



universität
wien

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

Qualitätsmerkmale einer Lärmkartierung auf
Crowdsourcing-Basis – Erfassung, Aufbereitung und
Präsentation gezeigt an einem Beispiel

Verfasser

Mario Kindig BA

angestrebter akademischer Grad

Master of Science (MSc)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 856

Studienrichtung lt. Studienblatt: Masterstudium Kartographie und Geoinformation

Betreuer: Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Danksagung

Zunächst einmal möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, ohne deren finanzielle Unterstützung ich dieses Studium nie absolvieren hätte können.

Weiters möchte ich mich bei meinem Betreuer, Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl, bedanken, der mir bei dieser Masterarbeit mit konstruktiver Beratung und wertvollen Tipps geholfen hat.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	ix
Abkürzungsverzeichnis.....	x
Kurzfassung & Abstract.....	xi
Vorwort.....	xii
1. Einleitung.....	1
1.1 Einführung in die Thematik & Zielsetzung.....	1
1.2 Aufbau der Arbeit.....	5
2. Schall.....	6
2.1 Einführung & Begriffsdefinition.....	6
2.2 Physikalische Eigenschaften.....	8
2.2.1 Akustik.....	8
2.2.2 Schallwelle.....	8
2.2.3 Schallgrößen.....	12
2.2.4 dB-Skala.....	19
2.2.5 Schallausbreitung.....	20
2.2.6 Reflexion – Absorption – Dämmung.....	23
2.3 Formen von Schall.....	27
2.3.1 Einteilung nach Übertragungsmedium.....	27
2.3.2 Einteilung nach Frequenzen.....	27
2.3.3 Einteilung nach Schallart.....	28
2.4 Schallwahrnehmung beim Menschen.....	29
2.4.1 Menschlicher Hörsinn.....	29
2.4.2 „Doppler-Effekt“	31
2.5 Lärm.....	31

2.5.1 Begriffsdefinition.....	31
2.5.2 Formen von Lärm.....	33
2.5.3 Auswirkungen von Lärm auf den Menschen.....	33
2.5.4 Schutz vor Lärm.....	36
2.6 Schallmessung.....	37
2.6.1 Nutzen einer Schallmessung.....	37
2.6.2 Prinzip einer Schallmessung.....	38
2.6.3 Messgerät.....	40
2.6.4 Schallmessgrößen.....	41
2.6.5 Messbericht.....	42
3. Lärmkarten.....	44
3.1 Einführung & Begriffsdefinition.....	44
3.2 Rechtliche Vorgaben.....	47
3.2.1 Situation in Österreich.....	48
3.3 Ermittlung des Schallpegels.....	49
3.3.1 Begriffsdefinitionen.....	49
3.3.2 Messmethode (Straßenlärm).....	51
3.3.3 Berechnungsmethode (Straßenlärm).....	52
3.4 Kartographische Darstellungsformen von Lärm.....	59
3.5 Kartenerstellung.....	63
4. Crowdsourcing.....	67
4.1 Einführung & Begriffsdefinition.....	67
4.2 Voraussetzungen für Crowdsourcing.....	68
4.3 Arten von Crowdsourcing.....	70
4.4 Mobile Crowdsourcing.....	71
4.5 Crowdsourcing im GIS-Bereich.....	73
5. Durchführung des Projektes in der Theorie.....	74
5.1 Messgeräte.....	74

5.2 Datenerfassung & Messmethode.....	78
5.3 Untersuchungsgebiete.....	79
5.4 Datengrundlage & Datenaufbereitung mittels GIS.....	83
5.5 Räumliche Interpolation.....	85
5.6 Visualisierung & Präsentation der Ergebnisse.....	88
6. Ergebnisse.....	92
6.1 Untersuchungsgebiet 1: Venediger-Au-Park/Praterstern.....	92
6.2 Untersuchungsgebiet 2: Südosttangente.....	101
6.3 Untersuchungsgebiet 3: Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel.....	110
7. Zusammenfassung.....	120
7.1 Ergebnisse.....	120
8. Literatur.....	126
Lebenslauf.....	130

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Beispiel einer Lärmkarte (Votivpark, Wien) (Screenshot).....	2
Abb. 2: Schallwelle.....	8
Abb. 3: Periodendauer einer Schwingung.....	9
Abb. 4: Prinzip der Anregung und Ausbreitung einer ebenen Welle durch eine schwingende Oberfläche für 20 aufeinanderfolgende Zeitpunkte.....	10
Abb. 5: Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen bei 20°C.....	11
Abb. 6: Wellenformen in Festkörpern.....	12
Abb. 7: Schallleistungen einiger Schallquellen.....	14
Abb. 8: Vergleich Schalldruck (Pa) mit Schalldruck dB-Skala.....	15
Abb. 9: Bewertungskurve A für den bewerteten Schallpegel L_A	16
Abb. 10: Addition von 2 Schallpegel.....	17
Abb. 11: Schallpegelzunahme bei mehreren gleich lauten Quellen.....	18
Abb. 12: Dauerschallpegel.....	19
Abb. 13: Schallpegeln verschiedener Schallquellen (dB – Skala).....	20
Abb. 14: Vergleich Kugelwelle (links) mit einer ebenen Welle (rechts).....	21
Abb. 15: Ablenkung von Schall bei unterschiedlicher Temperatur.....	23
Abb. 16: Druckverteilung in stehenden Wellen zwischen zwei Wänden.....	24
Abb. 17: Schallbeugung bei Zylindern verschiedener Größe.....	25
Abb. 18: v.l.n.r.: Geräusch, Klang, Ton, Knall.....	28
Abb. 19: Hörfläche des Menschen.....	29
Abb. 20: Hörfläche mit Kurven gleicher Lautstärke.....	30

Abb. 21: Wahrnehmung von Schallpegeländerungen.....	30
Abb. 22: Vor- und Nachteile einer Berechnung im Vergleich zur Messung.....	39
Abb. 23: Schallpegelmessgerät.....	41
Abb. 24: Beispiel eines Pegelzeitverlaufes einer Verkehrslärmmessung.....	42
Abb. 25: Dezibel-Grenzwerte für die Aktionspläne in Österreich.....	49
Abb. 26: Skizzierung der abschnittsweisen Berechnung.....	56
Abb. 27: Ermittlung des Schirmwertes z	58
Abb. 28: Schirmmaß ΔL_s für Straßenverkehrslärm.....	58
Abb. 29: Beispiel einer punkthaften Darstellung von Lärm.....	60
Abb. 30: Beispiel einer linienhaften Darstellung von Lärm.....	61
Abb. 31: Beispiel einer flächenhaften Darstellung von Lärm.....	62
Abb. 32: Beispiel einer 3-D Darstellung von Lärm.....	63
Abb. 33: Farbdarstellung der einzelnen Pegelbereiche.....	64
Abb. 34: Farbdarstellung der einzelnen Pegelbereiche.....	65
Abb. 35: Beispiel einer Lärmkarte.....	66
Abb. 36: verwendetes professionelles Schallpegelmessgerät.....	76
Abb. 37: verschiedene Anzeigemöglichkeiten der gemessenen Dezibel-Werte in „Noise Meter“	77
Abb. 38: Standorte der ausgewählten Untersuchungsgebiete in Wien (eigene Darstellung).....	80
Abb. 39: Untersuchungsgebiet 1: Venediger-Au-Park/Praterstern mit Messstandorten (eigene Darstellung).....	81

Abb. 40: Untersuchungsgebiet 2: Südosttangente mit Messstandorten (eigene Darstellung).....	82
Abb. 41: Untersuchungsgebiet 3: Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel mit Messstandorten (eigene Darstellung).....	83
Abb. 42: Digitalisierung der Messstandorte und Eintragung der Attributdaten (Screenshot ArcMap 10.1).....	84
Abb. 43: Übersicht über Datengrundlage.....	85
Abb. 44: Grundprinzip der räumlichen Interpolation (eigene Darstellung).....	86
Abb. 45: Beispiel von entstandenen unschönen Artefakten („Bull-Eyes“) durch IDW-Interpolation.....	87
Abb. 46: Überblick über erstellte Karten in „ArcGIS“	90
Abb. 47: Schema des Projektablaufes.....	91
Abb. 48: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App.....	94
Abb. 49: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät.....	95
Abb. 50: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A).....	96
Abb. 51: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät) (LV-P).....	97
Abb. 52: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P).....	98
Abb. 53: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A).....	99
Abb. 54: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P).....	100

Abb. 55: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B).....	101
Abb. 56: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App.....	103
Abb. 57: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät.....	104
Abb. 58: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A).....	105
Abb. 59: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LV-P).....	106
Abb. 60: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P)...	107
Abb. 61: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A).....	108
Abb. 62: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P).....	109
Abb. 63: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B).....	109
Abb. 64: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App.....	113
Abb. 65: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät.....	113
Abb. 66: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A).....	114
Abb. 67: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LV-P).....	115
Abb. 68: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P)...	116
Abb. 69: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A).....	117

Abb. 70: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P).....	118
Abb. 71: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B).....	119

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen.....	50
Tab. 2: Basiswerte für die Fahrzeugemission.....	53
Tab. 3: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit.....	54
Tab. 4: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW.....	54
Tab. 5: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW.....	55
Tab. 6: Beispiele für Reflexionskoeffizient.....	59
Tab. 7: Interpolationsparameter „Spline“ in ArcMap.....	88
Tab. 8: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone.....	92
Tab. 9: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone.....	102
Tab. 10: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone.....	111

Abkürzungsverzeichnis

GIS Geographisches Informationssystem

dB Dezibel

λ Wellenlänge Lambda

Hz Hertz

kHz Kilohertz

GHz Gigahertz

Pa Pascal

L_{Aeq} energieäquivalente Dauerschallpegel (A-Bewertung)

Kurzfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Schall im Raum. Der Schall soll hierbei mit Hilfe einer Crowdsourcing-Methode ermittelt werden und dabei sollen u.a. auch die Fragen beantwortet werden, wie man selbst Lärmkarten erstellen kann und ob in Zukunft die Auslagerung von Leistungen an freiwilligen Akteuren in diesem Bereich sinnvoll ist oder nicht. Im Zuge dieser Untersuchung kommt dabei einerseits eine spezielle Smartphone-App, die den Lärm messen kann, und andererseits die Software „ArcGIS“ zum Einsatz. Dabei soll mit Hilfe eines professionellen Schallpegelmessgerätes gleichzeitig auch die Datenqualität verglichen und beurteilt werden. Im Zuge der Untersuchungen hat sich dabei gezeigt, dass zwar die Messwerte mittels Smartphone-App im Allgemeinen zu gering sind, die selbst erstellten Lärmkarten jedoch trotzdem als Überblick über den vorherrschenden Umgebungslärm dienen können. In Zukunft könnte hier aufgrund verbesserter Hardware, insbesondere der eingebauten Mikrofone in den Smartphones, noch einiges an Potenzial stecken und somit auch noch bessere Ergebnisse daraus resultieren.

Abstract

This master thesis deals with the collection, editing and visualization of sound in space. In this connection, sound should be collected using a crowdsourcing method and also answer the questions, how to create noise maps themselves and whether in the future the outsourcing of services to voluntary groups in this area is useful or not. The investigation uses a special smartphone app which can measure noise and the software „ArcGIS“. At the same time a professional sound level meter compares and evaluates the data quality. Although investigations have shown that the values measured by the smartphone app are generally too low, the self created noise maps can still serve as an overview of the prevailing ambient noise. The future could bring potential due to improved hardware, especially the built-in microphones in smartphones and therefore even better results.

Vorwort

Die Faszination an der Geographie setzte bei mir schon in der Volksschule mit dem auswendig lernen von Ländern und Hauptstädten ein. Doch im Laufe der Zeit wurde mir klar, dass in der Geographie im Allgemeinen noch viel mehr steckt. Die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur wurden mir schließlich erst mit dem Geographie-Studium so richtig bewusst. Das wirklich faszinierende an diesem Fach ist meiner Meinung nach die Tatsache, dass beinahe alles einen Raumbezug hat und man somit auch beinahe alles in einer Karte darstellen kann, egal ob der Sachverhalt sichtbar ist, oder nicht. So fand ich es immer schon spannend, für unser Auge eigentlich unsichtbare Sachverhalte auf einer Karte darzustellen und somit sichtbar zu machen. So kam ich schlussendlich auch auf das Thema Lärmkarten. Auch diese Karten machen einen eigentlich unsichtbaren „Gegenstand“ schließlich für unser Auge sichtbar und ermöglichen dadurch Interpretationen und in der Folge auch gewisse Maßnahmen. Außerdem ist es immer spannend, selber Daten zu erfassen und diese schlussendlich auf einer Karte zu visualisieren. Daher ist es wenig verwunderlich, dass ich mich für dieses Thema entschieden habe.

1. Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik & Zielsetzung

Der Mensch hat in seiner Entwicklung viele großartige Errungenschaften erreicht. Vor allem die zunehmende Industrialisierung mit den Erfindungen zahlreicher Maschinen war ein Meilenstein in der Geschichte der Menschheit. Durch diese stetig zunehmenden menschlichen Aktivitäten, wie beispielsweise Industrie oder Verkehr, steigt aber auch der damit verbundene Lärm in unserer Umwelt und nimmt dadurch auch eine immer wichtigere Stellung ein. Denn diese Zunahme des Lärms kann viele Auswirkungen auf den Menschen, sein Handeln und generell seine Umwelt haben und in einigen Fällen sogar zum Gesundheitsrisiko führen. (vgl. EISENHARDT 2008:190) Es ist daher das Bestreben jedes einzelnen, in einer möglichst ruhigen Umwelt zu leben, um auch in Zukunft einen hohen Lebensstandard genießen zu können.

Um dies zu bewerkstelligen ist es jedoch wichtig zu wissen, in welchen Gebieten es laut oder leise ist, um gewisse Gegenmaßnahmen in Form von beispielsweise Lärmschutzmaßnahmen oder nachhaltiger Stadtplanungen durchführen zu können, die das Ziel haben, den Lärm zu reduzieren. Vor allem in den immer stärker wachsenden Städten wird der Lärm ein zunehmendes und ernstes Problem, nicht zuletzt durch die immer größer werdende Mobilität des Menschen. Lärm an sich ist für uns Menschen für das Auge zwar nicht sichtbar, aber dank unseres Gehörsinns akustisch wahrnehmbar. Es handelt sich somit um eine unsichtbare „Gefahr“, die wir nicht sehen sondern nur durch unseren Gehörsinn wahrnehmen können.

