planes were map, that looks right, that matches my experience, that matches to what I can see from the roof of my flat. I trust it and it fits in with the web track radar stuff I looked at, but THAT absolutely doesn't.

#01:01:38-1# INTERVIEWER 2: [shows both maps next to each other] So what's the big difference between that two? Because that one has loads of line on it and that

#01:01:41-8# P3: NO [laughing]. The big difference is this (hasn't got?) ANYTHING like a big enough area. So in here we are talking about as if / it's really a not even a West London problem, you really talking about a sort of West-West London problem. We're talking about a Windsor through Hounslow to the edge of Richmond Park problem and that's it. That's farcical.

#01:02:05-9# [inarticulate clutter]

#01:02:10-6# P1: Because the games that they are playing of yours are basically to say we've reduced the noise affectively how they do it (unv.) by dodgy numbers maybe, but by compression, and they are actually trying to compress everything so that they actually are saying that, I don't know how many kilometers it covers this area, we've reduced from x to y (aren't we doing so good?). But the reality on the ground is, what you were saying, the noise distribution doesn't look anything like that.

#01:02:39-5# P2: That would probably be suitable for 1960/65.

#01:02:44-4# P3: I know I mean if only it was that, we probably wouldn't be here.

#01:02:47-3# INTERVIEWER 1: Because it suggests that outside the 57 contour there is no problem?

#01:02:55-0# // P1: Exactly, exactly. //

#01:02:55-2# INTERVIEWER 1: Does it suggest that because it doesn't say anything?

#01:02:58-5# // P1: Exactly.//

#01:02:58-3# INTERVIEWER 1: And if it doesn't say anything it's / it says that there is nothing?

#01:03:04-0# P3: And there is also no lower level than that so it falls off the cliff of 57 and the map size is clearly framed only to only include those contours, leaving you with the clear message off that is right that is fine.

#01:03:19-1# P2: Perhaps there is something we should have said right at the beginning, noise isn't just volume.

#01:03:23-4# // P3: No.//

#01:03:24-1# P2: It is frequency of noise and presence of the offender.

#01:03:27-4# R: And time even as well you know frequency and the whole range.

#01:03:32-7# P1: Actually can I just pick up on that point because it was really what I was / because in this Lden measurement, the averaging, they are actually looking at / they are focusing on A rather than a C-weighting so in other words, I just looked this up, it's a bit technical and I wouldn't remember otherwise, so they are actually excluding the lower frequency and the issue is that part of the issue for many people it is the bloody low frequency apart from the presence of the offending plane or whatever. So some people tune more in because I was listening to / there's an anticipatory issue, so they are there, they are not, they are there, they are not, when are they coming back. I expected them this morning, because I actually got in, that's sad I hate the weather report, like damn they are coming tomorrow morning. You know today they didn't as it happened and you begin to anticipate it, which is not a healthy thing to be doing. But because the park is lovely, but I can hear perhaps four or six hundred meters down. And I can be sitting upstairs and I can then / you know my (missed lots ?) of other things. But unfortunate I am becoming sensitized to a particular frequency, so I will "there is something" and then I / there is, it is / and I have to admit it and I have tried to

educate myself and I still got to try and get out of the habit, but at the moment that's where I am actually in this change model for me.

#01:05:10-7# P3: I got into a sort of cycle. I think there is a lot of power in the anticipatory anxiety (unv.)

#01:05:16-8# // P1: Yeah, yeah //

#01:05:19-1# P3: And I am in sort of cycle of dreading the moment when they first come in the morning and then once they had come and they have woken me up then getting (unv.) and angry with each one in succession and it feels like you're on some kind of perverse production line and I had to some extent / it's much easier when you are further away, in South East London, but I had to train myself out of it as best as I could, trying to deliberately desensitize myself.

#01:05:48-3# INTERVIEWER 2: It's interesting with these lines, right. It gives you much more of the sense of something actually coming up, you kind of anticipating (unv.) coming across and then kind of, you know, it might be quite quiet. But actually if you look at this [contour map no 2] (unv.) there is no planes I mean one way of thinking of it there is no planes on here, right.

#01:06:02-4# P3: Also there is no colours, so there is no sense of intensity, whereas of course that one [no 1 radar flight tracks] because it's overlaying gives you the intensity because you see where the lines are very thick and then you see where the lines are very thin.

#01:06:11-5# INTERVIEWER 1: OK, so you think colored lines or colored areas would be better?

#01:06:15-2# P3: Yes, because you could see the numbers on that on there sure.

#01:06:18-1# INTERVIEWER 1: Do you have an idea of traffic noise maps? Because they use

#01:06:20-7# P3: Yes, and actually it sounds interesting, it reminded me, I have forgotten. When I started to look into this I came across that [referring to the contour map no 2] That one, no sorry the other one, the contour.

#01:06:30-9# INTERVIEWER 1: This is the official one, very, very official.

#01:06:33-7# P3: So and that was when my immediate members of disconnect (so to say?), this just doesn't work, this is not reality and that's I think when we got into the are they lying territory, but then I found noise mapping on the roads in London is actually far more developed and accurate and colourful and understandable for me.

#01:06:53-4# INTERVIEWER 2: It's modelled

#01:06:55-3# INTERVIEWER 1: It's modeled it's not measured.

#01:06:56-7# P3: Right.

#01:06:58-0# INTERVIEWER 1: And the use the same indicator, they use Lden as well, but the representation is different because they have these coloured isophones, not just the contours.

#01:07:12-8# P3: That's very interesting.

[INTERVIEWER 2 shows traffic noise map of London on his screen]

#01:07:13-5# INTERVIEWER 1: I mean this is Levening, this is not Lden but it's similar, it's not contour lines.

#01:07:20-4# INTERVIEWER 2: These things they are basically purely (sorry that's a small image). These things are purely modeled based on distance to major roads, so they simply say you know like an A-road produced x amount of noise. What it does it makes it look like they have a huge amount of data.

#01:07:37-4# P3: Yes, and I assume they did, that's very interesting.

#01:07:39-4# INTERVIEWER 2: And they don't, it's all modelled.

#01:07:40-6# INTERVIEWER 1: They have different input data, it depends on the elevation and so on

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

#01:07:45-2# P3: Because it was presented in a way that I could understand they are more closely mapped to some sort of logic I suppose. I accept it much more.

#01:07:55-2# INTERVIEWER 1: What produces this logic, the use of color or? And how did you interpret it, which colours would

#01:08:04-5# P3: Traffic lights, red is stop and danger, so red is main road, so that makes sense.

#01:08:11-2# INTERVIEWER 2: So this is where I live and basically what they actually have, they actually have 3D maps of the area, they actually looking at how noise kind of travels from the main road, I mean this is all modeled that's what I was saying, so they have literally propagation patterns where they say, there is a building here and then it propagates around this building.

#01:08:28-2# // P3: Therefore //

#01:08:30-1# INTERVIEWER 2: So it makes it look not just like thin, straight lines if it was purely just on the roads. But it gives you this kind of organic quality that makes it look like it is based on measurements.

#01:08:40-9# P3: Cause potentially you could overlay that with the crowd sourcing idea you were talking about. Or whatever on the ground data, as official data as well and you know get it all in one space.

[another map is shown, short talk about which one shall be shown between Interviewer 1 and 2. It is decided to show "patterns of arriving/departing aircrafts" before the WideNoise map is shown]

#01:08:55-1# P3: I have seen this before as well.

#01:09:06-0# INTERVIEWER 2: Do you remember what this one is?

#01:09:03-8# INTERVIEWER 1: It say/ This are the patterns of aircrafts arriving on easterly operations [no 3]. So there are four maps two for arriving easterly, westerly and two for departing easterly, westerly. And the color indicates the height of the flight tracks. So it's similar to this one [referring to the radar flight tracks]

#01:09:32-5# P3: So they are above 6000 feet of (unv.)

#01:09:35-7# INTERVIEWER 1: but here [no 1] the flight tracks are in one map and with this representation we need four maps and it also indicates the height.

#01:09:45-8# INTERVIEWER 2: I guess the thing that's important with this one is the representation of all the (unv.) anything else, but it's a representation of this kind of amorphous yellow.

#01:09:53-5# INTERVIEWER 1: Yes the information is similar. This doesn't represent the height, just blue, red is departing, arriving which you have here in different /

#01:10:00-3# // P2: That's take off, isn't it? //

#01:10:02-6# P3: Yes.

#01:10:03-7# INTERVIEWER 2: Departing yes.

#01:10:04-3# P1: Can I just give you a for instance about departure heights. I think I am somewhere, I thought we were 8 miles from Heathrow, then they started talking about nautical miles to me. And essentially, and it depends what end of the runway they are coming off, but they got to be at least 6 miles away, at least. And I was advised that within 5 miles they should be at 4000 feet, we have a lot of (baloney? #01:10:35-0#) in the summer, so the issue with all of these B52 bombers, as I call them, the four engine guys like this coming over. Basically because they are flying abnormally low because of the weather, so I say, well if we have heat in the summer and we like enough to have heat we should be able to anticipate that for contingency in place. So therefore start climbing sooner before we get to point B to find out that we are actually too low causing even more chaos. But it's just actually, it's a symptom really I think of the culture of the mindset that they actually have, doesn't matter, you know what park wherever we want we'll make whatever noise we want. Because there is no so what, there actually isn't a so what you know. There isn't a consequence. And you know that's part of the issue, the challenge in terms of facilitating the debate, joining up the (cantomised?) communities, actually leveraging that. By saying oh now hold on, you know together

## ANHANG

we are a bit stronger here and we have got a bigger voice.