Es ist jedoch dank moderner Technologien heutzutage sehr einfach, den Umgebungslärm mittels einer Vielzahl verschiedenster Schallpegelmessgeräte zu messen und anzeigen zu lassen. Aufgrund dessen sind in den letzten Jahren und Jahrzehnten sogenannte Lärmkarten erstellt worden, die die Lärmverteilung in Gebieten grafisch anzeigen und somit für das menschliche Auge sichtbar machen. Diese Lärmkarten ähneln dabei zum Beispiel den allseits bekannten Temperaturkarten,

bei der bestimmte Temperaturwertebereiche unterschiedlich farblich gekennzeichnet werden. So werden bei Lärmkarten bestimmte Dezibel-Wertebereiche unterschieden und farblich gekennzeichnet. Folglich kann man mit einer geeigneten Farbgebung laute und leise Gebiete sehr gut grafisch ausweisen und leicht erkennbar machen. (vgl. HELLBRÜCK und FISCHER 1999:217)

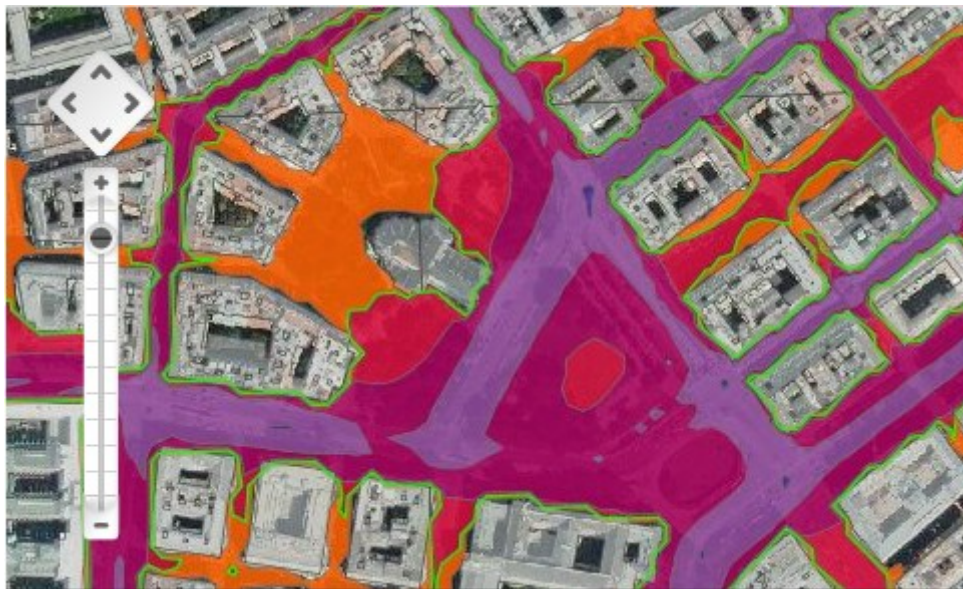


Abb. 1: Beispiel einer Lärmkarte (Votivpark, Wien) (Screenshot) (Quelle: WWW: <http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html>, Zugriff am 21.05.2014)

Auf Basis dieser Lärmkarten können später sogenannte Aktionspläne erstellt werden, die das Ziel haben, den Lärm durch gewisse Gegenmaßnahmen zu reduzieren. (vgl. Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2002/49/EG 2002:14) Es zeigt sich also hier schon die enorme Wichtigkeit dieser Lärmkarten in Bezug auf unseren Lebensstandard.

Die vorherrschenden Dezibel-Werte, die zur Erstellung der Lärmkarten nötig sind, können dabei grundlegend auf zwei verschiedene Arten ermittelt werden. Einerseits durch Messungen mittels Messgerät und andererseits durch rein theoretische Berechnungen, bei denen beispielsweise Faktoren wie Verkehrsstärke, Vegetation etc. in die Berechnung miteinfließen. Heutzutage basieren fast alle Lärmkarten nur noch auf theoretischen Berechnungen, da Messungen für größere Gebiete flächendeckend

nur mit sehr großem Zeitaufwand und somit auch hohen Kosten verbunden sind. Berechnungen hingegen können relativ schnell und einfach durchgeführt werden und verursachen somit auch niedrigere Kosten. Das Problem, das sich bei diesen Berechnungen allerdings ergibt ist die Tatsache, dass immer mit gewissen festgelegten Parametern gerechnet wird. Beispielsweise wird bei der Ermittlung des Verkehrslärms u.a. immer nur die maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit miteinander berechnet, unabhängig davon ob die Verkehrsteilnehmer tatsächlich mit dieser maximal zulässigen Geschwindigkeit fahren oder ob sie langsamer bzw. schneller fahren, was folglich auch Auswirkungen auf den erzeugten Lärm hat. (vgl. HELLBRÜCK und FISCHER 1999:217 & RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:4-11) An diesem Beispiel kann man gut erkennen, dass diese berechneten Lärmkarten eher ein theoretisches Modell sind und nicht unbedingt die Realität korrekt widerspiegeln müssen.

Im Gegensatz dazu haben hier die Messungen einen Vorteil, da sie exakt den tatsächlichen vorherrschenden Lärm messen. Da aber diese Lärmmessungen, wie zuvor schon erwähnt, nur mit großen zeitlichen und finanziellen Aufwand durchführbar sind, müssen hier andere Wege gefunden werden, wie man diese Lärmmessungen kostengünstiger und mit weniger zeitlichen Aufwand durchführen kann. Man könnte hierbei beispielsweise einen Crowdsourcing-Ansatz verfolgen und diese Lärmmessungen eine freiwillige und große Anzahl von Akteuren durchführen lassen. Dabei könnten neue Technologien genutzt werden, die bereits am Markt sind und von vielen Menschen verwendet werden. An dieser Stelle bieten sich zum Beispiel moderne Smartphones an, die mit einer speziellen App den Umgebungslärm erfassen können. Solche Apps, die den Umgebungslärm mittels eingebauten Mikrofon messen können, gibt es bereits.

Doch neben der eigentlichen Messung müssen diese Daten in Form der Messwerte auch noch aufbereitet und anschließend visualisiert werden, um folglich daraus eine Lärmkarte zu erstellen. Hierbei würde sich die Software „ArcGIS“ anbieten. Und genau mit dieser Thematik befasst sich diese Arbeit. Es soll gezeigt werden wie man mittels

einer Crowdsourcing-Methode und der Software „ArcGIS“ Lärmkarten produzieren kann, die auf tatsächlich selbst durchgeführten Messungen mittels einer Smartphone-App basieren. In diesem Zusammenhang muss jedoch auch geklärt werden, welche Qualität diese Lärmkarten in Bezug auf ihre Messwerte und folglich auch ihre Ergebnisse haben. Diese Qualität kann man beispielsweise durch einen Vergleich zwischen den Messwerten der Smartphone-App und den Messwerten eines professionellen Schallpegelmessgerätes überprüfen.

An dieser Stelle ergeben sich nun folgende Forschungsfragen:

- Welche Methode bietet sich an, um Lärmkarten zu erstellen, die auf tatsächlich durchgeführte Messungen basieren und nicht auf Berechnungen?
- Eignen sich Smartphone-Apps zur Schallpegelmessung im Vergleich zu professionellen Schallpegelmessgeräten?
- Sind Smartphone-Apps im Bereich Lärmkartierung eine sinnvolle Alternative?

Um diese Fragen zu beantworten kommen, wie zuvor bereits erwähnt, zwei verschiedene Schallpegelmessgeräte zum Einsatz. Zum einen ein Smartphone mit einer speziellen App, die den Lärm messen kann, und zum anderen ein professionelles Schallpegelmessgerät, um die Messwerte vergleichen zu können. Es werden hierbei in insgesamt drei unterschiedlichen Untersuchungsgebieten in Wien Schallpegelmessungen durchgeführt. Anschließend werden diese Messwertdaten mit der Software „ArcGIS“ weiter aufbereitet und mit Hilfe eines geeigneten Interpolationsverfahrens von einer punkthaften Darstellungsform in eine flächenhafte Darstellungsform gebracht und visualisiert. Auf Basis dieser interpolierten Flächen sollen dabei zusätzlich noch etwaige Unterschiede zwischen den Messwerten der beiden Messgeräte erkennbar gemacht und anschließend beurteilt werden. Ergebnis sollen schließlich Lärmkarten sein, die auf Messungen basieren und die mittels „ArcGIS“ umgesetzt wurden, wobei zusätzlich noch eine Beurteilung bzgl. ihrer Qualität erfolgen soll. Auf Basis dieser Ergebnisse soll festgestellt werden, ob es sinnvoll ist, Lärm mittels Smartphones zu messen bzw. ob es Sinn macht, in Zukunft bei Lärmmessungen verstärkt auf Crowdsourcing-Methoden zu setzen.

1.2 Aufbau der Arbeit

Diese Masterarbeit gliedert sich in folgende Abschnitte:

- In Kapitel 2 erfolgt eine allgemeine theoretische Einführung in das Thema Schall. Hier sollen grundlegende Begriffe erklärt und theoretisches Wissen über Schall im Allgemeinen angeeignet werden, um beispielsweise verstehen zu können, wie Schall entsteht, wie er sich verbreitet oder aber auch welche Risiken er für den Menschen mit sich bringt. Zudem werden in diesem Kapitel auch Schallmessungen näher behandelt.
- Kapitel 3 befasst sich mit dem Thema Lärmkarten. Hier soll erläutert werden, was Lärmkarten eigentlich sind, welche Darstellungsformen und Kartenelemente es gibt und wie die rechtliche Situation ist bzw. wer dafür zuständig ist. Weiters wird in diesem Kapitel auch die Berechnungs- bzw. Messmethode für diese Lärmkarten beschrieben.
- In Kapitel 4 soll ein kurzer Einblick in das Thema „Crowdsourcing“ im Allgemeinen gegeben werden. Hier soll geklärt werden, was unter diesem Begriff eigentlich zu verstehen ist, welche Formen es dabei gibt und welchen Nutzen es hat. Zudem werden hier auch einige Beispiele von Crowdsourcing im GIS-Bereich angeführt.
- Kapitel 5 beinhaltet sämtliche Beschreibungen der Arbeitsschritte des Projektes in der Theorie, welche im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführt werden. Hier werden neben den verwendeten Messgeräten auch die Messmethode und die ausgewählten Untersuchungsgebiete vorgestellt. Zudem wird in diesem Kapitel auch die Aufbereitung in „ArcGIS“ und das verwendete Interpolationsverfahren erläutert.
- Im Kapitel 6 werden schließlich die Ergebnisse in Form von Tabellen und Karten präsentiert und mögliche Unterschiede ausgewertet und beurteilt.
- Kapitel 7 beinhaltet schlussendlich eine Zusammenfassung aller erhaltenen Erkenntnisse und ein Schlussresümee.

2. Schall

In dieser Arbeit ist der Umgebungslärm der Hauptgegenstand bei den späteren Untersuchungen und daher soll dieses Kapitel zunächst einmal das nötige Basiswissen im Bereich Schall bzw. Lärm im Allgemeinen übermitteln. So werden zuerst grundlegende und allgemeine Begriffe und Definitionen rund um das Thema Schall abgehandelt und anschließend daran werden die wichtigsten physikalischen Eigenschaften beschrieben, um beispielsweise zu verstehen, wie Schall entsteht, wie er sich im Raum fortbewegt oder was passiert, wenn er auf Hindernisse trifft. Außerdem soll dieses Kapitel mit Hilfe angeführter Beispiele die Dezibel-Skala etwas näher bringen, um im Zuge der späteren Untersuchung die gemessenen Dezibel-Werte hinsichtlich der Lautstärke besser beurteilen zu können. Weiters werden hier auch die Auswirkungen des Lärms auf den Menschen kurz erläutert. Am Ende dieses Kapitels wird schlussendlich noch auf das Thema Schallmessung im Allgemeinen etwas näher eingegangen, um sich für die späteren Messungen in der Praxis das nötige „know-how“ anzueignen.

2.1 Einführung & Begriffsdefinition

Unter dem Begriff „Schall“ versteht man nach PFLEGER (2010:75) vereinfacht gesagt das Geräusch oder den Klang, den ein Mensch oder ein Tier mit seinem Gehörsinn wahrnehmen kann. Mit Hilfe von Schall können wir einerseits miteinander kommunizieren und andererseits auch Gefahren in der Umwelt erkennen und beurteilen. Weiters können wir mit Hilfe unseres Gehörsinns unterschiedliche Lautstärken wahrnehmen und die Richtung bestimmen, woher das Geräusch kommt. Schall spielt somit eine große Rolle in unserer Sinneswahrnehmung. Geräusche und Klänge begleiten uns dabei tagtäglich in unserem Leben. Angefangen vom Weckton unseres Weckers in der Früh, über sämtliche Geräusche die wir untertags aufgrund menschlicher Tätigkeiten direkt oder indirekt produzieren bis hin

zu Geräuschen der Umwelt, wie beispielsweise das Blätterrauschen bei Wind. Komplette Stille ist sehr rar und kaum noch zu finden und wird deshalb eher als ungewohnt oder sogar als störend empfunden. Im Gegensatz dazu können aber auch Geräusche und Klänge als belästigend empfunden werden, vor allem dann wenn diese in einer hohen Lautstärke vorkommen und die Lebensqualität beeinträchtigen. (übersetzt aus KUTTRUFF 2007: 1)

Doch wie lässt sich der Begriff „Schall“ genau definieren? Schall kann als Druckschwankung definiert werden, die vom Menschen oder aber auch von Tieren wahrgenommen werden kann. Diese kleinsten Druck- und Dichteschwankungen breiten sich in Form von Wellenbewegungen aus, indem wie bei einem Dominoeffekt ein Partikel das benachbarte Partikel in Bewegung setzt. Die Bewegung pflanzt sich dabei zu den benachbarten Partikeln fort und entfernt sich somit immer weiter weg von der Quelle. (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:7)

Nach GIANCOLI (2010:561) kann man bei jedem Geräusch folgende drei Aspekte unterscheiden: Zunächst einmal muss es eine Quelle geben, die wie bei jeder Welle ein schwingendes Objekt ist. Zweitens wird die Energie von der Quelle weg in Form von sogenannten longitudinaler Schallwellen übertragen und drittens wird das Geräusch schlussendlich von einem Ohr oder einem Messgerät registriert oder aufgenommen. Schall braucht außerdem ein Medium um sich auszubreiten, so breitet sich beispielsweise Schall im Vakuum nicht aus.

LOHMEYER et al. (2005:385) definiert Schall als „mechanische Schwingungen und Wellen eines elastischen Mediums, insbesondere im Bereich des menschlichen Hörens. Rasche Druckschwingungen der Luft empfindet das Ohr als Schall, wenn dabei das Trommelfell des Ohrs hin und her bewegt wird. Bewegungen des Trommelfells entstehen durch Schwingungen angrenzender Luftmoleküle. Die Luftmoleküle können auf verschiedene Weise in Schwingungen versetzt werden. Schallerzeuger sind Körper, die elastisch schwingen, aber auch schnell ausströmende Gase oder Flüssigkeiten. Durch diese Vorgänge werden die benachbarten Luftmoleküle in Schwingungen versetzt.“

Für WEINZIERL (2008:18) ist der Schall im Gegensatz zum englischen Begriff „sound“, der unter anderem auch für die auditive Wahrnehmung von akustischen Phänomenen steht, in der deutschsprachigen Terminologie nur der physikalische Vorgang.