#01:11:44-0# P2: Last day I chatted to [name], I hadn't seen him for ages, this year some time anyway, I said to him have we really got a sort of / has HACAN got a science department [laughing] because it seems to me just saying like Christian said it's like the variation which is that the way in which it works it's here say that's my opinion. That basically BAA who run the airport to a lesser extend CAA who live in a (unv.) stratospheric building somewhere anyway, I have been to it once, somewhere in London, where is it. An they basically /

#01:12:29-1# // P3: Kings Way //

#01:12:29-6# P2: Where is it? Kings Way. And they deal in here say and so if there is a meeting and ever and they come to it they will make assertions, but it doesn't (unv.) with what the complainants and activists are saying and never does and that's the way it will always be and I think, I was saying to John, you know the way forward should surely be that we have a little molecule of young scientifically brained (or trained?) people in the organization who will kind of really gonna get facts out and statistics out and to approach the whole question of noise and nuisance and make sort of a statistical links between the two concepts. And try and then reapproach because so much of what happened of the terminal 5 inquire whenever it was 10 years or more ago, twelve years ago, can't remember now, there was masses of masses of evidence bits of it was scientific, bits of it was statistical but an awful lot of it was sort of EMOTIONAL, even some of it, and so we need to move on from that and to deal with this quite ruthless folk with science and to try and get that to attract the attentions of people who COULD possibly have some effect and in fact some change and eventually move towards the dismantling of the present regime of this little (?#01:13:59-6# ) CAA, BAA and BA and the general cozy commercial (airline ?) which is not answerable, it's up in the air, so to speak and it's not answerable. We need to bring them down to earth with a scientific approach and start producing some indisputable facts, instead of being swapt (unv.) all the time at these meetings (unv.)

#01:14:30-5# INTERVIEWER 2: Well I think this is why John's started working with us here, we have now been working on this for at least a year with John on this stuff, as UCL. I think that's a really interesting proposal you have to set a research group almost inside HACAN. It seems to be quite useful having UCL, the UCL thing of seen to be sort of independent being involved in this. So I think that's an interesting questions but also, I guess one of the things I have been finding difficult, you know I have been working on this now for more than two years, is finding out exactly where the kind of leveraging point is. Because I am finding it very hard to identify exactly still this kind of blend between. Is it about identifying the illegal morning flights, is that where the key issue is, or is it about identifying exactly the kind of the let's say the presence of the, what did you call it, presence of the /

#01:15:32-5# P2: of the offender

#01:15:33-6# INTERVIEWER 2: of the OFFENDER. What is the particular thing to (?)

#01:15:36-3# P2: Perpetrator, if you want a less subjective word.

#01:15:41-8# INTERVIEWER 2: So what I am trying to say is what is the key thing to focus on, because in the moment whenever I talk to people it's a different particular topic that comes up. I think the bit that, at least I would be very interested, and I hope the contribution of my PhD might be helping to identify you know what is that leveraging point?

#01:15:59-1# INTERVIEWER 2: So if you do have thoughts even after this, that you think that's the key point, is it the maps, like Beate is working on the maps, being that leveraging point.

#01:16:08-9# P3: I certainly think the maps would be a BIG part of it IF they can be good enough. So for example when I am holding the arriving on westerly that does pretty well at showing intensity I think, that also does pretty well at showing routes, where I think it completely falls down is height, so it's all yellow until it's not [laughing] and then it's sort of oh well never mind they are really low here, never mind about that. It sort of buries it in that way and therefore fails about that. And then what none of them manages to do is get any sort of impact measure as in the impact on people of the noise and that for me is a big lack. So clearly that the contour maps are laughable, but something that /

#01:17:03-6# P1: I mean I have wondered, I mean it wouldn't be the answer some sort of a diary, cause there needs to be some sort of qualitative aspect, needs also to be garnered as well as the more objective side of things. Because the nine-year old in the case study, who basically wrote on behalf of their mother, you know the HACAN case study, they are good case studies, but they could be (unv.) they can't obviously it's (unv.) the resource to go into it. But it's actually telling more stories in a kind of ways. John included me

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

but I didn't actually tell my story, it would be quite a few / well I'll have to get clearance from my wife for example. Well I had to pull out, we had a loft extension done, it was a (unv.) that was it (unv.) nearly finished the house. The planes kept coming driving me / I said I can't move upstairs, so we were camping downstairs for six months, I wouldn't move up. It was me trying to find a way to actually deal with the issue. So I knew I had to get up there I just ripped everything back up again, you know most, all the blaster board, all the (cellatex?), out the window, don't make you feel too good, and then you actually have to buy all the acoustic insulation in, then the board which you couldn't lift to get in and (unv.) and I just really kind of finished that and some double, secondary glazing that really pissed me off. Now it wouldn't have made a difference with Heathrow if they would have said frankly that looked all (dozed?), that'll look all pond those ripples I was showing. It doesn't include our area. Our local politicians know that a lot of the area is being (decimated?) but they won't deal with it because politically it's actually very risky, how do they play it /

#01:19:11-4# P3: And what are the chances for change?

#01:19:14-2# P1: Exactly

#01:19:14-5# P3: I mean upon (unv.) it doesn't even feature London really, just quite (unv.)

#01:19:16-4# INTERVIEWER 2: The contours yeah?

#01:19:18-1# P1: So we had 57 I thought it was 61 it was hitting four day when I had it sampled. So what I am trying to say is, that it should have been reflected on THAT, it wasn't, we have really raised that issue. And this is why I can't understand HAC? Have you heard of HAC (Anm.: Heathrow Aircraft Centre?)? This is a / it's Heathrow sort of body where they actually / Heathrow invite people who are good enough to actually talk about their issues and then they swat it away basically. I know that we have raised issues about that we weren't involved in the DFT consultation regarding noise. That we were actually excluded and we made the point, our representative did, nothing happened. Again I am just going back to the governance, it's weak, it's flimsy. It's actually, going back to the point made here that it's really just a / I don't know, a group of self-interested individuals.

#01:20:22-2# P3: You point about leverage, what's the point.

#01:20:25-2# INTERVIEWER 2: Where is the point?

#01:20:26-3# P3: I am not sure there is one, but I think the idea of using / of getting the best evidence possible that is respected because it has the (unv.) of someone that is independent. Fighting someone with their own tools is usually effective and I know, you know the opposition to third runway John feels that getting that economics report commissioned which undermined the economic case for the expansion, was a key part. That's in a way not a natural step for a campaigning organization that just doesn't want planes landing on peoples heads and all the ruination, but actually it's probably quite an effective one. So here I think it's getting a true picture of the impact of this on London, the people of London which from all of what we have got in front of us now just doesn't exist currently. I mean certainly (unv.) illegal morning flights and so and absolutely that's an opportunity and a huge issue. But it's more something that just shouldn't be happening rather than a day to day reality. Which is a huge reality when you think of the numbers of people we are talking about.

#01:21:39-1# P1: But I think that actually goes back to this issue of operational freedom. (unv.) they actually (unv.) because even on days where you know the planes are going in another direction. You'll actually get loads of planes going across the airspace where you wouldn't expect them. So the issue is they are pushing the boundaries (unv.).

#01:22:06-8# INTERVIEWER 2: (unv.) just show you these two maps.

#01:22:07-8# INTERVIEWER 1: Sidney tried to give some more information besides flight paths. But it's just for certain points, like average day movements. [shows map no 4 and INTERVIEWER 2 also showed the WideNoise map that shows contours and tags.]

#01:22:17-6# P1: are they the same size, these are uniform (unv.)?

#01:22:23-0# INTERVIEWER 1: So these are two different things, but somehow connected because both give information for a point. Like Sidney gave information for certain points like the average daily movements, percent of movements. Could that be qualitative information that would make you happy. One could add more information to that.

## ANHANG

#01:22:45-7# P3: I think that's an improvement, for me.

#01:22:47-9# INTERVIEWER 1: Additionally to the flight paths. One could add more information but it would just be for certain points.

#01:22:54-1# P3: I mean I think you could have, you know/ the web tools are there, the software is there/ you could / if you wanted to sit and look at this thing with every layer added in, you could do that, or you could just look at one aspect or just three aspects. But the point is in the richness of the data to try and get nearer into people's experience.

#01:23:12-1# INTERVIEWER 1: For the moment there are no interactive maps.

#01:23:14-7# P3: right

#01:23:14-3# INTERVIEWER 2: So the richness you think, you think it's the density (unv.)?

#01:23:18-1# P3: I think it's the accuracy, so you know height is one crucial factor, (outright?) noise level is another crucial factor, frequency is another crucial factor, proximity to the paths itself, you know how far are you on that cone, or whatever it is called, underneath it. These are all things that mount up to

#01:23:34-0# INTERVIEWER 1: daytime?

#01:23:34-8# P3: Are you affected only on easterly operations because that's only thirty percent of the time.

#01:23:40-1# INTERVIEWER 1: And daytime is that

#01:23:41-2# P3: And time of day

#01:23:43-0# P1: The other thing, I mention it and then it can be discarded, it did occur to me also with the Leq the 57, it's 16 hours snapshot. The point is the distribution of planes might actually vary throughout that 16 period. In fact it's dumbed down as the average but you are actually (demented out of you head?) for 5 or 6 hours rather than the whole day. I don't know how valid that is, but you know

#01:24:11-7# P3: There is always an issue with averages.

#01:24:14-3# P1: Yes, yeah.

#01:24:15-4# INTERVIEWER 2: I just want to explain how it is made. So basically what we had is this mobile phone app that we had about / I think all in all we had a few hundred people using it and they took something like 10 000 data points around Heathrow. So we started off in Isleworth and we had one in Heathrow villages and now we are working with Windsor and Maidenhead. Basically it gives you a basic crude measurement I would say, it's not particularly accurate. But what it allows you to do it allows you to put in tags as well. So what the text on the map is (unv.) kind of comments that people are entering in

#01:24:51-8# P3: And they are located where the blob is.

#01:24:55-5# INTERVIEWER 2: So one of my questions is really how do you feel about adding some of these kind of text or qualities, some of these kind of expressions of people really talking about the experience into maps. There's now people here, we could all / there are sort of planes here (black shapes ?). These things are planes but there is no sign this is a plane in any shape or form. In this there's also people. What do you think about those kind of textual comments in these kind of maps.

#01:25:23-6# P3: I personally find them very powerful. They need to go alongside other data, but I think qualis is very powerful, there's not just anecdotes and this way of showing them clustering / I mean some of the comments read fairly oddly you know (maybe it would be better if it was clear in the sense that?) people have been asked the same question, maybe they have been asked the same question.

#01:25:44-3# INTERVIEWER 1: It was an open comment.

#01:25:45-3# P3: OK. So that /yeah yeah

#01:25:47-1# INTERVIEWER 1: People were not asked questions, they could write whatever they wanted.

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

But you could ask them questions.

#01:25:52-8# P3: But there is a strength in this getting whatever they want to say also. I think the main limitation of this is that it looks like it is build around that completely false contour map. So in other words, what you'd need is this but over the rest of London as well because if you just have that that make it look like a very West London localized issue.

#01:26:12-0# INTERVIEWER 1: OK.

#01:26:13-6# INTERVIEWER 2: You can see a trading off, I mean actually if you look at the measurements they actually go much further than Heathrow you know if you zoom out they actually go over a quite large area [INTERVIEWER 2 showing the WideNoise map on his computer screen]

#01:26:23-6# INTERVIEWER 1: This is the same data.

#01:26:24-4# P3: Yes, OK.

#01:26:25-4# INTERVIEWER 1: This is just a snapshot. There is more data about it.

#01:26:29-4# INTERVIEWER 2: What I thought was interesting is to actually put it right next to the contours and to show. Basically Windsor are really interested in it because a lot of their local residents are just technically outside of the contour line and you actually have a lot of them taking measurements, because they are affected.

#01:26:43-1# P3: But I mean, plane heard from inside double glazing. That's true for me, but I am 15 miles away.

#01:26:50-2# P2: ... said couple of things(unv.) one is (unv.) the expanding nature of this, obviously we expect it to be a cluster of recognition of the noise and the awareness of the planes near the airport, whatever near means, but the fact is that it is expanding that catchment is expanding and its expanding for one reason is the number of flights and also is the decisions still extend further and further out this glide path, or what it is called approach path, that's why Lewisham is suffering in a way it is whereas 15 years ago it was nothing like that out there. It is all because the approach paths have been lengthened just again. You must almost say (unv.) certainly not in any democratic or consultative way and that needs, well I suggest you that somebody might look at, as in the imparting of information to people, and also what people may find useful especially people like yourself who have moved to an area. See there is two types of people in the world, people who moved into something conflictual and those upon whom it arrived subsequent their arrival. So you know if you are able to accumulate previous information, so that you can show a developing picture over 10, 15, 20 years, now what you probably find is that of course BAA and their gang they will keep as little as possible of records. So they can say it has always been like that, and you say "No, no I noticed" / I (unv.) John has these problems sometimes, I have said to him, "don't you notice now that it's like this", and he said "Oh, no. Yes I look after that". You see, and that (arrives at?) how will I proof it? (It's ever only been John?) that I am trying to proof it to, I am trying to proof it to a meeting and there's BAA over there saying (unv.). Well proof it. We need to get into a situation where from now on / because we are going to get scientific we can proof things from now on and that's an important thing and that is very powerful, as regards activism and just the imparting of information to interested parties you might say, stakeholders almost.

#01:29:23-6# INTERVIEWER 2: Well that is part of what we are talking about is proof it but the question is how I want to proof it, right? Because, in some ways what we are talking about is there is a lot of detail in the visualization chosen and the nitty gritty of the details of this. So one of my questions for you is would having some of these (con?) statements be part of the way of proofing it or is proofing it, is that proofing it, which proofs it more? [referring to the two maps that have been shown before, no 4 and the WideNoise maps including the annotations]

#01:29:52-7# P3: Oh I think, you would need the / well. If you make me choose one or the other.

#01:29:57-8# INTERVIEWER 2: Mmmh, I just...

#01:29:58-9# P3: OK, so fine, so in which case I say both.

#01:30:00-9# INTERVIEWER 2: OK. (unv.)

#01:30:03-3# P3: Although I would say THAT, just the qual would probably be less effective to regulatory

## ANHANG

government, etc. (unv.) But I do think there is a lot of power in the qual.

#01:30:20-5# P2: (I just got?) got this idea, that one of the ways in which / I can't answer your question (unv.) People are on their own and they need to join up. In order to join up they need to have the information they understand so that's the task you've got with your maps. You've got to try and workout a combination if necessary, so that people understand their situation and then they are more able to voice it. And therefore they are more able to attract the attention of people in authority that might be sympathetic or put it another way, might need their vote.

#01:31:06-5# INTERVIEWER 2: So it's the stuff that happens around the maps,

#01:31:08-5# // P2: Yeah //

#01:31:08-4# INTERVIEWER 2: rather than the map itself.

#01:31:09-9# // P2: Yeah //

#01:31:09-8# INTERVIEWER 2: It's the collectivization of the map, right?

#01:31:12-0# P2: Well, if you like, yeah

#01:31:13-3# P3: And the way the map can be disseminated. The way the map can go onto a newspaper's website

#01:31:18-3# // P2: Exactly, that's interesting. //

#01:31:20-1# P3: It can go onto the evening news etc. etc.

#01:31:23-0# P1: Like (unv.) came up lately

#01:31:26-6# P3: Cause there (unv.) got, if it can work, it's asking a lot of it I realize, but if it can work visually immediately in that sort of on-TV-way as well as (in?) the deeper dive where people want to explore it more (two versions of the same thing etc.?) Then I think that can communicate in an instant a lot of what we are talking about.

#01:31:47-2# P3: And you got the two alternative worlds, a world which you have been (pedaled?) by BAA and the (unv.) and somewhere near the reality which is the alternative view here and then maybe there is a chance then for at least that two juxtaposed positions a chance of actually having (unv.) a dialogue, with actually is missing at the moment.

#01:32:07-2# P3: Can I just asks, this 57, (unv.), the pond ripple map with the 57, what's the magic property with the 57?

#01:32:14-9# P1: Because I can actually keep it nice and small like that and it excludes (unv.) [laughing]

#01:32:19-2# P3: If it is less than 57 it

#01:32:23-3# // ?: It's off the map //

#01:32:23-3# P3: should be OK

#01:32:23-5# INTERVIEWER 2: It's meant to be the annoyance level of as far as I know indoor noise

#01:32:28-3# P3: OK.

#01:32:29-1# INTERVIEWER 2: It's the average

#01:32:31-4# P3: That indoor point, it's fairly key.

#01:32:36-8# INTERVIEWER 1: It was decided according to research from the eighties.

#01:32:44-1# All: Hmm. [general agreement] That's a long time.

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

#01:32:44-8# INTERVIEWER 1: They said started at 50 Leq and the onset of community annoyance is / annoyance starts at 50Leq and showed a significant upturn at 57. And this was research from the 80ies.

#01:33:05-8# // P3: So actually //

#01:33:08-2# INTERVIEWER 1: This measure is just in UK

#01:33:09-2# P3: What we are looking at here is something that is (A) completely out of date.

#01:33:11-9# // P1: Yeah. //

#01:33:12-0# P3: Doesn't even run on it's own logic.

#01:33:17-1# INTERVIEWER 1: This is criticism on it.

#01:33:19-3# P3: You mentioned 50.

#01:33:20-4# INTERVIEWER 1: Annoyance starts

#01:33:24-1# P3: That's quite a key fact "annoyance starts" isn't it?

#01:33:26-5# [active discussion with a lot of confused talking]

#01:33:27-0# P3: And also this in indoor.

#01:33:29-3# INTERVIEWER 1: Also annoyance changed within 30 years, so it was different then, the frequency was different. And also

#01:33:36-0# // P2: The hours where different //

#01:33:36-4# INTERVIEWER 1: It doesn't look at the frequency, because a doubling of frequency, is just 3dB(A) more, So this doesn't look at frequency.

#01:33:48-7# P3: So it's useless rather.

#01:33:48-6# INTERVIEWER 1: So for aviation noise it's not the right measure.

#01:33:51-9# P1: Which is why they continue to use it.

#01:33:54-2# P3: Yes, quite.

#01:33:54-7# P2: Supposing we could come up today, we could come up with a new number, which was a multiple of decibels, times, frequency whatever that might be called and then we could sort of set a kind of 57 type equivalent line and that would be an interesting contour you see. Because that gives you a kind of primitive ability to mix the 2 variables which is frequency and the volume.

#01:34:24-4# INTERVIEWER 2: Whatever, if you accept your (unv.) contour, there's always be a line. There is gonna be people that are affected and people that are not affected. So what I am saying, you can make a 50 it might be here, you'll still gonna be annoyed.

#01:34:38-4# P3: I am certainly am but I just don't buy this, this is why I don't understand what the 50 means. OK even a 50 stretches it out to include Barnes, then [laughing] / that's so far away from reality. But it OK to see the point that a contour is a line and there is a binary aspect to that. That makes me think that what I am really after is a shading, some sense of a drop off.