2.2 Physikalische Eigenschaften

2.2.1 Akustik

Die Akustik ist die Lehre vom Schall und seiner Ausbreitung. Niederfrequente, nicht hörbare Schwingungen werden als Infraschall, mittelfrequente und hörbare Schwingungen als Schall und hochfrequente und nicht mehr hörbare Schwingungen als Ultraschall bezeichnet. Das menschliche Gehör kann dabei Schall in einem Frequenzbereich von ungefähr 16 Hz bis 16 kHz hören. (vgl. GÜNTHER et al. 2008:15)

2.2.2 Schallwelle

Wie in der Einführung beschrieben, handelt es sich beim Schall um Wellen, die sich in verschiedenen Medien (Gas, Flüssigkeit, Festkörper) fortbewegen können. So bezeichnet LOHMEYER et al. (2005:385,389) die entstandenen Wellenbewegungen als Schallwellen, wobei sich wiederholende Schwingungszustände der Moleküle jeweils eine Phase ergeben. Der Abstand dieser Phasen wird Wellenlänge genannt und wird mit Lambda (λ) bezeichnet und in Meter gemessen. Die Wellenlänge ist abhängig von der Schallgeschwindigkeit (c) sowie von der Frequenz (f). Die Entfernung der schwingenden Teilchen von der Mittellage wird Amplitude a genannt. Je größer die Amplitude, desto lauter der Schall.

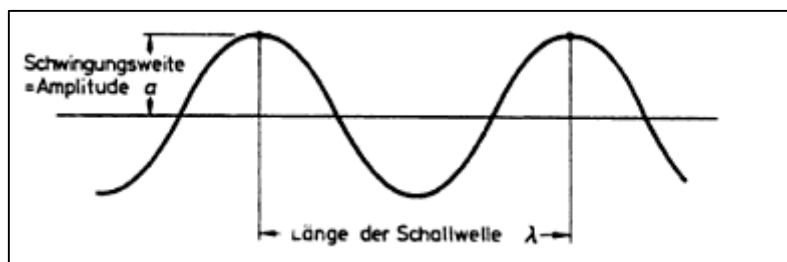


Abb. 2: Schallwelle (Quelle: LOHMEYER et al. 2005:385)

Die Schallquelle bringt beispielsweise in der Luft in unmittelbarer Nähe die Luftteilchen zum Schwingen. Diese wiederum übertragen bei Zusammenstößen diese Schwingungen weiter auf ihre benachbarten Teilchen, sodass sich die Schwingung der Schallquelle als Schallwelle ausbreitet. Die Teilchen schwingen um ihre Gewichtslage herum in der Ausbreitungsrichtung der Welle (=Longitudinalwelle). Dabei ändern sie periodisch ihre Geschwindigkeit und Richtung. Durch ihre Auslenkung aus der Gleichgewichtslage werden periodische Dichteschwankungen verursacht und es entstehen folglich Verdichtungen und Verdünnungen und damit Druckschwankungen. Beim Zeitbild der Schwingung resultiert aus dem zeitlichen Abstand zweier gleicher Schwingungszustände die Dauer einer Schwingungsbewegung als Periodendauer (T). Die Frequenz (f) mit der Einheit Hertz (Hz) gibt dabei die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an. (vgl. DICKREITER et al. 2008:1f)

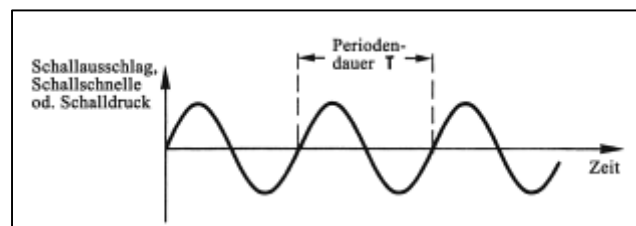


Abb. 3: Periodendauer einer Schwingung (Quelle: DICKREITER et al. 2008:3)

Mit zunehmender Frequenz (f) nimmt dabei die Tonhöhe zu. Somit werden hohe Töne durch viele Schwingungen und tiefe Töne durch weniger Schwingungen in der gleichen Zeit gebildet. Unter „Normalfrequenz“ versteht man eine Frequenz von 1000 Hz (=1 kHz). Der Mensch kann mit seinem Gehörsinn Frequenzen im Bereich von 16 Hz bis 16 000 Hz wahrnehmen. (vgl. LOHMEYER et al. 2005:387)

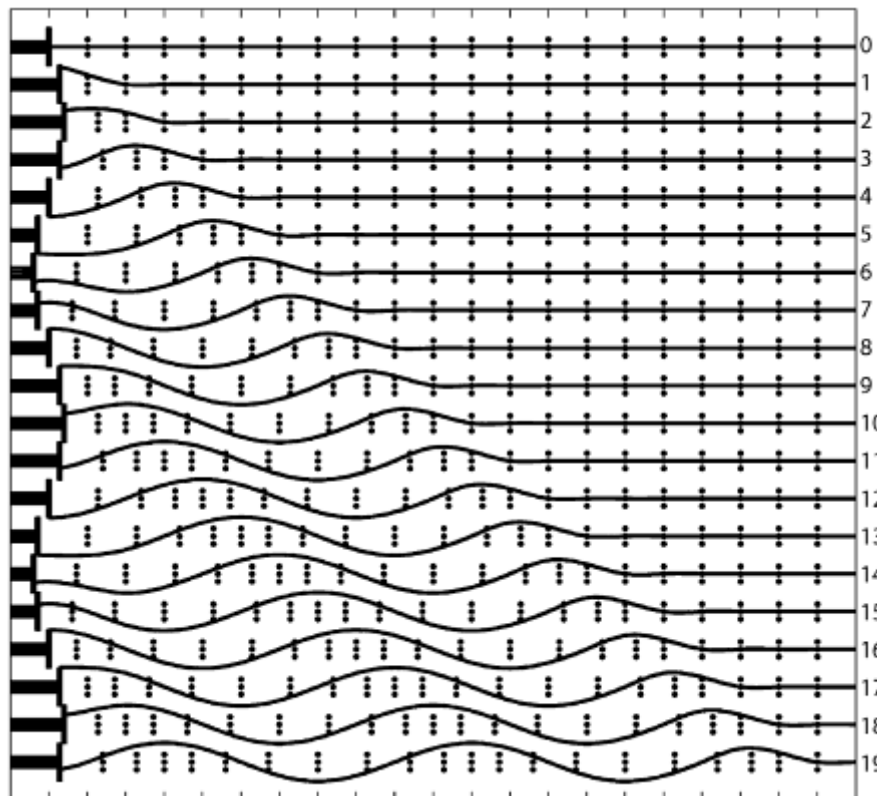


Abb. 4: Prinzip der Anregung und Ausbreitung einer ebenen Welle durch eine schwingende Oberfläche für 20 aufeinanderfolgende Zeitpunkte (Quelle: WEINZIERL 2008:19)

Neben Wellenlänge (λ), Periodendauer (T) und Frequenz (f) spielt auch die Schallgeschwindigkeit (c) eine wichtige Rolle. Die Schallgeschwindigkeit gibt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwellen in einem Material an, wobei die Geschwindigkeit schwankt und in verschiedenen Materialien unterschiedlich ist. In der Luft ist die Schallgeschwindigkeit abhängig von der Temperatur, sowie in geringerem Maße auch noch von Luftdruck, Feuchtigkeit und dem Gehalt an Kohlendioxid. Bei 10 Grad Celsius beträgt die Schallgeschwindigkeit ungefähr 338 Meter pro Sekunde und nimmt pro 1 Grad Celsius um 0,6 Meter pro Sekunde zu. Somit beträgt sie bei 20 Grad Celsius ungefähr 344 Meter pro Sekunde und bei 30 Grad Celsius ungefähr 350 Meter pro Sekunde. (vgl. DICKREITER et al. 2008:2) Nachfolgend eine Tabelle die zeigt, wie sich die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Materialien ändert.

Schallgeschwindigkeit verschiedener Stoffe bei 20 °C und 1 bar	
Material	Geschwindigkeit (m/s)
Luft	343
Luft (0 °C)	331
Helium	1005
Wasserstoff	1300
Wasser	1440
Meerwasser	1560
Eisen und Stahl	≈ 5000
Glas	≈ 4500
Aluminium	≈ 5100
Hartholz	≈ 4000

Abb. 5: Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Stoffen bei 20°C (Quelle: GIANCOLI 2010:561)

Nach DICKREITER et al. (2008:2) gibt es zwischen der Wellenlänge, Frequenz und Schallgeschwindigkeit eines Tones folgenden Zusammenhang:

λ = Wellenlänge (m)

f= Frequenz (Hz)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

c= Schallgeschwindigkeit

Im Gegensatz zu Luftteilchen einer Schallwelle, die stets in Ausbreitungsrichtung dieser Welle schwingen (=Longitudinalwellen), gibt es in Flüssigkeiten und Festkörpern auch noch andere Wellenformen (siehe Abbildung 6). Generell ist die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern deutlich höher als in der Luft (siehe Abbildung 5) Auch in Flüssigkeiten ist die Schallgeschwindigkeit höher als in der Luft, jedoch nicht so hoch wie in Festkörpern. (vgl. DICKREITER et al. 2008:3f)

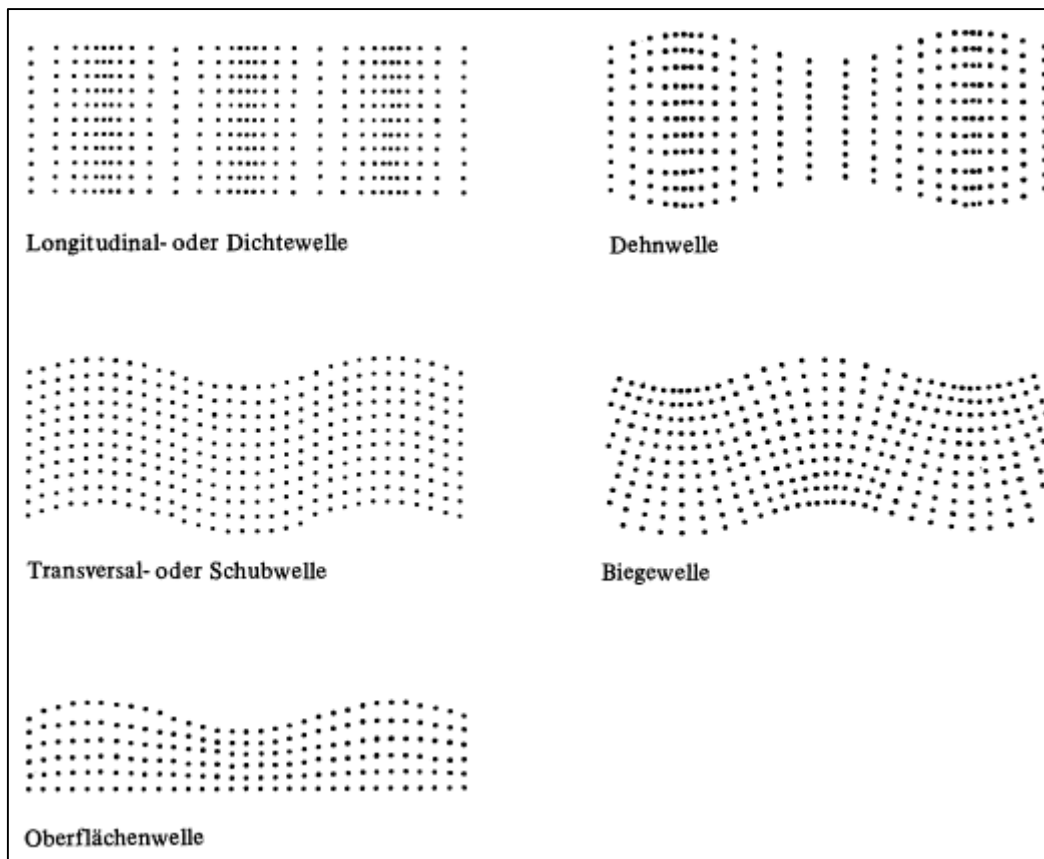


Abb. 6: Wellenformen in Festkörpern (Quelle: DICKREITER et al. 2008:4)

Bei Schallwellen muss man jedoch immer darauf achten, dass nicht die Partikeln, sondern lediglich die Energie ausgebreitet wird. So schreibt GÜNTHER et al. (2008:17): “Bei der Schallausbreitung schwingen die Partikel des Ausbreitungsmediums stets nur um ihre Ruhelage, sie wandern nicht weiter. Mit der Wellenbewegung breitet sich lediglich die Schallenergie aus.”

2.2.3 Schallgrößen

Um den Schall mitsamt seinen vielen Eigenschaften beschreiben zu können, gibt es zahlreiche sogenannte Schallgrößen. Die wichtigste dieser Schallgrößen ist dabei der *Schalldruck* (p). Bei Luftschallwellen entstehen durch Schwingungen der Luftpartikeln Bereiche von höheren und niedrigeren Druck. Diese Druckschwankungen erzeugen einen sogenannten Wechseldruck der sich dem atmosphärischen Druck überlagert. Das Maß für diese Druckdifferenz wird Schalldruck (p) genannt und hat die Einheit 1 N/m^2 ($=1 \text{ Pa}$). Zudem kann der Schalldruck auch als Maß für die Schallenergie, die in

einer Schallwelle enthalten ist, dienen. (vgl. LOHMEYER et al. 2005:389) Häufig werden mit dem Schalldruck akustische Berechnungen durchgeführt, da er laut DICKREITER et al. (2008:5) durch eine einzige Zahlenangabe definiert ist (skalare Größe) und somit mathematisch eher leicht zu verwenden ist. Dabei liegen die im Hörschall vorkommenden Druckwerte zwischen p_0 , dem geringsten bei 1000 Hz wahrnehmbaren Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa und $1,5 \cdot 10^2$ Pa, der den Schalldruck der Schmerzgrenze kennzeichnet. Ein Schalldruck von 0,1 Pa ist ungefähr der eines mäßig lauten Tones.