#01:35:03-3# // P1: Graduation. //

#01:35:03-9# P3: Graduation. It is not on this side of the line it's the problem, and on that side of the line slash street it not a problem. It clearly too (unv.)

#01:35:11-5# INTERVIEWER 1: I you think it's a matter of communication, because they don't say what values are beneath, that there are values beneath 57, like in traffic noise maps all of the area is covered with color.

## ANHANG

#01:35:22-4# P3 + P2: Yes.

#01:35:24-0# INTERVIEWER 1: So you know there is noise everywhere, just lower. It doesn't say here, so that's a matter of presentation.

#01:35:30-1# P2: Do you think it's a good suggestion, to try and work on a way of combining two variables?

#01:35:39-5# INTERVIEWER 1: It is

#01:35:40-3# P3: I'd combine as many variables as you need to combine. I think it's more than those two.

#01:35:45-1# P2: What I wanted to say, these maps are just one you see

#01:35:48-8# // P3: They are hopeless //

#01:35:48-8# P2: even if they were more accurate, it's just one variable, it's the volume. It would be (unv.) more useful for us at least if it had frequency (unv.) and frequency, but the noise and the frequency combined into some kind of measurable notable variable that would be good, you see that.

#01:36:15-9# INTERVIEWER 1: It would even be a step forward if we would have two layers like the contours and frequency.

#01:36:23-2# P2: Yes.

#01:36:23-9# INTERVIEWER 1: If the indicators cannot be combined, because this is an official indicator, so you cannot just change it, but if you would add information to the map I think it would be a step forward.

#01:36:33-9# P3: So is this actually the official version currently?

#01:36:37-5# INTERVIEWER 1: This is the UK. The EU has a different indicator, it's Lden, day evening night, it's SIMILAR. It starts at 50 dB though.

#01:36:49-2# P3: That's staggering.

#01:36:51-6# // INTERVIEWER 1: It's also contours. //

#01:36:52-2# P3: If that also happened in British transport planning that the TFTs road business modeling data is miles out but they still carry on with. The high speed two business case is based on time value assumptions that predate the internet and smartphones and tablets, you know, it's just a joke really, but isn't it?

#01:37:13-1# P2: At this time I want to go. Can I ask you, I have a crude view of how things should move. Are you interested in that, because it's not a scientific thing.

#01:37:28-5# INTERVIEWER 2: I am not scientific either.

#01:37:30-2# P2: Would it be useful to society to start solving it?

#01:37:37-7# INTERVIEWER 2: You have some ideas beyond what we have talked here?

#01:37:42-7# P2: Yeah, a little bit. Not mainly that, but just because it's just an advance on it all. (unv.) I just think that / I was listening to some chat yesterday on, was it on the world service or something like it, it was all Mark Tully, if you know who he is, he is the India expert for the last 40 years or so on India. And he was talking with the, who is that author, (Remple?), William ? Remple, they have been in a discussion about this spaceship that India has launched yesterday, did you notice that?

#01:38:17-8# All: No

#01:38:19-1# P2: (unv.) India has launched a spaceship to Mars, OK. So there was this big discussion between these two old heads, about whether this is an acceptable thing for a society to be doing when half of people in India don't have enough to eat and they even don't have a toilet to use. And they were both trying to get to the real crux of it. Was its quantitative or qualitative, the deciding factor. What I am saying is a

## *Materialien zur Überprüfung der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Fluglärm*

preamble to what I am saying here is I think that the real problem ultimately is were the power lies to make decent qualitative decisions for the whole of society here that bounds the different people on a kind of social contour. And I think what we need to do is work towards the dismantling of this rarefied system and create a body of stakeholders, which is CAA, BAA, aircraft pilots, local communities, MPs, scientific people involved in the things, and whatever, how ever expansive your mind is. And that is the kind of body that should be making these kind of decisions where all the factors that we have talked about and even things we haven't talked about brought together and that is a body with power and it's taken away from these people who live in these rarefied ivory-tower buildings. You make decisions and change all lives with a (unv.) like that [clicks his fingers] they'll say tomorrow we'll make from that approach path by another three miles and people have never seen a plane before suddenly they have 500 going over the next day. That should be stopped. And that's the way in which we should move towards all these kinds of issues, we should have stakeholder organizations legitimate and empowered to make decisions about this relatively complex things in our lives that we need that also annoy us.

#01:40:42-3# INTERVIEWER 2: I think it's half past eight.

#01:40:46-1# P2: Please carry on, but I want to just... (unv.)

#01:40:52-2# INTERVIEWER 2: Do you have any kind of pressing kind of thoughts that you feel we have kind of missed? Is there something we have missed so far?

#01:41:00-6# P3: No, not for me.

#01:41:00-9# P2: The solution, long-term solution is the most pressing thing and our frustration is not just with the planes and the noise it has to do with our lack of empowerment.

#01:41:16-6# P1: Yeah.

#01:41:18-7# P2: And it's becoming more and more of the kind of dinosaur situation that this can prevail that we have this airport in a stupid place, as you said, and we have these various bodies that made these to what seems to us completely random decisions, which radically alter and effect our lives.

#01:41:39-5# P1: All in the national economic interest. (unv.)

#01:41:47-5# (Confused discussion.)

#01:41:45-9# P2: I think the statistics are that 30% of the people who arrive at Heathrow are in transit. What's that doing for the local economy.

#01:41:57-7# P1: (unv.)

#01:41:57-7# P3: Actually a bulk of Heathrow traffic is people are on holiday. So, sure there's an / that's an economy, but it doesn't HAVE to be at Heathrow. Necessarily in the big picture of things. In the end the solutions got to be some sort of slowing down or shutting of Heathrow, I think. But there is a HECK lot of mitigation that keep coming before that and far better awareness and information, transparency etc. or (unv.).

#01:42:27-1# INTERVIEWER 1: As long as the contours don't change or don't change much, for them, it's alright.

#01:42:34-7# P1: The lie has to be challenged ... (unv.) Because they can't get away with it because there is nothing else, there is no alternative (unv.) it's just being swatted away. (unv.) We've done it 25 years, there's not been a change and basically (unv.) data, it would not have made any difference but it would have been a bit more articular in the arguments that we've made. And I knew that I didn't have B52 bombers, to keep describing them these B52 bombers before. And it's the long-haul and affectively I think it's because BA, amongst other things, switched around their long-haul, they sold out a lot of their short-haul stuff and just pointed (them East?). It would not have made live much better but at least if we NEW what was actually going on rather than actually being treated as peasants really, at the end of the day.

#01:43:28-2# P2: I think our representatives should be empowered in a proper way and not just following our little bits of activism. They should be empowered to / you know an MP should have an important say in what goes on in the skies above his or her constituency.

#01:43:49-9# P3: It's a really good point. Because there is not just democratic deficit. You get this to some

extent with all the longer distance transport trains to some extent, so you get fights between Kent commuters and South East London suburban commuters, but this is much more of an extreme. The power (census?) for these airlines, for the CAA, for heathrow Airport Limited and so on are distributed all over the place, but the people are concentrated very much so, but then there is no link between their representatives and those power census?). So if I have an issue with the roads, the buses, the something, I can go to TFL, they might ignore me, but at least they are there and at least in theory they shouldn't ignore me and I can go to my MP and my assembly member and so on or local issues the council / none of that works for this.

#01:44:36-5# INTERVIEWER 2: But I think, whatever solution, whatever kind of political kind of collective you (unv.) there's always gonna be some objects not (unv.), right? Whether there are maps, or different kind of tools, there is always gonna be some kind of way of trying to represent this. And I think this is why I think this is really really relevant because we have been talking about tools what kind of whatever you are collecting might be gathered. There is always gonna be means of representing the issue. And how do you do the / I think it's already a key part of what kind of collectives you can build. If you have any other thoughts you could e-mail us.

#01:45:19-2# P2: There is one other thing we haven't (across?) mentioned, is the EU, the EU of course and the possibilities of standardization, regulations, and requirements etc. I have no idea what the EU is about commercial aviation, and whether they're bringing in any kind of (benign?) restrictions or not, but there is something we of course should think about.

#01:45:45-3# P3: London is in breach of its air pollution (unv.)...there is three million Euro fine or four as a city

#01:45:59-0# P2: And is it airplanes why they are doing it?

#01:45:58-7# P3: No, no, no. Cars, basically, vans etc.

#01:46:04-4# INTERVIEWER 2: There will be a lot of secret handshakes that we don't have to pay the money. You know about this right?

#01:46:06-9# P3: Yes, it's been (unv.) forever, I don't know quite about the details of it. But I just say that's an example of you can have the rule but seemingly here in London we can ignore that even it's there.

#01:46:17-7# P2: The ignoring (rules?)