Eine weitere wichtige Schallgröße ist die sogenannte *Schallschnelle* (v). Dabei handelt es sich um die durch den lokalen Schallausschlag bedingte Geschwindigkeit, mit der sich die Partikeln eines Mediums (beispielsweise Luftpartikeln in der Luft) um ihre Ruhelage bewegen. Sie wird wie die Schallgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde angegeben. Die Schallschnelle ist eine vektorielle und gerichtete Größe, im Gegensatz zum Schalldruck, der eine ungerichtete skalare Feldgröße ist. (vgl. WEINZIERL 2008:21) Schalldruck und Schallschnelle haben jedoch im Fernfeld einer Schallquelle, also im fast ebenen Schallfeld, einen analogen Verlauf. Sie sind bei gleich bleibender Amplitude der Frequenz direkt und dem Abstand von der Schallquelle umgekehrt proportional. Bei konstanter Schallleistung und somit ungefähr gleicher Lautstärke sind sie nur der Entfernung umgekehrt proportional. (vgl. DICKREITER et al. 2008:5)

Bei der *Schallleistung* (P) handelt es sich nach WEINZIERL (2008:25) um die Energie, die pro Zeiteinheit in Form von Schallwellen abgegeben, übertragen oder empfangen wird und ihre Einheit ist Watt. Sie kann als Maß für die akustische Wirksamkeit einer Schallquelle angegeben werden. Neben der Schallleistung wird zur Beschreibung der Schallquelle aber auch noch zusätzlich die *Schallintensität* (I) herangezogen. Diese ist nach DICKREITER et al. (2008:8) jene Schallleistung, die durch eine Flächeneinheit, die senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Schallwelle steht, durchströmt. Sie wird in Watt pro m^2 angegeben. Nachfolgend eine Abbildung, die einen kurzen Überblick über die Schallleistungen verschiedener Schallquellen gibt.

Schallquelle	Schalleistung P [Watt]
Unterhaltungssprache	$10^{-6} \dots 10^{-5}$
Menschliche Stimme (Höchstwert)	$10^{-3} \dots 10^{-2}$
Geige (fortissimo)	39.723
Klarinette, Hörn (fortissimo)	$5 \cdot 10^{-2}$
Klavier (fortissimo)	$2 \cdot 10^{-1}$
Trompete (fortissimo)	39.721
Orgel, Pauke (fortissimo)	10
Orchester (75 Musiker)	70
Alarmsirene	1.000

Abb. 7: Schallleistungen einiger Schallquellen (Quelle: DICKREITER 2008:8)

Für WEINZIERL (2008:26) ist die Schallleistung „ein Maß für die Stärke einer Schallquelle [...] Ein Maß für die beim Empfänger ankommende Schallleistung ist die Schallintensität.“

Eine weitere Schallgröße ist die sogenannte *Schallenergie (w)* mit der Einheit Joule. Sie ist jene Energie, die sich in einem Schallfeld befindet. Dabei kommt einerseits durch sich bewegende Partikel und daraus resultierende Schallwellen kinetische Energie vor und andererseits kommt es gleichzeitig zur Verdichtung und Verdünnung der Partikeln, wodurch potentielle Energie gespeichert oder abgegeben wird. Als Summe der durch Schalldruck und Schallschnelle bedingten Energiezustände breitet sie sich wellenförmig aus. (vgl. WEINZIERL 2008:24f)

Die bisher beschriebenen Schallgrößen werden aber nach WEINZIERL (2008:28) meist nicht in ihren physikalischen Einheiten verwendet, sondern werden als Pegelgrößen in Dezibel (dB) angegeben. Oft wird der *Schalldruckpegel* auch einfach nur Schallpegel genannt. So schreibt DICKREITER et al. (2008:7): „Um die auftretenden großen Unterschiede des Schalldrucks besser erfassen zu können, verwendet man im Allgemeinen zur Kennzeichnung des Schalldrucks den absoluten Schalldruckpegel L, auch kurz einfach Schallpegel genannt. Der Schallpegel entspricht zudem besser dem menschlichen Lautstärkeempfinden. Der Schallpegel ist das 20-fache logarithmierte Verhältnis des Schalldrucks zu einem vereinbarten Bezugsschalldruck p_0 .“ Nach GASSNER et al. (2010:258) ist „der Schallpegel (L) eine objektiv messbare Größe, die in

Dezibel (dB) angegeben wird. Der für den Menschen hörbare Bereich liegt zwischen 0 und 130 dB.“ Aufgrund der Tatsache, dass bei einer Messung von Schalldrücken mit einer linearen Skala (Pa) eine große und unhandliche Zahl daraus resultieren würde und das menschliche Ohr eher logarithmisch als linear zu Geräuschen reagiert, erscheint es naheliegender, die akustischen Parameter als logarithmisches Verhältnis eines Messwertes zu einem Bezugswert darzustellen. (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:7)

Der Vorteil dieser Anwendung wird in folgender Abbildung sehr deutlich gemacht.

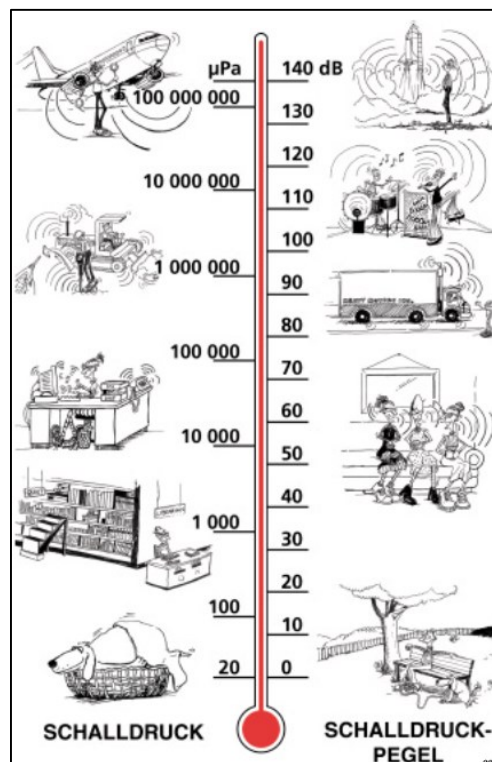


Abb. 8: Vergleich Schalldruck (Pa) mit Schalldruck dB-Skala (Quelle: BRÜEL und KJÆR 2000:7)

L_p = absoluter Schalldruckpegel (dB)

P = Schalldruck (Pa)

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{p_0}$$

P_0 = Bezugsschalldruck $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Die Größe p_0 ist ein Bezugsschalldruck, der genormt ist und etwa der Hörschwelle entspricht. Die Hörschwelle liegt für 1000 Hz bei 4 dB, die Schmerzgrenze ist für 1000

Hz bei 130 dB. 70-80 dB kennzeichnen in etwa mittlere Lautstärke. Wird für den Bezugsschalldruck ein beliebiger Druck gewählt, handelt es sich um einen sogenannten „relativen Schalldruckpegel“. (vgl. DICKREITER et al. 2008:7)

Neben dem relativen Schallpegel gibt es auch noch den sogenannten bewerteten Schallpegel (L_A). Aufgrund der Tatsache, dass genaue Messungen der Lautstärke eher schwierig sind aufgrund der komplizierten Zusammenhänge, kann man aber der Eigenart des menschlichen Ohres messtechnisch entsprechen. Dabei werden die Messergebnisse im Schallpegelmesser je nach Frequenz unterschiedlich bewertet. Bewertungsfilter in den Geräten ermöglichen die Nachahmung der Hörgewohnheit und der Schallpegelmesser ist dann in bestimmten Frequenzbereichen unempfindlicher (wie beispielsweise ähnlich unserem Ohr). Dabei werden Frequenzen unter 1000 Hz und über 5000 Hz abgeschwächt. Daraus entsteht folglich eine Bewertungskurve A. Der entstehende Schallpegel ist dann der A-bewertete Schallpegel L_A und ist ein Maß für die Stärke eines Geräusches und wird in dB(A) angegeben. Durch den bewerteten Schallpegel wird ungefähr die durch das menschliche Ohr empfundene Störwirkung wiedergegeben. Beispielsweise bleibt bei einem Schallpegel von $Z=60$ dB bei einer Frequenz von $f=1000$ Hz der bewertete Schallpegel $L_A=60$ dB(A), da für den A-bewerteten Schallpegel bei einer Frequenz von 1000 Hz kein Abzug zu berücksichtigen ist. Anders hingegen ist bei einer Frequenz von $f=63$ Hz und gleichen Schallpegel bei der A-Bewertung ein Abzug von 25 dB zu berücksichtigen (siehe Abbildung 9). Somit beträgt hier der bewertete Schallpegel nur 35 dB(A). (vgl. LOHMEYER et al. 2005:396)

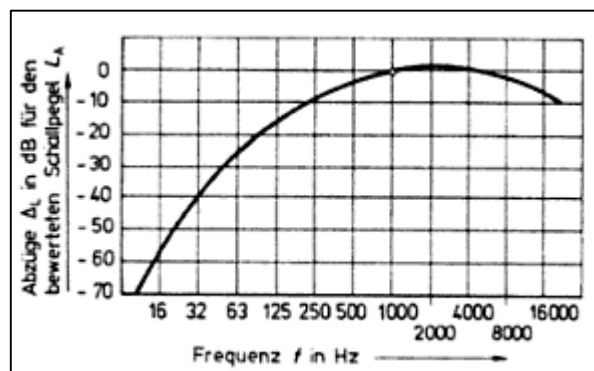


Abb. 9: Bewertungskurve A für den bewerteten Schallpegel L_A (Quelle: LOHMEYER et al. 2005:396)

Wenn man jedoch die Schallpegel von mehreren separaten Schallquellen messen will um schließlich den Gesamtschalldruckpegel ermitteln zu können, müssen die Schallpegel addiert werden. Doch aufgrund der Tatsache, dass es sich bei den dB-Werten um logarithmische Werte handelt, kann man sie nicht auf die gewohnte Art und Weise addieren. Folgende Formel beschreibt den Vorgang bei der Addition von Schallpegeln.

$$L_{pErgebnis} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$

Einfacher wird die Berechnung in folgender Abbildung dargestellt.

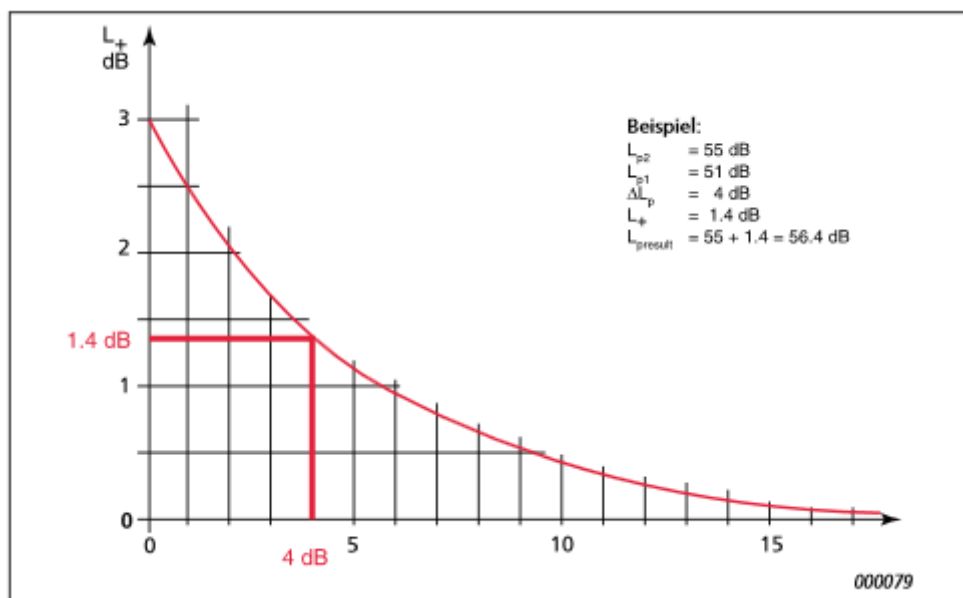


Abb. 10: Addition von 2 Schallpegel (Quelle: BRÜEL und KJÆR 2000:12)

Im ersten Schritt werden die verschiedenen Schallpegel gemessen (L_{p1}), (L_{p2}). Danach wird die Differenz dieser beiden Schallpegeln ermittelt. Diese Differenz wird nun auf der x-Achse aufgesucht und danach geht man bis zum Schnittpunkt mit der Kurve nach oben, um den Wert auf der y-Achse zu ermitteln. Dieser ermittelte Wert wird nun mit dem lauterem Schallpegel addiert und man erhält den Gesamtschalldruckpegel der beiden Schallquellen. Beträgt die Differenz zwischen zwei ermittelten Schallpegeln 0, so müssen 3 dB zum Schallpegel einer Quelle addiert werden. Somit ist der

Gesamtschalldruckpegel von zwei gleich lauten Schallquellen nur um 3 dB höher. Ist die Differenz höher als 10 dB, kann die leisere Schallquelle vernachlässigt werden. Bei drei oder mehreren Schallpegeln ist die Summe der ersten beiden Schallquellen und der Schalldruckpegel für jede weitere Schallquelle zu verwenden. (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:11f)

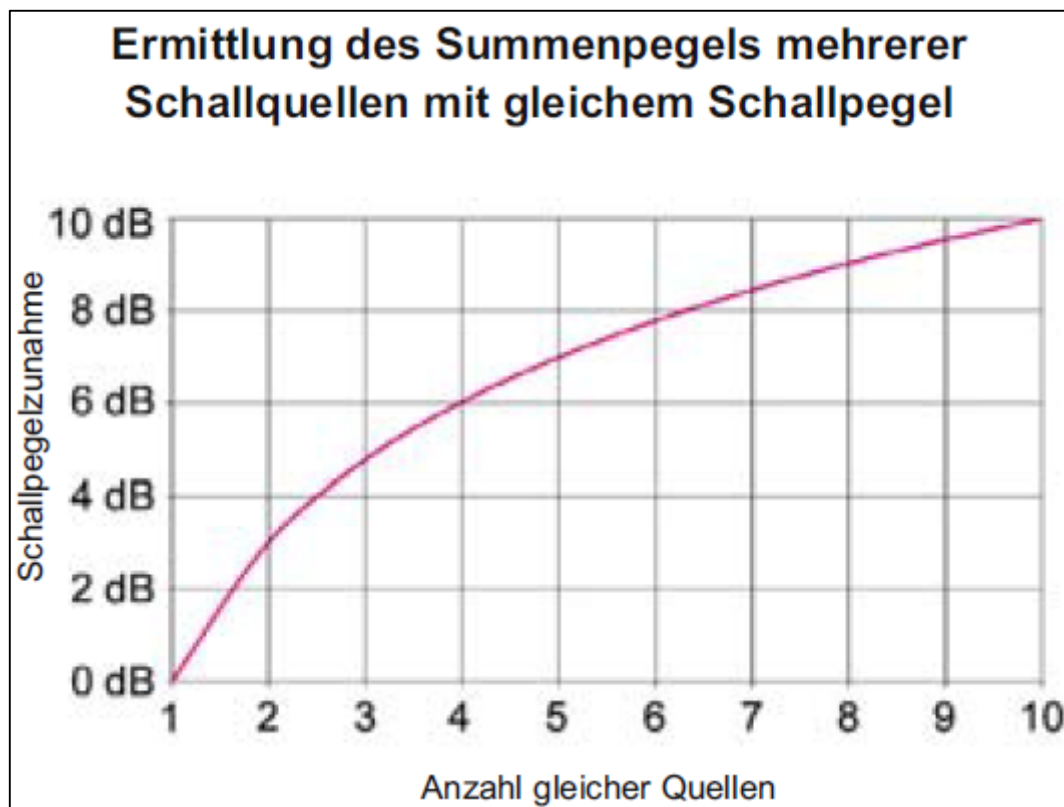


Abb. 11: Schallpegelzunahme bei mehreren gleich lauten Quellen (Quelle: Lebensministerium 2009:30)

Eine weitere wichtige Schallgröße ist der *Dauerschallpegel* (L_{eq}). Dieser wird berechnet, wenn man länger anhaltende, im Schallpegel schwankende Geräusche bei einer kontinuierlichen Schallpegelmessung beurteilen will. Es handelt sich hier also um einen Mittelungspegel. Dieser gibt allerdings nicht an, wie lange das Geräusch gedauert hat. Da es jedoch einen Unterschied macht, ob man dem Geräusch einen kurzen oder einen langen Zeitraum ausgesetzt ist, wird die Verdoppelung der Einwirkungszeit eines Geräusches bei gleicher Lautstärke rechnerisch durch eine Erhöhung um 3 dB bzw. 4 dB erfasst. (vgl. GASSNER et al. 2010:259)

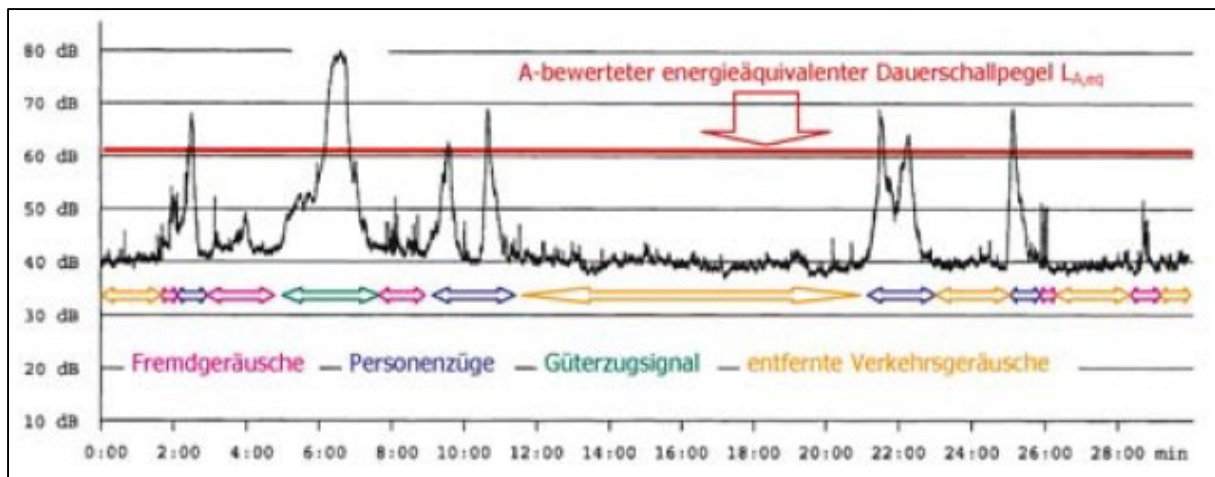


Abb. 12: Dauerschallpegel (Quelle: Lebensministerium 2009:29)

Um die Größe des Höreindrucks zu beschreiben, dient der sogenannte *Lautstärkepegel* (L_N) und wird in der Einheit Phon angegeben. Dabei beträgt der Lautstärkepegel eines Schalls n phon, wenn dieser Schall von hörenden Beobachtern als gleich laut empfunden wird wie ein Ton der Frequenz 1000 Hz und der als ebene Schallwelle genau von vorne auf den Beobachter trifft und den Schalldruckpegel n dB besitzt. Weiters gibt es auch noch die sogenannte *Lautheit* (N) in der Einheit sone, die der Stärke der Schallwahrnehmung normal hörender Beobachter proportional sein soll. Allerdings spielen Lautstärkepegel und Lautheit im Vergleich zu Schalldruckpegeln eher eine untergeordnete Rolle. (vgl. LANG 1994:2f)

2.2.4 dB-Skala

Die Dezibel-Skala verläuft nicht linear, sondern logarithmisch. Der Nullpunkt der in Dezibel gemessenen Skala bildet die Untergrenze der Wahrnehmung unseres menschlichen Ohres. Das bedeutet jedoch nicht, dass darunter kein Schall mehr vorhanden ist, er ist nur lediglich für uns Menschen nicht mehr wahrnehmbar. (vgl. KIPPENHAHN 2011:9) Die folgende Abbildung gibt mit dazugehörigen Beispielen einen kurzen Überblick über die Schallpegeln verschiedener Schallquellen.

dB (A)	Schallquelle	Hörempfinden
0	definierte Hörschwelle	
10	Blätterrauschen im Wald; Schneefall	kaum hörbar
20	tropfender Wasserhahn	sehr leise
30	Flüstern in 1 m	leise
40	Brummen eines Kühlschranks in 1 m	relativ leise
50	leise Radiomusik in 1 m; Geschirrspülmaschine	mäßig laut
60	normales Gespräch in 1 m; Pkw in 15 m Abstand	mäßig laut
70	Rasenmäher in 7 m; Schreibmaschine in 1 m Abstand, Waschmaschine im Schleuderbetrieb, Mofa, Moped	laut
80	Pkw mit 50 km/h in 1 m Abstand; maximale Sprechlautstärke; Staubsauger in 7 m, S-Bahn	sehr laut
90	Pkw mit 100 km/h in 1 m Abstand; Lkw-Motor in 5 m Abstand; Presslufthammer in 7 m, ICE, IC, IR, Güterzüge	sehr laut
100	Kreissäge in 7 m; Diskothek; Posaunenorchester	kaum erträglich
110	Propellerflugzeug in 7 m; Bohrmaschine; laute Diskothek	unerträglich
120	Verkehrsflugzeug in 7 m;	Schmerzschwelle

Abb. 13: Schallpegel verschiedener Schallquellen (dB – Skala) (Quelle: GASSNER et al. 2010:259)

2.2.5 Schallausbreitung

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln beschrieben, breitet sich der Schall wellenförmig aus. Dabei kann man grundsätzlich und in stark vereinfachter Form zwei Ausbreitungswellen unterscheiden. Zum einen die ebene Welle und zum anderen die Kugelwelle. Bei der ebene Welle handelt es sich um ein Schallfeld (=Feld wo der Schall wirkt), wo sich der Schalldruck sowie die Schallschnelle nur in die Ausbreitungsrichtung des Schallfeldes verändern. Um eine ebene Welle besser verstehen zu können, kann man sich eine unendlich ausgedehnte Schallwand vorstellen, die auf ihrer gesamten Fläche eine konphase Schwingung ausführt. Ebene Wellen sind zudem auch dadurch gekennzeichnet, dass Schalldruck und Schallschnelle in Phase sind, was bedeutet, dass am Ort des maximalen Schalldrucks auch die Schallschnelle am größten ist. Die Kugelwelle hingegen ist ein Schallfeld, wo Schalldruck und Schallschnelle eine kugelförmige Symmetrie aufweisen. Das bedeutet, dass sie sich in konzentrischen Kreisen von der Schallquelle wegbewegen. Man kann sich hier beispielsweise eine atmende Kugel (auch 'Monopol' genannt) vorstellen, die ein ebenso kugelförmiges

Schallfeld an die umgebende Luft überträgt. (vgl. WEINZIERL 2008:33f) Nach DICKREITER et al. (2008:4) nimmt dabei eine solche Kugelwelle mit zunehmenden Abstand zur Schallquelle immer mehr die Eigenschaften einer ebenen Welle an.

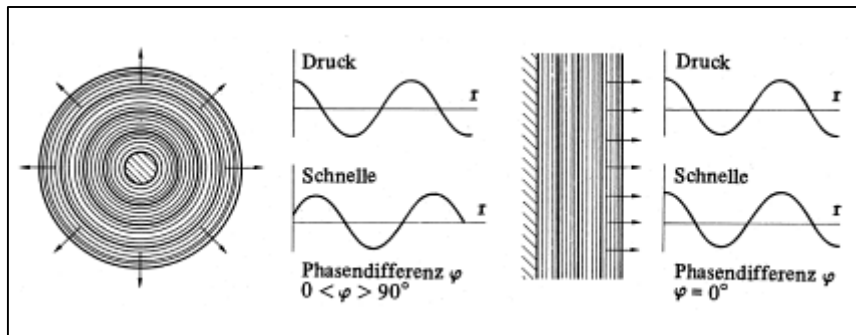


Abb. 14: Vergleich Kugelwelle (links) mit einer ebenen Welle (rechts) (Quelle: DICKREITER et al. 2008:5)

Inwieweit sich Schall ausbreitet, hängt jedoch von mehreren Faktoren ab und muss von diesen Faktoren berücksichtigt werden, um zu einem repräsentativen Ergebnis zu kommen (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:16):

- Schallquellentyp (Punkt oder Linie)
- Abstand von der Schallquelle
- Atmosphärische Absorption
- Wind
- Temperatur
- Hindernisse wie beispielsweise Gebäude oder Vegetation (Bäume, Sträucher, etc.)
- Bodenabsorption
- Reflexionen
- Feuchte
- Niederschlag

Die Schallabnahme resultiert somit nicht nur aus der Entfernung von der Quelle (Schallenergie wird auf immer größeren Raum verteilt und somit nimmt Energiedichte ab), sondern auch von anderen Faktoren wie Vegetation, etc. Jedoch kann auch eine Schallpegelzunahme erfolgen, die durch beispielsweise Reflexionen hervorgerufen wird. Die Schallveränderung zwischen Schallquelle und Betrachtungspunkt wird dabei als Transmission bezeichnet. Bei den Schallquellen unterscheidet man hauptsächlich zwischen Punkt- und Linienquellen. Punktquellen sind jene Schallquellen, deren Entfernung zum Zuhörer ein Vielfaches der Größenausdehnung der Quelle beträgt. Das sind beispielsweise Maschinen oder Lautsprecher. Bei großen Entfernungen sind auch großflächige Schallquellen wie Industriegebiete Punktschallquellen. Der Schall breitet sich dabei kugelförmig aus bzw. bildet der Erdboden eine Begrenzung und es resultiert eine Halbkugel als Ausbreitungsform. Die Pegelabnahme beträgt bei Punktquellen 6 dB bei Verdoppelung der Entfernung. Linien-schallquellen sind jene Quellen, die auf ihrer Länge Schall abgeben. Dieser wird dabei nicht kugelförmig, sondern zylinderförmig ausgebreitet. Beispiel einer Linien-schallquelle wäre zum Beispiel eine Straße. Die Pegelabnahme beträgt bei Linienquellen 3 dB bei Verdoppelung der Entfernung. (vgl. Lebensministerium 2009:30f)

Die atmosphärische Dämpfung durch Luft hängt nach BRÜEL und KJÆR (2000:19) von Faktoren wie Abstand von der Schallquelle, Frequenzinhalt der Geräusche, Lufttemperatur, relative Feuchte und Luftdruck ab. Wobei der Abstand zur Schallquelle und der Frequenzinhalt die beiden wichtigsten sind. Tiefe Frequenzen werden nicht gut gedämpft.

Die Schallausbreitung ist auch durch Wind (Geschwindigkeit abhängig von Seehöhe) und Temperatur (ebenfalls abhängig von Seehöhe) beeinflusst. Da die Schallgeschwindigkeit u.a. von der Temperatur abhängig ist, kommt es zu einer Zu- oder Abnahme der Schallgeschwindigkeit und zu einer Brechung der Schallstrahlen und folglich zu einer Verstärkung oder Verminderung des Schalldruckpegels auf dem Boden, im Gegensatz zu einer geradlinigen Schallausbreitung. (vgl. LANG 1994:22) Sinkt beispielsweise die Temperatur mit der Höhe, wird der Schall aufgrund der

niedrigeren Schallgeschwindigkeit in höheren Lagen nach oben hin abgelenkt und es entsteht eine Schattenzone wo das Geräusch schließlich leiser wahrnehmbar ist. Bei einer inversen Wetterlage (oben wärmer als unten) geschieht genau gegenteiliges (siehe Abbildung 15).

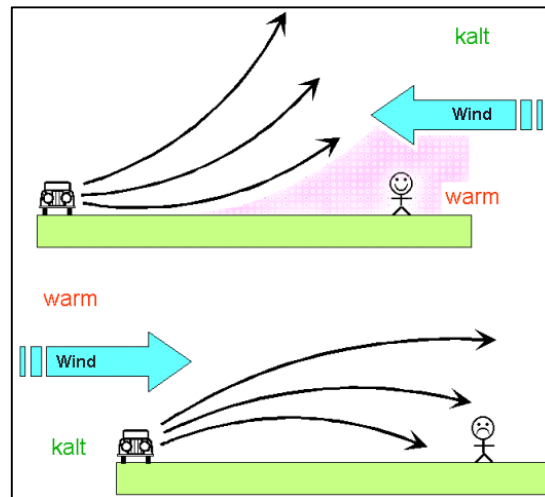


Abb. 15: Ablenkung von Schall bei unterschiedlicher Temperatur (Quelle: WWW: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schallausbreitung>, Zugriff am 16.2.2014)

Unterschiedliche Bodenbeschaffenheit hat insofern Auswirkung auf die Schallausbreitung, da der vom Boden reflektierte Schall den direkt abgestrahlten Schall beeinflusst. So schreibt BRÜEL und KJÆR (2000:21): „Der Bodeneffekt ist unterschiedlich für akustisch harte (geringe Absorption & Transmission, hohe Reflexion → z.B. Beton oder Wasser), weiche (z.B. Gras, Bäume) und kombinierte Oberflächen (...) Niederschlag kann die Bodendämpfung beeinflussen. Schnee kann eine beträchtliche Dämpfung oder auch hohe positive Temperaturgradienten ergeben.“

2.2.6 Reflexion – Absorption – Dämmung

Wenn Schallwellen auf Hindernisse treffen, können sie entweder reflektiert, absorbiert oder durchgelassen werden. Bei Reflexionen kommt es dabei zu Erhöhungen des Schallpegels, da sich direkte Schallwellen und reflektierte Schallwellen überlagern. So schreibt BRÜEL und KJÆR (2000:22): „Wenn Schallwellen auf eine Oberfläche treffen, wird ein Teil ihrer akustischen Energie reflektiert, ein Teil geht hindurch und ein Teil

wird absorbiert. Bei geringer Absorption und Transmission (trifft generell auf Gebäude zu) wird die Schallenergie größtenteils reflektiert und die Oberfläche als akustisch hart bezeichnet. Der Schalldruckpegel in der Nähe der Fläche stammt demnach von direkt abgestrahltem sowie ein- oder mehrfach reflektiertem Schall. Typisch ist der Pegel in 0,5m Abstand von einer ebenen Wand 3 dB(A) höher als ohne Wand.“

Nach DICKREITER et al. (2008:9f) kann man sich für die Schallreflexion die Schallausbreitung als Strahl vorstellen, ähnlich wie bei der Lichtausbreitung. Dabei gelten die gleichen Reflexionsgesetze wie in der Optik bei ebenen bzw. an Streu- und Hohlspiegeln. Jedoch muss die reflektierende Fläche groß genug sein, im Vergleich zur Wellenlänge der reflektierten Schallwelle. Trifft ein Schallstrahl auf eine ebene Fläche, so wird er genau unter jenem Winkel reflektiert, unter dem er auf die Fläche trifft. Weiters kann es zwischen reflektierenden, rechtwinkligen Wänden zu sogenannten „stehenden Wellen“ kommen. Dabei wird eine senkrecht auftreffende Schallwelle mit ihrer eigenen Reflexion überlagert. Dadurch kann es vorkommen, dass sich Schallwellen teilweise komplett gegenseitig auslöschen oder verstärken. Bedingung für stehende Wellen ist, dass der Abstand zur reflektierenden Fläche gleich der halben Wellenlänge oder einem ganzzahligen Vielfachen davon ist. Bei vollständiger Reflexion ist der Schall in den Druckknoten komplett ausgelöscht und in den Druckbäuchen verdoppelt, somit kann eine stehende Welle bei einem bestimmten Abstand zur reflektierenden Fläche immer nur für eine Frequenz auftreten. Zudem kann eine stehende Welle nur bei einem Dauerton auftreten.