#01:46:21-9# closing remarks

#01:46:29-0# P2: It's been a way forward I think.

closing remarks

--- (end of the recording)

## Literaturverzeichnis

16. BImSchV (1990). *Verkehrslärmschutzverordnung vom 12. Juni 1990 (BGBl. I S. 1036), die durch Artikel 3 des Gesetzes vom 19. September 2006 (BGBl. I S. 2146) geändert worden ist.*
34. BImSchV (2006). *Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung) vom 6. März 2006 (BGBl. I S. 516).*
- Aarhus-Konvention (1998). *Convention in Access to Information, Public Participation in Decision-Making and Access to Justice in Environmental Matters.* United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).
- Adobe (2013). Accessibility. <http://www.adobe.com/accessibility/products/illustrator/overview.html>, (Zugriff im Juni 2013).
- Adobe (2013). Anzeigen und Ausdrucken von Volltonfarben mit Lab-Werten. [http://help.adobe.com/de\\_DE/illustrator/cs/using/WS714a382cdf7d304e7e07d0100196cbc5f-6273a.html#WS58b67d046ae8e03cd1797310042fb0849-7fd1a](http://help.adobe.com/de_DE/illustrator/cs/using/WS714a382cdf7d304e7e07d0100196cbc5f-6273a.html#WS58b67d046ae8e03cd1797310042fb0849-7fd1a), (Zugriff im Mai 2013).
- Airports Commission (2013). Discussion Paper 05: Aviation Noise. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/223764/airports-commission-noise.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/223764/airports-commission-noise.pdf), (Zugriff im September 2014).
- Albers, J. (1970). *Interaction of Color: Grundlegung einer Didaktik des Sehens.* DuMont Schauberg: Köln.
- Alberts, W. und J. R. Alferez (2012). The Use of Colours in END Noise Mapping for Major Roads. In *Proceedings of Euronoise, Prague 2012.*
- Alexander, I. und L. Beus-Dukic (2009). *Discovering Requirements: How to Specify Products and Services.* John Wiley & Sons.
- Andrienko, N. und G. Andrienko (2006). *Exploratory Analysis of Spatial And Temporal Data: A Systematic Approach.* Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- Arnstein, S. R. (1969). A Ladder of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners* 35(7), 216–224.

- Aviation Environment Federation (2010). Approach Noise at Heathrow: Concentrating the Problem, commissioned by HACAN. <http://www.hacan.org.uk/resources/reports/flight.paths.report.pdf>, (Zugriff im September 2014).
- Barbot, B., C. Lavandier und P. Cheminée (2008). Perceptual Representation of Aircraft Sounds. *Applied Acoustics* 69, 1003–1016.
- Barndt, M. (2002). A Model for Evaluating Public Participation GIS. In W. J. Craig, T. M. Harries, und D. Weiner (Hrsg.), *Community Participation and Geographic Information Systems*, S. 346–356. Taylor & Francis: London.
- Behr, F. J. (2000). *Strategisches GIS-Management: Grundlagen, Systemeinführung und Betrieb*. Herbert Wichmann: Heidelberg.
- Bergman, L. D., B. E. Rogowitz und L. Treinish (1995). A Rule-Based Tool for Assisting Colormap Selection. In *Proceedings of the IEEE Visualization Conference*, S. 118–125.
- Berkemann, J. (2009). *Lärmschutz im Städtebaurecht*. V. Vhw: Nordrhein-Westfalen.
- Bertin, J. (1974). *Graphische Semiologie*. Walter de Gruyter & Co: Berlin.
- BImSchG (2002). *Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist*.
- BMVBS (2007). Lärmrelevanz und EU-Anforderungen Erfordernisse, Abgrenzungs- und Anpassungsprozesse zum Lärmschutz. <http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2010/ON242010.html>, (Zugriff im Mai 2014).
- BMVBS (2012). Handbuch für eine gute Bürgerbeteiligung Planung von Großvorhaben im Verkehrssektor. <http://www.handbuch-buergerbeteiligung.de/thema/handbuch-buergerbeteiligung.pdf>, (Zugriff im Mai 2014).
- Bonacker, M., E. Heinrichs und H.-U. Schwedler (2008). Silent City - Umgebungslärm, Aktionsplanung und Öffentlichkeitsbeteiligung. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3685.pdf>, (Zugriff im August 2014).
- Bönnighausen, G. und C. Popp (1988). *Die Lärmkennziffer-Methode, ein Beitrag zur Umweltverträglichkeitsprüfung*. Baubehörde, Freie und Hansestadt Hamburg.
- Borland, D. und R. M. Taylor (2007). Rainbow Color Map (Still) Considered Harmful. *Computer Graphics and Applications, IEEE* 27(2), 14–17.
- Boukhelifa, N., A. Bezerianos, T. Isenberg und J.-D. Fekete (2012). Evaluating Sketchiness as a Visual Variable for the Depiction of Qualitative Uncertainty. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 18(12), 2769–2778.
- Brewer, C. A. (1992). Review of Colour Terms and Simultaneous Contrast Research for Cartography. *Cartographica* 29(3&4), 20–30.

- Brewer, C. A. (1994). Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. In A. M. MacEachren und D. R. F. Taylor (Hrsg.), *Visualization in Modern Cartography*, S. 123–147. Elsevier Science: Tarrytown, NY.
- Brewer, C. A. (2005). *Designing Better Maps: A Guide for GIS Users*. ESRI Press: Redlands, CA.
- Brewer, C. A. (2013). Color Advice for Cartography. <http://colorbrewer2.org/>, (Zugriff im August 2014).
- Brewer, C. A., A. M. MacEachren, L. W. Pickle und D. Herrmann (1997). Mapping Mortality: Evaluating Color Schemes for Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers* 87(3), 411–438.
- Butler, D. (2004). Sound and vision. *Nature* 427(5), 480–481.
- Carr Payne, M. (1964). Color as an Independent Variable in Perceptual Research. *Psychological Bulletin* 61(3), 199–208.
- Casey, L. und T. Pederson (2002). Mapping Philadelphia’s Neighbourhoods. In W. J. Craig, T. M. Harries, und D. Weiner (Hrsg.), *Community Participation and Geographic Information Systems*, S. 65–76. Taylor & Francis: London.
- Cherdron, J. (2013). Rechtlicher Rahmen des Zugangs zu Umweltinformationen. In P. Fischer-Stabel (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme*, S. 14–21. Wichmann: Berlin.
- Christ, R. E. (1975). Review and Analysis of Color Coding Research for Visual Displays. *Human Factors* 17(6), 542–570.
- Christen, M., D. A. Vitacco, L. Huber, J. Harboe, S. I. Fabrikant und P. Brugger (2013). Colorful Brains: 14 Years of Display Practice in Functional Neuroimaging. *Neuroimage* 73, 30–39.
- Christophe, S. (2011). Creative Colours Specification Based on Knowledge (CO-LorLEGend system). *The Cartographic Journal*, 138–145.
- Civil Aviation Authority (2013). Noise Exposure Contours for Heathrow Airport 2012, ERCD REPORT 1301. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/244529/lhr-2012.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/244529/lhr-2012.pdf), (Zugriff im September 2014).
- Cleveland, W. S. und R. McGill (1983). A Color-Caused Optical Illusion on a Statistical Graph. *The American Statistician* 37(2), 101–105.
- Colblindor (2013). Farnsworth-Munsell 100 Hue Test. <http://www.color-blindness.com/farnsworth-munsell-100-hue-color-vision-test/#prettyPhoto>, (Zugriff im Juni 2013).
- Craig, W. J., T. M. Harries und D. Weiner (Hrsg.) (2002). *Community Participation and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis: London.

- Culp, G. M. (2012). Increasing Accessibility for Map Readers with Acquired and Inherited Colour Vision Deficiencies: A Re-Colouring Algorithm for Maps. *The Cartographic Journal* 49(4), 302–311.
- da\_sense (2014). da\_sense. <http://www.da-sense.de/>, (Zugriff im April 2014).
- De Vos, P. und G. Licitra (2013). Noise Maps in the European Union: An Overview. In G. Licitra (Hrsg.), *Noise Mapping in the EU*, S. 285–310. CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
- Delk, J. L. und S. Fillenbaum (1965). Differences in Perceived Color as a Function of Characteristic Color. *The American Journal of Psychology* 78(2), 290–293.
- Dent, B. D., J. S. Torguson und T. W. Hodler (2009). *Cartography, Thematic Map Design* (6 Aufl.). McGraw-Hill: New York.
- Department for Transport UK (2013). Noise contours on Ordnance Survey maps.
- DIN 18005-1:2002 (2002). *DIN 18005 Schallschutz im Städtebau. Teil 1: Grundlagen und Hinweise für die Planung*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN 18005-2:1991 (1991). *DIN 18005 Schallschutz im Städtebau. Teil 2: Lärmkarten - Kartenmäßige Darstellung von Schallimmissionen*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN 45682:2002 (2002). *DIN 45682 Schallimmissionspläne*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN 5033-7:1983-07 (1983). *DIN 5033-7:1983-07 Farbmessung*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- EEA (2001). Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS): Day-evening-night level. <http://glossary.eea.europa.eu/terminology/concept.html?term=1den>, (Zugriff im September 2014).
- Elliot, A. J. und M. A. Maier (2007). Color and Psychological Functioning. *Current Directions in Psychological Science* 16(5), 250–254.
- Engnath, V. und W. G. Koch (2001). Lärmkarten. In G. Braun, R. Buzin, und T. Wintges (Hrsg.), *GIS und Kartographie im Umweltbereich*.
- Europäische Kommission (2000). Position Paper on EU Noise Indicators. <http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noiseindicators.pdf>, (Zugriff im Mai 2014).
- Europäische Kommission (2011). Bericht der Kommission an das europäische Parlament und den Rat über die Durchführung der Richtlinie über Umgebungslärm gemäß Artikel 11 der Richtlinie 2002/49/EG. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0321:FIN:DE:PDF>, (Zugriff im Mai 2014).
- Europäische Kommission (2014). The EU Policy on Environmental Noise. <http://ec.europa.eu/environment/noise/home.htm>, (Zugriff im June 2014).

- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) (2007). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg\\_aen.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN) (2008). Presenting Noise Mapping Information to the Public.
- European Environment Agency (2012). NOISE Database. [http://forum.eionet.europa.eu/etc-sia-consortium/library/noise\\_database/index\\_html](http://forum.eionet.europa.eu/etc-sia-consortium/library/noise_database/index_html), (Zugriff im Mai 2014).
- European Environmental Agency (2010). *Good Practice Guide on Noise Exposure and Potential Health Effects*. EEA Technical report No 11/2010. European Environment Agency: Copenhagen.
- EveryAware (2014). EveryAware: Enhancing Environmental Awareness through Social Information Technologies. <http://www.everyaware.eu/>, (Zugriff im April 2014).
- Eye.syde (2011). eye.syde - Simulation von Farbenfehlsichtigkeiten (Version 2011.1.0.2). <http://www.eyesyde.de/>, (Zugriff im August 2014).
- Fabrikant, S. I., S. Christophe, G. Papastefanou und S. Maggi (2012). Emotional response to map design aesthetics. In *In Proceedings of GIScience 2012, Seventh International Conference on Geographic Information Science*.
- Fabrikant, S. I., S. Rebich Hespanha und M. Hegarty (2010). Cognitively Inspired and Perceptually Salient Graphic Displays for Efficient Spatial Inference Making. *Annals of the Association of American Geographers* 100(1), 1–17.
- Fastl, H. (2013). Proceedings of Meetings on Acoustics. In *Proceedings of the International Congress on Acoustics*, Volume 19. Acoustical Society of America.
- Field, A. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS*. Sage: London.
- Fischer, S. (2012). *Ursprung der emotionalen Semantik von kongruenten Farben und Tönen, Assoziationen und Emotionen Erwachsener sowie Blickpräferenzen in der frühen Kindheit*. Ph. D. thesis, Universität Bielefeld.
- Fletcher, H. und W. A. Munson (1933). Loudness, its Definition, Measurement and Calculation. *Journal of the Acoustical Society of America* 5, 82–208.
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (2011). Städtelärmranking 2011 – Ein Impuls zum Nachdenken über Hörkultur und urbane Gestaltung. [http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse\\_und\\_Medien/Presseinformationen/PM\\_Laermstudie.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Presse_und_Medien/Presseinformationen/PM_Laermstudie.html), (Zugriff im September 2014).
- Giering, K. und S. Strünke-Banz (2013). Lärmkartierung nach EU-Umgebungslärmrichtlinie. In *Umweltinformationssysteme*, S. 336–342. Wichmann: Berlin.

- Glück, K. (1973). *Möglichkeiten zur Erstellung und Verwendung von Lärmkarten als Hilfsmittel für die Stadtplanung*. Schriftenreihe Städtebauliche Forschung. Bundesministerium für Raumordnung.
- Goldstein, E. B., H. Irtel und G. Plata (2008). *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs* (7 Aufl.). Springer: Berlin, Heidelberg.
- Goodchild, M. F. (2007). Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal* 69(4), 211–221.
- Grande, M. (2011). *100 Minuten für Anforderungsmanagement: Kompaktes Wissen nicht nur für Projektleiter und Entwickler*. Springer: Berlin.
- Green, D. R. und S. Horbach (1998). Colour: Difficult to Both Choose and Use in Practice. *The Cartographic Journal* 35(2), 169–180.
- Griffin, A. I. und J. McQuoid (2012). At the Intersection of Maps and Emotion: The Challenge of Spatially Representing Experience. *Kartographische Nachrichten* 6(6), 291–299.
- Gunther, L. (2011). *The Physics of Music and Color*. Springer: New York, Dordrecht, Heidelberg, London.
- Hake, G. N., D. Grünreich und L. Meng (2002). *Kartographie: Visualisierung Raum-Zeitlicher Informationen*. De Gruyter Lehrbuch. De Gruyter: Berlin.
- Haklay, M. (2002). Public Environmental Information - Understanding Requirements and Patterns of Likely Public Use. *Area* 34(1), 17–28.
- Haklay, M. (2014). The Three Eras of Environmental Information: The Roles of Experts and the Public. In V. Loreto, M. Haklay, A. Hotho, V. D. P. Servedio, G. Stumme, J. Theunis, und F. Tria (Hrsg.), *Participatory Sensing, Opinions and Collective Awareness*. Springer: Berlin.
- Haklay, M. und K. Harrison (2002). Public Participation GIS in the UK and the USA: Towards a Cross Cultural Analysis. <http://discovery.ucl.ac.uk/16785/1/16785.pdf>, (Zugriff im Mai 2014).
- Haklay, M. und A.-M. Nivala (2010). User-Centered Design. In M. Hacklay (Hrsg.), *Interacting with Geospatial Technologies*, S. 91–106. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ.
- Haklay, M., A. Skarlatidou und C. Tobón (2010). Usability Engineering. In M. Hacklay (Hrsg.), *Interacting with Geospatial Technologies*, S. 107–123. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ.
- Halama, G. und J. Berkemann (2009). Umgebungslärm - Richtlinie RL 2002/49/EG. In J. Berkemann (Hrsg.), *Lärmschutz im Städtebaurecht*, S. 291–307.
- Hansell, A. L., M. Blangiardo, L. Fortunato, S. Floud, K. de Hoogh, D. Fecht, R. E. Ghosh, H. E. Laszlo, C. Pearson, L. Beale, S. Beevers, J. Gulliver, N. Best, S. Richardson und P. Elliott (2013). Aircraft noise and cardiovascular disease near Heathrow airport in London: small area study. *BMJ* 347. <http://www.bmj.com/content/347/bmj.f5432>, ).

- Harrower, M. und C. A. Brewer (2003). ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps. *The Cartographic Journal* 40(1), 27–37.
- Heller, E. (2000). *Wie Farben auf Gefühl und Verstand wirken: Farbpsychologie, Farbsymbolik, Lieblingsfarben, Farbgestaltung*. Droemer: München.
- Hemphill, M. (1996). A Note on Adults' Color-Emotion Associations. *The Journal of Genetic Psychology* 157(3), 275–280.
- Holtzschue, L. (2011). *Understanding Color: An Introduction for Designers* (4 Aufl.). Wiley: Hoboken, New Jersey.
- Homann, J. P. (2007). *Digitales Colormanagement: Grundlagen und Strategien zur Druckproduktion mit ICC-Profilen, der ISO 12647-2 und PDF/X-1a* (3 Aufl.). Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- IEEE (1998). *IEEE Std 830-1998 - IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*.
- Ihaka, R. (2003). Colour for Presentation Graphics. In K. Hornik, F. Leisch, und A. Zeileis (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003)*. <http://www.ci.tuwien.ac.at/Conferences/DSC-2003/>, (Zugriff im Juni 2013).
- Imhof, E. (1965). *Kartographische Geländedarstellung*. De Gruyter: Berlin.
- Imhof, E. (1972). *Thematische Kartographie*. Walter de Gruyter: Berlin.
- Ishihara, S. (2005). *The Series of Plates Designed as a Test for Colour Deficiency*. Kanehara: Tokyo.
- ISO 1996-2:1987 (1996). *ISO 1996-2 Acoustics - Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise. Part 2: Acquisition of Data Pertinent to Land Use*. International Organization for Standardization.
- ISO 1996-2:2007 (2007). *ISO 1996-2 Acoustics - Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise. Part 2: Determination of Environmental Noise Levels*. International Organization for Standardization.
- ISO 226:2003 (1996). *ISO 226:2003 Acoustics - Normal Equal-loudness-level Contours*. International Organization for Standardization.
- ISO 9241-11:1998 (1998). *ISO 9241-11:1998 Guidance on Usability*. International Organization for Standardization.
- ISO/TS 15666:2003 (2003). *ISO/TS 15666:2003, Acoustics - Assessment of Noise Annoyance by Means of Social and Socio-acoustic Surveys*. International Organization for Standardization. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=28630](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=28630), (Zugriff im Mai 2014).
- Itten, J. (1987). *Kunst der Farbe*. Ravensburger Buchverlag.
- Jenny, B. und N. V. Kelso (2007). Color Design for the Color Vision Impaired. *Cartographic Perspectives* 58, 61–67.