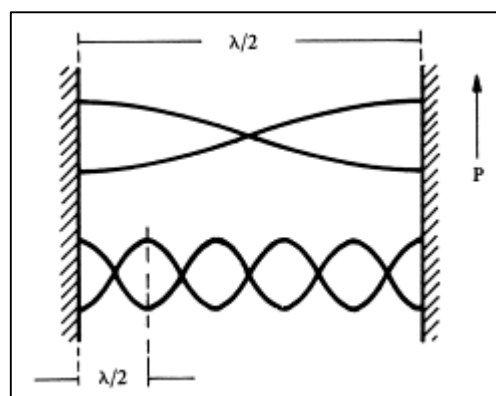


Abb. 16: Druckverteilung in stehenden Wellen zwischen zwei Wänden (Quelle: DICKREITER et al.

In großen Räumen oder im Freien (beispielsweise auf Bergen) kann aufgrund unterschiedlicher Laufstrecken zwischen direktem Schall und reflektiertem Schall ein merkbarer Zeitunterschied auftreten und das Resultat ist dann ein Echo. Ist das Hindernis groß, auf das eine Schallwelle trifft, kann eine Schattenwirkung eintreten. (vgl. GÜNTHER et al. 2008:23f)

Wie bereits erwähnt, muss eine Fläche mindestens einen Durchmesser haben, der mehreren Wellenlängen der zu reflektierenden Schallwellen entspricht, damit eine Reflexion entsteht. Falls nicht, wird der Schall nicht reflektiert sondern nur um die Fläche herum gebeugt. Ein Schallschatten entsteht erst bei ungefähr 5-facher Ausdehnung. (vgl. DICKREITER et al. 2008:13)

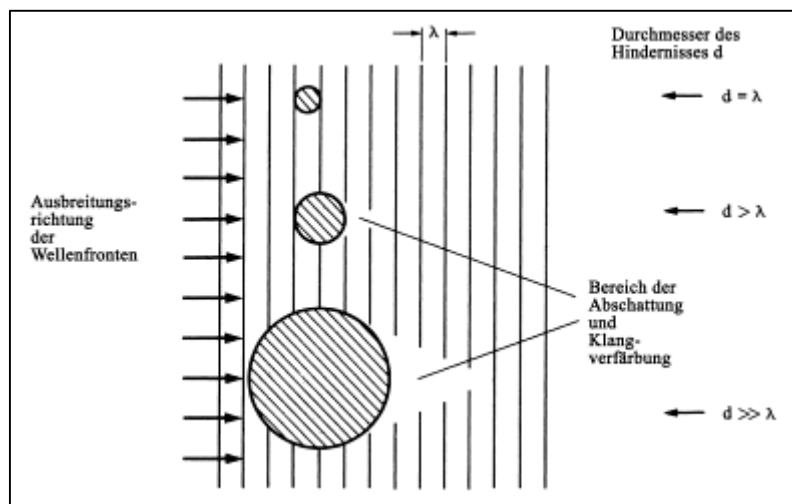


Abb. 17: Schallbeugung bei Zylindern verschiedener Größe (Quelle: DICKREITER et al. 2008:13)

Schall verliert bei seiner Ausbreitung und vor allem auch beim Auftreffen auf Hindernisse an Schallenergie und daraus resultiert eine Abnahme des Schalldruckpegels. Wie groß diese Abnahme ist hängt ab von:

- Abstand Schallquelle – Immissionspunkt
- Schallabsorption der Luft
- Einfluss des Bodens
- Hindernis im Schallausbreitungsweg

- Dämpfung durch Vegetation
- Reflexionen

Dabei sind alle, mit Ausnahme des Abstandes Schallquelle – Immissionspunkt, von der Frequenz abhängig. Die Schalldruckpegelabnahme beträgt bei Entfernungsverdoppelung beispielsweise 6 dB und bei Vegetation (dichter Bewuchs) 1 dB bis 4 dB. Zusätzlich kann man 0,5 dB Schalldruckpegelabnahme je 100 Meter durch die Luft annehmen. (vgl. LANG 1994:20)

Nach DICKREITER et al. (2008:14) wird als Maß für die Schallabsorption eines Hindernisses der sogenannte Absorptionsgrad α angegeben. Dieser kann neben einer Angabe in Prozent auch eine Zahl zwischen 0 und 1 sein, wobei 0 keine Absorption (= totale Reflexion) und 1 totale Absorption bedeutet. Wie hoch das Absorptionsvermögen tatsächlich ist, hängt einerseits ab vom Absorptionsgrad und andererseits von der absorbierenden Fläche.

Bei der Schalldämmung handelt es sich um die Fähigkeit von Materialien, die Ausbreitung von Schall zu hemmen und das dazugehörige Maß ist das sogenannte Schalldämmmaß R. Es gibt das Verhältnis in dB an zwischen auf eine Wand auftreffende Schallintensität und die durch die Wand durchgelassene Schallintensität. Diese Schalldämmmaße sind frequenzabhängig und steigen meist mit der Frequenz an. (vgl. DICKREITER et al. 2008:19)

Um eine Schalldämmung durch Abschirmung (beispielsweise durch eine Wand) und somit eine Schalldruckpegelabnahme zu erreichen, muss nach LANG (1994:21) die flächenbezogene Masse der Wand mindestens 10 kg/m² betragen und dicht sein.

Generell wird Schallabsorption bzw. Schalldämmung erreicht, wenn im Material viele kleine Poren (Hohlräume) vorhanden sind, da in diesen Poren der auftreffende Schall in Wärme umgewandelt wird und dadurch Schallintensität verloren geht. (vgl. KUYPERS 2012:327)

2.3 Formen von Schall

2.3.1 Einteilung nach Übertragungsmedium

Schall kann man zunächst einmal nach GÜNTHER et al. (2008:15) in folgende Formen einteilen:

- Luftschall
- Flüssigkeitsschall
- Körperschall

Der Luftschall ist jener Schall, der sich über die Luft ausbreitet und ist der am häufigsten vorkommende Schall. Der Flüssigkeitsschall breitet sich in Flüssigkeiten wie Wasser aus. Körperschall ist jener Schall, der sich in einem Festkörper ausbreitet.

2.3.2 Einteilung nach Frequenzen

Schall kann man auch nach unterschiedlichen Frequenzen unterteilen. Hierbei unterscheidet FIGURA (2004:355) vier Schallarten:

- Infraschall
- Hörbarer Schall
- Ultraschall
- Hyperschall

Infraschall bezeichnet jenen Schall im Frequenzbereich zwischen 0 bis 16 Hz und ist für den Menschen somit nicht hörbar. Der hörbare Schall liegt zwischen 16 Hz bis 16 kHz und ist, wie der Name schon sagt, für uns Menschen hörbar. Ultraschall kennzeichnet Schall im Frequenzbereich 20 kHz bis 10 GHz und ist genauso wie der Hyperschall, der eine Frequenz zwischen 10^9 bis 10^{12} Hz hat, für den Menschen nicht hörbar, da er zu hochfrequent ist für das menschliche Ohr.

2.3.3 Einteilung nach Schallart

Eine weitere Möglichkeit den Schall zu unterteilen ergibt sich durch die verschiedenen Schallarten. GÜNTHER et al. (2008:18) unterscheidet dabei folgende Schallarten:

- Ton
- Klang
- Geräusch
- Knall

Als Ton wird dabei jener Schall bezeichnet, der durch periodische und harmonische Schwingungen einer einzigen Tonfrequenz gebildet wird. Schall kommt in der Natur jedoch meist nicht als reiner Ton vor, sondern setzt sich hauptsächlich aus vielen zusammengesetzten Schwingungen zusammen. Stehen dabei die Frequenzen der Teilschwingungen in einem ganzzahligen Verhältnis zur tiefsten vorkommenden Grundfrequenz, dann handelt es sich um einen Klang, der ebenfalls periodisch ist. Alle anderen Schallformen die nicht so leicht abgrenzbar sind, werden als Geräusch zusammengefasst, wobei diese nicht periodische sondern unregelmäßige Schwingungen haben. Dabei werden jene Geräusche, die durch einen großen Ausschlag am Anfang gekennzeichnet sind, auch als Knall bezeichnet.

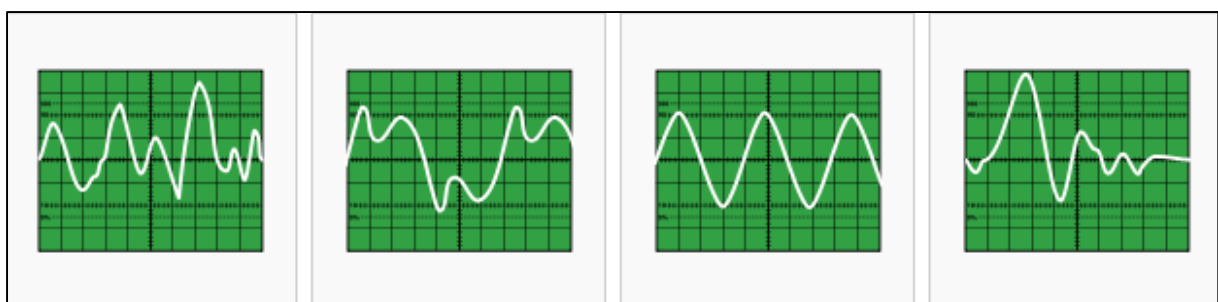


Abb. 18: v.l.n.r.: Geräusch, Klang, Ton, Knall (Quelle: WWW: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schall>, Zugriff am 18.2.2014)

2.4 Schallwahrnehmung beim Menschen

2.4.1 Menschlicher Hörsinn

Wir Menschen haben dank unseres Gehörsinns die Fähigkeit, Geräusche in unserer Umgebung wahrzunehmen. Die Ohrmuschel und der Gehörgang leiten dabei die aufgenommenen Schallwellen weiter nach innen. So gelangen sie weiter zum Trommelfell, das in Schwingungen versetzt wird. Durch diese Schwingungen des Trommelfells werden die angrenzenden Gehörknöchelchen aktiviert und die Druckschwankungen verstärkt. Diese Druckschwankungen werden nun ins Innenohr in eine Flüssigkeit weitergeleitet und diese wird ebenfalls in Schwingungen versetzt. Anschließend werden diese Schwingungen an Membranen weitergeleitet, die wiederum in Schwingungen versetzt werden. Dabei werden Hörsinneszellen, die sich auf einer dieser Membranen befindet, gereizt und es entstehen elektrische Reize, die nun zum Gehirn weitergeleitet werden. (vgl. KIPPENHAHN 2011:17-26)

Ob wir etwas hören oder nicht, hängt dabei nach Lebensministerium (2009:25f) nicht nur von der Größe des Schalldruckes ab, sondern auch von der Anzahl der Druckschwankungen pro Sekunde, also der Frequenz. Das menschliche Ohr kann dabei Frequenzen zwischen 16 Hz bis 16 000 Hz (bei jungen Menschen sogar 20 000 Hz) wahrnehmen. Weiters empfinden wir Menschen hohe und tiefe Töne (Schallwellen mit hoher und niedriger Frequenz) anders laut, als jene im mittleren Frequenzbereich, obwohl sie physikalisch denselben Schalldruck haben.

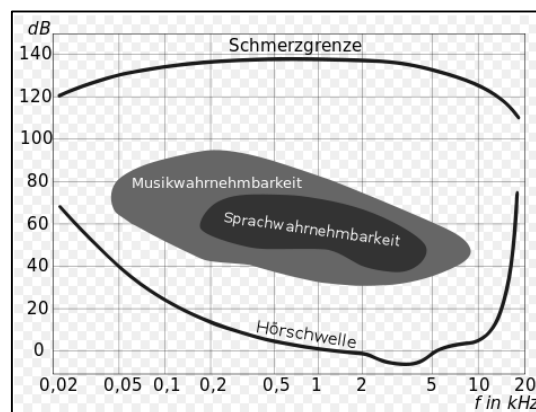


Abb. 19: Hörfläche des Menschen

(Quelle: WWW: http://de.wikipedia.org/wiki/Auditive_Wahrnehmung, Zugriff am 19.2.2014)

Zwei einzelne Schallquellen mit gleichem Schalldruck werden nur dann als gleich laut empfunden, wenn die Frequenzen gleich sind. Höhere Töne mit höherer Frequenz werden bei gleichem Schalldruck lauter empfunden als tiefere Töne mit niedriger Frequenz. (vgl. LOHMEYER et al. 2005:392)

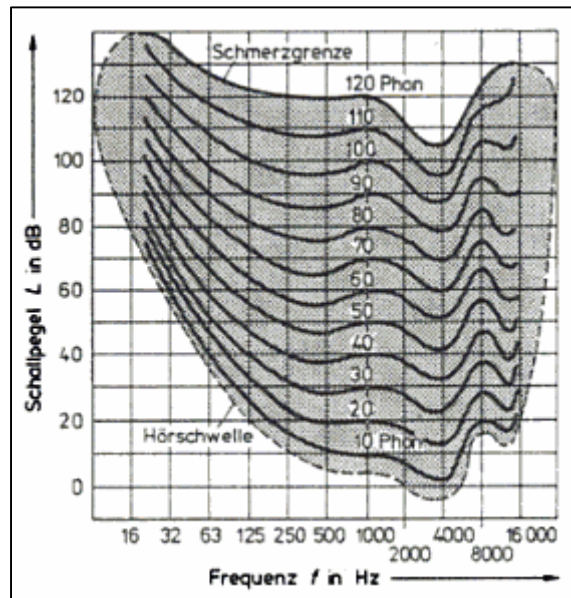


Abb. 20: Hörfläche mit Kurven gleicher Lautstärke (Quelle: LOHMEYER et al. 2005:393)

Nach BRÜEL und KJÆR (2000:9) ist auch zu beachten, dass zwar eine Zunahme um 6 dB eine Verdoppelung des Schalldrucks bedeutet, aber eine Zunahme von 8 dB bis 10 dB nötig ist, damit man den Schall subjektiv wesentlich lauter wahrnimmt.