- Jones, C. E. (2010a). Cartographic Theory and Principles. In M. Haklay (Hrsg.), *Interacting with Geospatial Technologies*, S. 37–65. John Wiley & Sons: Chichester.
- Jones, C. E. (2010b). Practical Cartography. In M. Haklay (Hrsg.), *Interacting with Geospatial Technologies*, S. 145–178. John Wiley & Sons: Chichester.
- Kang, J. (2007). *Urban Sound Environment*. Taylor & Francis: London.
- Kent, A. J., K. Field, B. Jenny und A. Hopfstock (2012). Cartographic Design and Aesthetics “FAQ”. *Cartographic Perspectives* (73), 13–16.
- Keupp, S. und M. Zschesche (2010). Die Aarhus-Konvention – Bürgerbeteiligung in neuer Qualität? [http://www.aarhus-konvention.de/media/content/files/Studien/Hintergrundpapier\\_Aarhus\\_Final.pdf](http://www.aarhus-konvention.de/media/content/files/Studien/Hintergrundpapier_Aarhus_Final.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- Kingston, R., S. Carver, A. Evans und I. Turton (2000). Web-based Public Participation Geographical Information Systems: An Aid to Local Environmental Decision-making. *Computers, Environment and Urban Systems* 24, 109–125.
- Kinkeldey, C. (2014). Development of a Prototype for Uncertainty-aware Geovisual Analytics of Land Cover Change. *International Journal of Geographical Information Science*. <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2014.891037>, (Zugriff im Mai 2014).
- Klettner, S., H. Huang, M. Schmidt und G. Gartner (2013). Crowdsourcing Affective Responses to Space. *Kartographische Nachrichten* 63(2/3), 66–73.
- Klir, G. J. (1985). *Architecture of Systems Problem Solving*. Plenum Press: New York.
- konsalt GmbH (2007). Mitwirkungsprozess Lärminderungsplanung Stadt Norderstedt. [http://www.norderstedt.de/PDF/Dokumentation\\_konsalt\\_2007\\_11\\_13.PDF?ObjSvrID=1087&ObjID=8022&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&ts=1334904501](http://www.norderstedt.de/PDF/Dokumentation_konsalt_2007_11_13.PDF?ObjSvrID=1087&ObjID=8022&ObjLa=1&Ext=PDF&WTR=1&ts=1334904501), (Zugriff im Mai 2014).
- Kornfeld, A.-L., C. Kurz, M. Hintzsche, J. Schiewe und B. Weninger (2012). Weiterentwicklung von Lärmkarten für eine bessere Umweltkommunikation. *UMID: Umwelt und Mensch – Informationsdienst* 3, 5–10.
- Koussoulakou, A. und M. J. Kraak (1992). Spatia-Temporal Maps and Cartographic Communication. *The Cartographic Journal* 29, 101–108.
- Kröger, J., J. Schiewe und B. Weninger (2013). Analysis and Improvement of the OpenStreetMap Street Color Scheme for Users with Color Vision Deficiencies. In *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference 2013 in Dresden*.
- Krygier, J. (2002). A Praxis of Public Participation and Visualization. In W. J. Craig, T. M. Harries, und D. Weiner (Hrsg.), *Community Participation and Geographic Information Systems*, S. 330–345. Taylor & Francis: London.
- Kuehni, R. G. und A. Schwarz (2008). *Color Ordered : A Survey of Color Systems from Antiquity to the Present*. Oxford University Press: New York.

- LAI (2012). LAI - Hinweise zur Lärmaktionsplanung. <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/LAI-Hinweise.pdf?command=downloadContent&filename=LAI-Hinweise.pdf>, (Zugriff im Juni 2014).
- Lakoff, G. und M. Johnson (1980). *Metaphors: We Live by*. University of Chicago Press.
- Levkowitz, H. (1996). Perceptual Steps along Color Scales. *International Journal of Imaging Systems and Technology* 7, 97–101.
- Licitra, G. (2012). *Noise Mapping in the EU*. CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
- Light, A. und P. J. Bartlein (2004). The End of the Rainbow? Color Schemes for Improved Data Graphics. *EOS Transactions of the American Geophysical Union* 85(40), 385–391.
- Lübbe, E. (2012). *Farbempfindung, Farbbeschreibung und Farbmessung: Eine Formel für die Farbsättigung*. Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- MacEachren, A. M. (1995). *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*. Guilford Publication: New York, London.
- MacEachren, A. M., A. Robinson, S. Gardner, R. Murray, M. Gahegan und E. Hetzler (2005). Visualizing Geospatial Information Uncertainty: What We Know and What We Need to Know. *Cartography and Geographic Information Science* 32(3), 139–160.
- Manvell, D. (2013). Maps and Geographic Information Systems in Noise Management. In G. Licitra (Hrsg.), *Noise Mapping in the EU*, S. 355–367. CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
- Märker, O. und M. Wessel (2010). Handbuch E-Partizipation in der Lärmaktionsplanung. [http://www.umgebungslaerm.nrw.de/materialien/\\_hilfen/\\_laermaktionsplanung\\_durchfuehrung/E\\_Partizipation\\_in\\_der\\_LAP\\_Handbuch\\_Essen.pdf](http://www.umgebungslaerm.nrw.de/materialien/_hilfen/_laermaktionsplanung_durchfuehrung/E_Partizipation_in_der_LAP_Handbuch_Essen.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- Martin, D. W. (2008). *Doing Psychology Experiments*. Thomson Wadsworth: Belmont, CA.
- Maute, D. (2006). *Technische Akustik und Lärmschutz*. Carl Hanser Verlag: Wien.
- Mazur, H., W. Theine, D. Lauenstein, S. Schuster und C. Weisner (2007). *Lärmrelevanz und EU-Anforderungen. Erfordernisse, Abgrenzungs- und Anpassungsprozesse zum Lärmschutz*. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/bbsr\\_laermrelevanz\\_eu\\_anforderungen\\_endbericht.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/bbsr_laermrelevanz_eu_anforderungen_endbericht.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- McDonald, P. (2013). Communication to the General Public. In G. Licitra (Hrsg.), *Noise Mapping in the EU*, S. 339–349. CRC Press, Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL.
- Meier, B. J., A. M. Spalter und D. B. Karelitz (2004). Interactive Color Palette Tools. *IEEE Computer Graphics and Applications* 24(3), 64–72.

- Menzel, D. und H. Fastl (2008). Influence of Vehicle Color on Loudness Judgments. *Journal of the Acoustical Society of America* 123(5), 2477–2479.
- Müller, G. und M. Möser (2004). *Taschenbuch der Technischen Akustik* (3. Aufl.). Springer: Berlin Heidelberg.
- Monmonier, M. S. (1996). *How to Lie With Maps*. University of Chicago Press.
- Muehlenhaus, I. (2014). Going Viral: The Look of Online Persuasive Maps. *Cartographica* 49:1, 18–34.
- Munsell, A. (1905). *A Color Notation*. G. H. Ellis Company.
- Nature Editorial (2004). Sound thinking. *Nature* 427(6974), 471. <http://www.nature.com/nature/journal/v427/n6974/full/427471b.html>, (Zugriff im Mai 2014).
- Naumann, S. (2013). Anforderungsanalyse zur Entwicklung von Umweltinformationssystemen. In P. Fischer-Stabel (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme, Grundlegende Konzepte und Anwendungen*, S. 124–133. Wichmann: Berlin.
- NoiseTube (2014). NoiseTube. <http://noisetube.net>, (Zugriff im April 2014).
- Norman, D. A. (2002). *The Design of Everyday Things*. Basic Books: New York.
- Nowell, L., R. Schulman und D. Hix (2002). Graphical Encoding for Information Visualization: An Empirical Study. In IEEE (Hrsg.), *Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization 2002 (InfoVis 02)*.
- Nuseibeh, B. und S. Easterbrook (2000). Requirements Engineering: A Roadmap. In *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering, ICSE '00*, S. 35 – 46. [www.doc.ic.ac.uk/~ban/pubs/sotar.re.pdf](http://www.doc.ic.ac.uk/~ban/pubs/sotar.re.pdf), (Zugriff im Juli 2007).
- OECD (2001a). Citizens as Partners, Information, Consultation and Public Participation in Policy-Making. [http://www.ecnl.org/dindocuments/214\\_OECD\\_Engaging%20Citizens%20in%20Policy-Making.pdf](http://www.ecnl.org/dindocuments/214_OECD_Engaging%20Citizens%20in%20Policy-Making.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- OECD (2001b). *Engaging Citizens in Policy Making: Information, Consultation and Public Participation*. OECD Public Management Policy Brief.
- OECD (2003, March). *Engaging Citizens Online for Better Policy-Making*. Policy Brief. OECD.
- Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz (2006). *Gesetz über die Öffentlichkeitsbeteiligung in Umweltangelegenheiten nach der EG-Richtlinie 2003/35/EG (Öffentlichkeitsbeteiligungsgesetz) vom 9. Dezember 2006*.
- Ooms, K. (2012). *Maps, How Do Users See Them? An In Depth Investigation of the Map Users' Cognitive Processes*. Department of Geography, Faculty of Sciences, Ghent University.

- Oxford English Dictionary (2014). Citizen Science. <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/citizen-science>, (Zugriff im September 2014).
- Paelke, V., B. Elias und M. Hampe (2005). The CityInfo Pedestrian Information System - An Experiment with Content Creation and Presentation Techniques. In *Proceedings of the International Cartographic Conference, A Coruna, Spain*.
- Paelke, V. und M. Sester (2007). Design Exploration of Augmented Paper Maps. In *Proceedings of the ISPRS Workshop on Visualization and Exploration of Geospatial Data*.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods*. SAGE Publications: London.
- Plutchik, R. (1980). *Emotion: Theory, Research, and Experience. Vol. 1. Theories of Emotion*. Academic Press: New York.
- Popp, C. (2008). Grundlagen der Aktionsplanung - Recht/Lärmwirkungen/Akustik, Vortrag beim Hamburger Lärmforum 2008. <http://www.hamburg.de/contentblob/549492/data/forum-1-vortrag-popp.pdf>, (Zugriff im August 2014).
- Preece, J., Y. Rogers und H. Sharp (2002). *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*. John Wiley & Sons: New York.
- Regierungspräsidium Darmstadt (2012). *Entwurf Lärmaktionsplan Hessen, Teilplan Flughafen Frankfurt/Main*.
- RL 2002/49/EG (2002). *Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm*.
- RL 2003/4/EG (2003). *Richtlinie 2003/4/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 28. Januar 2003 über den Zugang der Öffentlichkeit zu Umweltinformationen und zur Aufhebung der Richtlinie 90/313/EWG des Rates*.
- Robertson, P. und J. O'Callaghan (1986). The Generation of Color Sequences for Univariate and Bivariate Mapping. *IEEE Computer Graphics and Applications* 6(2), 24–32.
- Robertson, S. und J. Robertson (2006). *Mastering the Requirements Process* (2nd Aufl.). ACM Press Books. Pearson Education: Boston.
- Robinson, A. H., J. L. Morrison, P. C. Muercke, A. J. Kimerling und S. C. Gutpill (1995). *Elements of Cartography* (6 Aufl.). John Wiley & Sons, Inc.
- Roth, R. E. (2011). A Comparison of Methods for Evaluating Cartographic Interfaces. [http://www.geovista.psu.edu/resources/flyers/Roth\\_2011\\_ICC.pdf](http://www.geovista.psu.edu/resources/flyers/Roth_2011_ICC.pdf), ).
- Rowe, G. und L. J. Frewer (2005). A Typology of Public Engagement Mechanisms. *Science, technology, & Human Values* 30(2), 251–290.

- Russell, J. A. und A. Mehrabian (1977). Evidence for a Three-factor Theory of Emotions. *Journal of Research in Personality* 11(3), 273–294.
- Scharlach, H. (2002). *Lärmkarten - Kartographische Grundlagen und audiovisuelle Realisierung*. Ph. D. thesis, Dissertation an der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum.
- Schiele, H. G. (2012). *Computergrafik für Ingenieure: Eine anwendungsorientierte Einführung*. Springer: Berlin, Heidelberg, New York.
- Schiewe, J. und K. W. Schweer (2013). Vertrauen im Rahmen der Nutzung von Karten. *Kartographische Nachrichten* 63(2/3), 59–65.
- Schiewe, J. und B. Weninger (2013). Visual Encoding of acoustic parameters – framework and application to noise mapping. *The Cartographic Journal* 50(4), 332–344.
- Schiewe, J., B. Weninger und A.-L. Kornfeld (2012). *Forschungsprojekt OptiLAP - Evaluierung und Optimierung der Lärmaktionsplanung nach der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG, Arbeitspaket 2.1 - Analyse und Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Lärmkarten in der Öffentlichkeitsbeteiligung*, Volume 27 of *Texte*. Umweltbundesamt. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/forschungsprojekt-optilap-evaluierung-optimierung>, (Zugriff im Juni 2014).
- Schiewe, J., B. Weninger, A.-L. Kornfeld, C. Kurz und M. Hintzsche (2012). Gebrauchstauglichkeit von Lärmkarten verbessern. *Lärmbekämpfung, Zeitschrift für Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik* 5, 215–220.
- Schulte-Fortkamp, B. (2012). Lärminderung in der Stadtplanung. In C. Böhme, C. Kliemke, B. Reimann, und W. Süß (Hrsg.), *Handbuch Stadtplanung and Gesundheit*. Verlag Hans Huber: Bern.
- Schultz, T. J. (1978, August). Synthesis of Social Surveys on Noise Annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America* 64(2), 377–405.
- Schumann, H. und W. Müller (2000). *Visualisierung: Grundlagen und Allgemeine Methoden*. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Sharp, H., A. Finkelstein und G. Galal (1999). Stakeholder Identification in the Requirements Engineering Process. In *Workshop on Requirements Engineering Processes*, S. 387–391.
- Shi, W. (2010). *Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses*. CRC Press/Taylor & Francis: Boca Raton.
- Shneiderman, B. und C. Plaisant (2005). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. Addison-Wesley Publ. Co., Reading, MA.
- Simon, K. (2008). *Farbe im Digitalen Publizieren: Konzepte der digitalen Farbwiedergabe für Office, Design und Software*. Springer: Berlin, Heidelberg.

- Skarlatidou, A. (2012). *Trust in Web Geographical Information Systems for Public Participation*. Ph. D. thesis, Department for Computer Science, University College London.
- Skarlatidou, A., J. Wardlaw, M. Haklay und T. Cheng (2011). Understanding the Influence of specific Web GIS Attributes in the Formation of non-experts' Trust Perceptions. In A. Ruas (Hrsg.), *Advances in Cartography and GIScience. Volume 1*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, S. 219–238. Springer Berlin Heidelberg.
- Slocum, T., R. B. McMaster, F. C. Kessler und H. H. Howard (2010). *Thematic Cartography and Geovisualization*. Pearson Education: Upper Saddle River, NJ.
- Stadt Köln (2010). Köln aktiv gegen Lärm. Online-Dialog zur Lärmaktionsplanung. <http://laermaktionsplanung.stadt-koeln.de/dito/forum?action=lapmapjournalshow&id=16>, (Zugriff im August 2014).
- Stadt Nürnberg (2014). Nürnberg aktiv gegen Lärm. Ein Beteiligungsangebot der Stadt Nürnberg. <http://www.nuernberg-aktiv-gegen-laerm.de/>, (Zugriff im August 2014).
- Steinrücken, J. und L. Plümer (2013). Identification of Optimal Colours for Maps from the Web. *The Cartographic Journal* 50(1), 19–32.
- Stevens, M. (2012). *Community memories for sustainable societies: The case of environmental noise*. VUBPress: Brussels.
- Supplies, T., R. Elsässer und F. Mothes (2013). Lärminderung durch Bürgerbeteiligung. Das Modellprojekt: Mach's leiser – Mitwirken bei der Lärmaktionsplanung in Leipzig. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4455.html>, (Zugriff im Mai 2014).
- TA Lärm (1998). *Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBL Nr. 26/1998 S. 503)*.
- Thurn, H. P. (2007). *Farbwirkungen: Soziologie der Farbe*. DuMont: Köln.
- Tobler, W. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46(2), 234–240.
- Tufte, E. R. (1990). *Envisioning Information*. Graphics Press: Michigan.
- Tyner, J. A. (2010). *Principles of Map Design*. Guilford Press: New York, London.
- UIG (2004). *Umweltinformationsgesetz vom 22. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3704)*.
- Ulrich, K. T. und S. D. Eppinger (2000). *Product Design and Development* (2nd Aufl.). McGraw-Hill.
- Umweltbundesamt (2006). Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm - Auslösekriterien für die Lärmaktionsplanung. [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA\\_Kriterien\\_ULR.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/UBA_Kriterien_ULR.pdf), (Zugriff im Mai 2014).

- UmwRG (2006). *Umwelt-Rechtsbehelfsgesetz vom 7. Dezember 2006 (BGBl. I S. 2816), das zuletzt durch Artikel 15 des Gesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585) geändert worden ist.*
- Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU) (2012). Aarhus-Konvention. <http://www.aarhus-konvention.de/>, (Zugriff im Mai 2014).
- Valdez, P. und A. Mehrabian (1994). Effects of Color on Emotions. *Journal of Experimental Psychology: General* 123(4), 394–409.
- van Elzakker, C. P. J. M. (2001). Map Use Tasks in Regional Exploratory Studies. In *Mapping the 21st Century. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing, China*, Volume 4, S. 2496–2505.
- van Husen, C. (2007). *Anforderungsanalyse für produktbegleitende Dienstleistungen*. Ph. D. thesis, Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement, Universität Stuttgart.
- Van Slembrouck, P. (2012). There’s Something About Yellow. <http://blog.visual.ly/the-use-of-yellow-in-data-design/>, (Zugriff im September 2014).
- Vischeck (2013). Color Blind Image Correction. <http://www.vischeck.com/daltonize/>, (Zugriff im Juni 2013).
- Visolve (2013). The Assistive Software for People with Color Blindness. <http://www.ryobi-sol.co.jp/visolve/en/>, (Zugriff im Juni 2013).
- VLärmSchR 97 (1997). Richtlinien für den Verkehrslärmschutz an Bundesfernstraßen in der Baulast des Bundes (VLärmSchR 97). <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/vlschr97.pdf>, (Zugriff im Mai 2014).
- Vorländer, M. (2008). *Auralization*. Springer Berlin Heidelberg.
- VwVfG (2003). *Verwaltungsverfahrensgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 2003 (BGBl. I S. 102), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749) geändert worden ist.*
- W3C (2008). Web Content Accessibility Guidelines 2.0. <http://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/>, (Zugriff im Mai 2013).
- Welsch, N. und C. C. Liebmann (2012). *Farben: Natur, Technik, Kunst* (3 Aufl.). Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg.
- Weninger, B. (2015). A Framework for Color Design of Digital Maps – An Example of Noise Maps. In J. Brus, A. Vondrakova, und V. Vozenilek (Hrsg.), *CARTOCON 2014 – Modern Trends in Cartography*. Springer: Berlin.
- Weninger, B. (2015, i.E.). Cartographic Visualisation of Noise and Aspects of Public Understanding of this Information. In V. Loreto, M. Haklay, A. Hotho, V. D. P. Servedio, G. Stumme, J. Theunis, und F. Tria (Hrsg.), *Participatory sensing, opinions and collective awareness*. Springer: Berlin.

- WHO (1999). *Guidelines for Community Noise*. World Health Organization: Geneva. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>, (Zugriff im Mai 2014).
- WHO (2009). Night Noise Guidelines for Europe. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- WHO (2014). Data and Statistics. <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>, (Zugriff im Juni 2014).
- WHO Regional Office for Europe (2011). Burden of Disease from Environmental Noise. Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/136466/e94888.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf), (Zugriff im Mai 2014).
- Wijffelaars, M., R. Vliegen, J. J. Van Wijk und E.-J. Van Der Linden (2008). Generating Color Palettes Using Intuitive Parameters. *Computer Graphics Forum* 27(3), 743–750.
- Willich, S. N., K. Wegscheider, M. Stallmann und T. Keil (2006). Noise Burden and the Risk of Myocardial Infarction. *European Heart Journal* 27, 276–282.
- Yvroux, C. und J.-P. Bord (2011). Representation of the Israeli-Palestinian Conflict in France by Cognitive Mapping. *The Cartographic Journal* 48(2), 92–99.
- Zhang, M. und J. Kang (2007). Toward the Evaluation, Description, and Creation of Soundscapes in Urban Open Spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design* 34(1), 68–86.