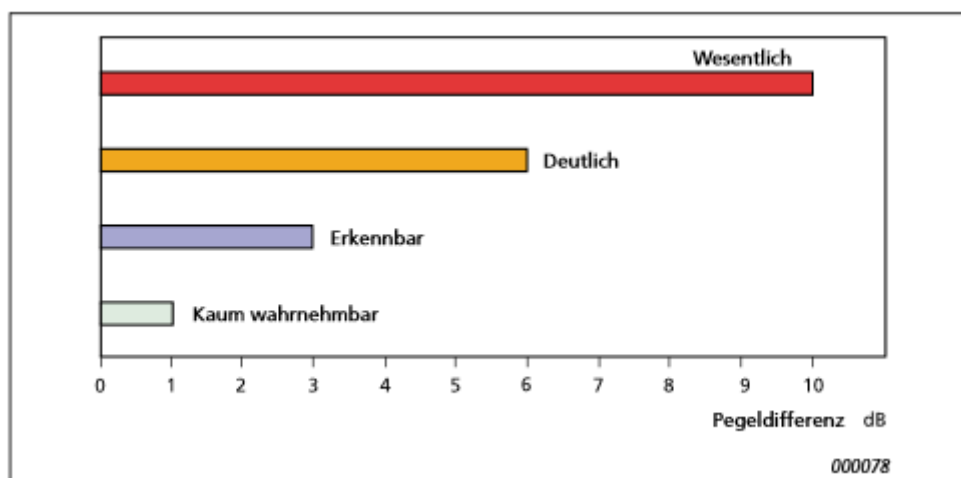


Abb. 21: Wahrnehmung von Schallpegeländerungen (Quelle: BRÜEL und KJÆR 2000:9)

Wir haben mit dem Hörsinn auch die Möglichkeit, unter mehreren gleichzeitig auftretenden Schallquellen, jenen herauszufiltern, den wir hören möchten. Beispielsweise wenn mehrere Personen miteinander sprechen, kann man mit seinem Willen selber beeinflussen, welche Person man hören möchte (=“Nutzschall“). Alle anderen Umgebungsgeräusche (die anderen Personen) werden dann quasi weggefiltert (=“Störschall“). (vgl. SCHMIDT und SCHAIBLE 2006:309)

2.4.2 „Doppler-Effekt“

Der Doppler-Effekt besteht in einer Frequenzverschiebung, wenn sich der Verursacher der Schallwellen und der Empfänger der Schallwellen relativ zueinander bewegen. Bei dieser Abstandsveränderung kommt es dabei zu einer Stauchung oder Dehnung des Signals. Dadurch kommt es zu einer Erhöhung oder Verminderung der Frequenz und folglich zu einer unterschiedlichen Tonhöhe. Klassisches Beispiel wäre ein Rettungsauto mit Sirene. Dabei hören wir den Ton der Sirene höher, wenn sich das Rettungsauto nähert, als wenn es sich von uns entfernt. (vgl. DANIEL 1997:317)

2.5 Lärm

2.5.1 Begriffsdefinition

„Die Seuche der Zukunft wird der Lärm sein, und die Menschheit wird den Lärm eines Tages ebenso erbittert bekämpfen müssen wie die Pest oder Cholera.“

(Robert Koch, Seuchenforscher, Ende des 19. Jahrhundert)

Wir Menschen sind unser ganzes Leben lang jeden einzelnen Tag unzähligen Geräuschen in den verschiedensten Formen und Lautstärken ausgesetzt, was zur Folge hat, dass wir eine subjektive Wahrnehmung über diese Geräusche entwickeln. Dabei empfinden wir manche Geräusche weniger lästig als andere. Die ungewollten Geräusche empfinden wir als sogenannten Lärm, von dem es heutzutage mehrere Definitionen gibt. Nach EISENHARDT (2008:190) ist Lärm ein unerwünschtes Geräusch

oder unerwünschter Schall. Dabei kann Lärm sehr subjektiv empfunden werden und ist deshalb auch rein physikalisch nicht erfassbar. So kann beispielsweise ein Geräusch (zum Beispiel laute Musik) für eine Person lästig und als Lärm empfunden werden und für die andere Person nicht, da ihr dieses Geräusch (Musik) gefällt und sie dadurch einen Nutzen hat. Somit besteht der Begriff „Lärm“ aus einer physikalischen Grundkomponente „Geräusch“ und einer physiologischen Komponente „unerwünscht“.

Nach BRÜEL und KJÆR (2000:14) sind bestimmte Geräusche (beispielsweise eines Lüfters) kontinuierlich und ohne Ton und werden deshalb kaum wahrgenommen, was zur Folge hat, dass wir diese Geräusche nicht als lästig empfinden. Nehmen wir jedoch ungewollte oder sehr laute Geräusche wahr, so handelt es sich um Lärm. Dabei wird ein Geräusch als Lärm empfunden, je eher sich der Schallpegel ändert und je aufdringlicher der Ton ist.

Nach Lebensministerium (2009:26f) ist Lärm „eine Begleiterscheinung der menschlichen Aktivitäten und der menschlichen Kommunikation. Lärm ist für viele BürgerInnen aber auch das Umweltproblem Nummer eins. Gemäß ÖNORM S 5004 wird Lärm als 'unerwünschter, störender und belästigender Schall' bezeichnet. Die Störwirkungen des Lärms reichen von leichten Irritationen bis hin zu tatsächlichen Gesundheitsstörungen (...) Lärm kann Menschen belästigen oder bei bestimmten Tätigkeiten stören und Konflikte auslösen, sodass Wohlbefinden und Gesundheit beeinträchtigt wird. Lärm hat also physische, psychische und soziale Auswirkungen, abhängig von der Art, Intensität und Dauer der Geräuscheinwirkung sowie von der Konstitution der Person und von der jeweiligen Situation.“

Nach der Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates (2002/49/EG) (2002:13) ist Umgebungslärm „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.“

Ob ein bestimmtes Geräusch als Lärm empfunden wird, hängt nach Lebensministerium (2009:27) dabei generell von folgenden drei Faktoren ab:

- vom Geräusch selbst, dass physikalisch (mit Schallgrößen) beschrieben werden kann
- von der Person selbst bzw. die Einstellung der Person zu einem Geräusch
- von der Situation, wann und wo das Geräusch auftritt

2.5.2 Formen von Lärm

Zunächst kann man Lärm nach den Schallquellen unterteilen. Dabei kann man nach Lebensministerium (2009:26) zwischen folgenden Lärmarten unterscheiden:

- Verkehrslärm, der durch Straßen-, Flug-, und Schienenverkehr verursacht wird
- Gewerbelärm, der durch Industrieanlagen verursacht wird
- Freizeitlärm, der durch Sportstätten oder Veranstaltungen verursacht wird

BRÜEL und KJær (2000:14f) unterscheiden den Lärm zusätzlich noch in folgende Lärmarten:

- Kontinuierlicher Lärm, der beispielsweise von pausenlos arbeitenden Maschinen erzeugt wird und immer dieselbe Lautstärke hat
- Intermittierender Lärm, der beispielsweise durch vorbeifliegende Flugzeuge oder vorbeifahrende Autos gekennzeichnet ist
- Impulslärm, der kurz und abrupt wirkt wie beispielsweise eine Explosion

2.5.3 Auswirkungen von Lärm auf den Menschen

Lärm hat aufgrund seiner negativen Begleiterscheinungen negative Auswirkungen auf den Menschen und seine Umwelt und aufgrund dessen betrifft die Lärmproblematik jeden einzelnen von uns. Dabei kann man davon ausgehen, dass Lärm, der durch Personen- und Güterverkehr (sei es am Land, in der Luft oder am Wasser) entsteht, auch in Zukunft noch weiter ansteigen wird. Der stetige Anstieg von Verkehrs- Waren-

und Personenmobilität verursacht immer mehr Lärm und wird deshalb zu einem immer größer werdenden Problem für die Bevölkerung. So kann es durchaus vorkommen, dass das Risiko einer Gesundheitsgefährdung in besonders lauten Umgebungen erhöht wird. Dabei ist besonders der Verkehrslärm zu beachten, der sich im stärkeren Maße als beispielsweise Industrielärm großflächig ausbreitet und große Teile dicht bewohnter Gebiete betrifft. Folgen davon sind Interessenskonflikte zwischen Lärmverursacher und Lärmbetroffenen. (vgl. KLOEPFER et al. 2006:1)

Für EISENHARDT (2008:190) hat Lärm physische und psychische Auswirkungen auf den Menschen. Lärm verursacht hierbei bei vielen Menschen Gehörschäden. Außerdem ist Lärm ein Mitverursacher von Unfällen im Straßenverkehr, aber auch zu Hause oder am Arbeitsplatz, da die Menschen in ihren Handlungen durch Lärm beeinträchtigt werden.

Nach STEINEBACH et al. (2009:128) hat Lärm folgende Gesundheitsrisiken:

- Hörbeeinträchtigung oder aber auch Tinnitus (kompletter Hörverlust jedoch eher selten, da hierfür die Lautstärken meist zu gering sind)
- Änderungen im sozialen Verhalten wie beispielsweise erhöhte Aggressionen
- Beeinträchtigung bei der Kommunikation
- Schlafstörungen und alle Folgen die sich daraus ergeben
- Herzkrankheiten
- erhöhter Stress
- Beeinträchtigung bei der Leistung am Arbeitsplatz oder in der Schule

Lärm hat also physische, psychische und soziale Auswirkungen auf den Menschen, abhängig von Intensität, Dauer und Art der Einwirkung. Bei der Lärmwirkung auf die Gesundheit wird grundsätzlich zwischen der auralen (direkten) Lärmwirkung und der extraauralen (indirekten) Lärmwirkung unterschieden. Bei der auralen Lärmwirkung können Hörstörungen durch Zerstörungen von Sinneshäärchen im Ohr auftreten, wobei diese Auswirkungen irreversibel sind, also nicht mehr rückgängig zu machen ist.

Einflussfaktoren sind dabei besonders Dauer und Höhe des einwirkenden Pegels. Eine gesundheitsgefährdende Lärmeinwirkung liegt bei einer Überschreitung eines Expositionsgrenzwertes von 85 dB (bei einem 8 Stunden Arbeitstag) bzw. bei 137 dB als Spitzenwert vor. Extraaurale Lärmwirkungen sind besonders im Umweltbereich zu beachten. Unser Hörsinn dient eigentlich als Alarm- und Warnsystem und ist quasi ein Sensor für Gefahren in unserer Umgebung. Dabei reagiert der Organismus bei Gefahrensituationen in Form von Angriffs- oder Fluchtreaktionen, die beide stressbedingte Reaktionsmuster sind und unseren Aktivierungszustand steigern. Reaktionsmuster können dabei beispielsweise erhöhter Wachheitsgrad, erhöhter Blutdruck, erhöhte Herzfrequenz, veränderte Durchblutung verschiedener Organe, unruhiger Schlaf, Aggression, Ablenkung, etc. sein. Viele dieser Reaktionen werden durch Stresshormone vermittelt. Lärm wirkt hier nicht direkt auf Organe, sondern ist Vermittler von Stresshormonen, die bei entsprechendem Fortbestand Erkrankungen verursachen oder weiter verstärken können. Vor allem Schlafstörungen verursachen beeinträchtigte Leistungsfähigkeit oder Gesundheitsschäden. (vgl. Lebensministerium 2009:27f)

Die gefährliche Intensität bei einer niedrigen Frequenz beginnt bei ungefähr 80 dB(A), bei hohen Frequenzen beginnt sie ungefähr bei 90 dB(A). Die Grenze in Wohngebieten liegt bei etwa 50 dB(A). 60-80 dB(A) entstehen, wenn ein Auto mit ungefähr 100 km/H in 30 Meter Entfernung vorbeifährt. Hauptlärmquelle in Wohngebieten ist dabei immer noch der Straßenlärm, der trotz technischer Lärmschutzmaßnahmen immer noch unverändert bleibt aufgrund der steigenden Fahrleistungen. Auch regelmäßige Besuche von Discotheken, wo Schallpegel von ungefähr 102 dB(A) vorherrschen, können zu einer Schädigung führen. Aufgrund dessen, aber auch durch anderen Freizeitlärm (wie beispielsweise Konzerte) kommt es vor allem in den Industriestaaten ab einem Alter von ungefähr 30 Jahren immer öfter zu einer Abnahme der Hörfähigkeit. (vgl. EISENHARDT 2008:192)

2.5.4 Schutz vor Lärm

Um die Menschen vor den Folgen großer Lärmeinwirkung zu schützen, können allgemein folgende Schutzmaßnahmen unterschieden werden:

- Maßnahmen an der Schallquelle (emissionsseitig)
- Maßnahmen am Schallausbreitungsweg
- Maßnahmen am Ort der Einwirkung (immissionsseitig)

Dabei sind jene Schallschutzmaßnahmen am sinnvollsten und wirtschaftlichsten, die an der Schallquelle getätigt werden, um die Schallemissionen bestmöglich zu reduzieren. Diese Maßnahmen an der Schallquelle werden auch als Primärmaßnahmen bezeichnet und sind aktive Lärmschutzmaßnahmen, im Gegenteil dazu die passiven Lärmschutzmaßnahmen, die im Bereich des Immissionsortes getroffen werden. Neben solcher Maßnahmen, kann man aber auch bereits im Vorfeld durch durchdachte und geplante Raumordnung und Flächenwidmung bzw. Einhaltung bestimmter Mindestabstände mögliche Konfliktpotentiale vermeiden. (vgl. Lebensministerium 2009:31)

Im Straßenverkehr ergeben sich Möglichkeiten der Geräuschminderung durch Reduktion der Reifengeräusche und durch leisere Straßenbeläge. Weiters ergeben sich auch Optionen der Minderung der Motorengeräusche bei Fahrzeugen. Auch im Schienenverkehr ergeben sich durch leisere Gleisanlagen bzw. leisere Schienenfahrzeuge Potentiale zur Minderung des Schallpegels. Im Luftverkehr kann man durch neue leisere Flugzeuge und geräuschoptimierter Start- und Landeverfahren den Pegel minimieren. (vgl. KLOEPFER et al. 2006:5f)

Auch für BRÜEL und KJÆR (2000:49f) ergeben sich Schallschutzmaßnahmen an der Schallquelle, am Ausbreitungsweg und am Immissionsort. Bei den Straßenbelägen lassen sich Schallpegeln aufgrund porösen Asphalt oder neuen dünnen geräuscharmen Belägen um 2 dB bis 6 dB vermindern. Mit Hilfe von Lärmschutzwänden kann man verhindern, dass sich der Lärm am Ausbreitungsweg ungestört ausbreiten kann. Dabei

spielt die Höhe der Wände eine entscheidende Rolle. Dabei gelten Wände als wirkungsvoll, wenn sie eine Höhe von 1,5 Meter (Schienenverkehr), 3 bis 7 Meter (Straßenverkehr) oder 10 Meter (Flughafenlärm in Bodennähe) haben. Am Immissionsort, wie beispielsweise an Gebäuden, kann man Schalleinwirkung mittels einer Fassadenschalldämmung verringern.

Neben diesen baulichen Maßnahmen kann man aber auch durchaus mit Vegetation, wie zum Beispiel höhere Sträucher, der Schalleinwirkung entgegentreten, die zudem in den meisten Fällen auch noch schöner ins Landschaftsbild passt bzw. natürlicher aussieht. So kann man in Gärten neben stark befahrenen Straßen oder Zugstrecken immer wieder dicht aneinandergereihte Thujen sehen, die einerseits als Sichtschutz aber hauptsächlich auch als natürliche Lärmschutzwand fungieren.

2.6 Schallmessung

2.6.1 Nutzen einer Schallmessung

Will man wissen, wie laut es in einem bestimmten Gebiet (beispielsweise entlang einer stark befahrenen Straße oder neben einer Industrieanlage) ist, ist eine Schallmessung unumgänglich. Auch sämtliche Lärmschutzmaßnahmen und Lärmschutzprogramme basieren auf Schallmessungen, zudem sind solche Schallmessungen meist auch gesetzlich vorgeschrieben. Dabei legen bestimmte Normen und Richtlinien fest, welche Parameter gemessen werden müssen. Sie schreiben zudem auch fest, wie die Messgeräte eingestellt und meteorologische Bedingungen während der Messung behandelt werden müssen. Man muss jedoch darauf achten, dass das Ergebnis einer solchen Schallmessung niemals eine einfache Zahl mit der Einheit dB ist, sondern ein Wert für bestimmte Kenngrößen und Parameter, der unter bekannten und dokumentierten Bedingungen gemessen wurde. Weiters ist Planung ein wichtiger Teil des Lärmschutzes, wobei man zwischen zwei Ebenen unterscheiden kann. Auf globaler Ebene wird die akustische Situation eines großen Gebietes ständig kontrolliert um zukünftige Lärmprobleme zu vermeiden. Auf lokaler Ebene werden sogenannte

Umweltverträglichkeitsprüfungen für einzelne Projekte (beispielsweise eine neue Autobahn) durchgeführt, bevor diese dann auch tatsächlich genehmigt werden. Hierbei soll das Überschreiten eines Grenzwertes verhindert und Lärmwirkungen und andere Umweltfaktoren mit den sozioökonomischen Vorteilen eines Projektes abgewogen werden. (vgl. BRÜEL und Kjær 2000:25f,45)

2.6.2 Prinzip einer Schallmessung

Die Grundlage für die Beurteilung einer Schallimmission bildet der A-bewertete Schalldruckpegel. Weiters muss die Dauer der Einwirkung und die besonderen Geräuschmerkmale (beispielsweise Impulscharakter, Tonkomponenten, Informationshaltigkeit) berücksichtigt werden. Aus dem A-bewerteten Schallpegel wird anschließend unter Berücksichtigung aus den zuvor erwähnten Einflüssen der Beurteilungspegel gebildet. Dieser bewertet die Belastung der Betroffenen am Immissionsort. (vgl. LANG 1994:17)

Die Ermittlung des Schallpegels an einem bestimmten Punkt kann nach BRÜEL und KJær (2000:39) entweder auf tatsächliche Messungen, oder aber auch auf theoretische Berechnungen basieren. Eine Berechnung ist dabei in folgenden Fällen ratsamer:

- wenn die zu messenden Schallpegeln durch starke Hintergrundgeräusche beeinflusst werden (beispielsweise Ermittlung des Lärms einer Industrieanlage neben einer stark befahrenen Straße)
- wenn zukünftige Schallpegeln ermittelt werden
- wenn mehrere alternative Szenarien für Lärmschutzmaßnahmen verglichen werden
- wenn Lärmkonturkarten erstellt werden
- wenn der Zugang zu einem Messort erschwert ist

Vorteile	Nachteile
• Ausführliche Informationen zu kritischen Schallquellen an vielen Positionen • Unabhängig von meteorologischen Bedingungen • Bewertung von Hypothesen • Einfach zu aktualisieren • Weniger empfindlich gegenüber Hintergrundgeräusch	• Umfangreiche Datensammlung (Geräuschdaten und Geometrie) • Ergebnissenauigkeit in stärkerem Maße abhängig von akustischen Kenntnissen und Erfahrung mit Modellierung

Abb. 22: Vor- und Nachteile einer Berechnung im Vergleich zur Messung (Quelle: BRÜEL und Kjær 2000:44)

Die Algorithmen für die Berechnung werden dabei durch Messungen verifiziert und erreichen ähnliche Genauigkeiten wie durchgeführte Messungen. Der Vergleich zwischen Berechnung und Messung sollte unter stabilen Wetterverhältnissen bei Mitwind (Windrichtung von der Schallquelle zum Immissionsort) erfolgen. Wie genau tatsächlich solche Berechnungen sind, hängt ab von Szenario, Pegel, Bereich, Eingangsgrößen und Können des Anwenders. Besonders auf die Qualität der verwendeten Eingangsdaten wie beispielsweise Topographische Daten oder Schallleistungspegel von Maschinen ist zu achten, da die Genauigkeit der Ergebnisse stark davon abhängt. (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:42)

Falls Messungen durchgeführt werden, müssen nach BRÜEL und KJÆR (2000:27) folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- genügend Abstand von Fassaden
- genügend Abstand von Hindernissen
- Messung bei Mitwind
- bei trockenem Wetter mit Windgeschwindigkeit unter 5 m/s
- mit dem Mikrofon ungefähr 1,2 bis 1,5 Meter über dem Boden

Neben diesen Faktoren ist auch die Dauer der Messung wichtig für das Ergebnis. Idealerweise sollte eine Messung über einen sehr langen Zeitraum erfolgen, um ein bestmögliches und repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Dies ist jedoch in den meisten

Fällen nicht möglich, da Langzeitmessungen sehr kostspielig und daher meist nicht realisierbar sind. Daher begnügt man sich meist mit einzelnen repräsentativen Stichproben und fasst diese zusammen. Es ist auch wichtig, dass das verwendete Schalldruckpegelmessgerät kalibriert wurde und somit allen relevanten Normen entspricht. Bei der Kalibrierung wird zudem auch die Empfindlichkeit bei einer bestimmten Frequenz und eines bestimmten Schalldruckpegels überprüft. Messungen können grundsätzlich entweder beaufsichtigt oder unbeaufsichtigt sein, wobei die unbeaufsichtigte Messung die bequemere und wirtschaftlichere Methode darstellt, da die aufgenommenen Daten sofort weiter ins Büro gesendet werden können. Vorteil einer beaufsichtigten Messung ist jedoch die Möglichkeit einer Veränderung der Messeinstellungen oder Verhinderung von Störeinwirkungen. (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:25f,28,51)

2.6.3 Messgerät

Schalldruckpegel werden heutzutage mit sogenannten Schallpegelmessern gemessen, wobei die dazugehörigen Mikrofone als Empfänger dienen. Diese Mikrofone bestehen aus einer dünnen Membran, die in Schwingungen versetzt wird, wenn Schallwellen auf sie treffen. Dabei wird mechanische Schwingungsenergie in elektrische umgewandelt. Diese elektrischen Schwingungen werden zusätzlich noch elektrisch verstärkt, gleichgerichtet und auf dem Messgerät angezeigt. (vgl. DOBRINSKI et al. 2010:438)

Bei den Mikrofonen kann man dabei grundsätzlich nach GÜNTHER et al. (2008:31-33) zwischen Schnellemikrofonen und Druckmikrofonen unterscheiden. Schnellemikrofone sprechen auf die Schallschnelle an. Da die Membran über einen hinten offenen Mikrofonkörper aufgespannt ist, fühlt sie den Druckunterschied zwischen Vorderseite und der rückwärtigen Abschlussfläche des Mikrofonkörpers. Daher ist bei einem Schnellemikrofon die Messempfindlichkeit von der Einfallsrichtung der Schallwellen abhängig. Von vorne und hinten ist die Empfindlichkeit für Schallwellen gleich, nur für den seitlichen Einfall von Schallwellen entsteht keine Mikrofonwirkung. Beim Druckmikrofon ist die Membran über die Vorderseite des Mikrofonkörpers gespannt, wobei der Mikrofonkörper die Rückseite der Membran

komplett von Schallwellen abschirmt. Daher ist die Auslenkung der Membran vom Schalldruck abhängig. Im Gegensatz zum Schnellemikrofon wird es aber gleichzeitig von allen Seiten vom selben Druck getroffen. Aufgrund dieser Eigenschaft sind Druckmikrofone für Messungen besser geeignet.



Abb. 23: Schallpegelmessgerät (Quelle: WWW: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schallpegelmesser>, Zugriff am 26.2.2014))

Mit solchen Schallpegelmessgeräten lässt sich dabei aber nicht nur ein einziger Pegelwert anzeigen, sondern auch zahlreiche andere Schallfeldgrößen, die im folgenden Kapitel kurz erläutert werden.

2.6.4 Schallmessgrößen

Der *energieäquivalente Dauerschallpegel* ($L_{A,eq}$) beschreibt das gesamte Schallereignis mit schwankenden Schallpegel und steht für jenen Schallpegel, der bei ununterbrochener Andauer den gleichen Energieinhalt aufweist wie das Ereignis mit schwankendem Pegel und gleicher Dauer. Der *Basispegel* ($L_{A,95}$) ist der in 95% der Messzeit überschrittener A-bewerteter Schalldruckpegel der Schallpegelhäufigkeitsverteilung eines Geräusches und kennzeichnet den Bereich des geringsten vorkommenden Schallpegel. Der *Mittlere Spitzenpegel* ($L_{A,1}$) ist der in 1%

der Messzeit überschrittene A-bewertete Schalldruckpegel und kennzeichnet den Bereich mittlerer Schallpegelspitzen. Der *Maximalpegel* ($L_{A,MAX}$) ist der höchste während der Messzeit auftretende A-bewertete Schalldruckpegel. Von all diesen Schallmessgrößen hat jedoch der energieäquivalente Dauerschallpegel die größte Bedeutung. Denn erst durch die Beschreibung eines schwankenden Schalldruckpegels durch eine einzige Zahl ist es sinnvoll, Lärmkarten zu erstellen oder Berechnungen und Prognosen durchzuführen. (vgl. Lebensministerium 2009:29)

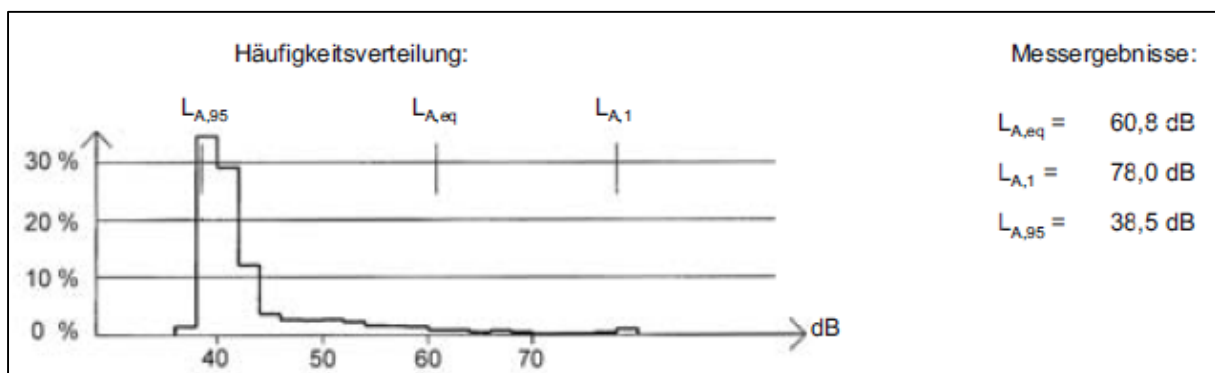


Abb. 24: Beispiel eines Pegelzeitverlaufes einer Verkehrslärmmessung (Quelle: Lebensministerium 2009:29)

2.6.5 Messbericht

Der Messbericht spielt bei der Schallmessung ebenfalls eine große Rolle und wird oft unterschätzt. Häufig werden nur wenige Daten, wie beispielsweise einzelne dB-Werte, angegeben. Doch das erschwert die anschließende Interpretation der Ergebnisse, da entscheidende Informationen fehlen. Wie genau ein Messbericht sein muss, hängt dabei von seinem Verwendungszweck ab. Es gibt aber Normen und Richtlinien, die angeben welche Informationen ein solcher Bericht enthalten soll (vgl. BRÜEL und KJÆR 2000:37):

- Ergebnisse
- Messverfahren
- Typ der verwendeten Messgeräte

- Vorgehensweise bei der Messung
- Verwendete Berechnungen
- Vorherrschende Bedingungen
- Atmosphärische Bedingungen (generell: Wetterlage)
- Art/Zustand des Bodens zwischen Schallquelle und Immissionspunkt
- Veränderlichkeit der Schallquelle
- Kalibrierdaten
- Messdatum, Zeit von Messbeginn und Messende
- Anzahl der durchgeführten Messungen
- Beschreibung der untersuchten Schallquelle
- Zweck der Messung
- Verwendete Norm
- Verwendete Ausrüstung
- Karte mit den Positionen der Schallquellen, relevante Objekte und Immissionspunkte

Die Ergebnisse von Schallmessungen kann man dabei im Messbericht auf verschiedene Art und Weise darstellen. Zum Beispiel in Form von Tabellen oder Diagrammen. Eine weitere Möglichkeit zur Darstellung der Ergebnisse von Schallmessungen sind sogenannte Lärmkarten, die die Verbreitung von Schalldruckpegeln auf einer Karte grafisch darstellen und mit entsprechender Legende für jedermann leicht verständlich sind. Lärmkarten werden hierbei im folgenden Kapitel ausführlich behandelt.

3. Lärmkarten

Dieses dritte Kapitel beinhaltet nun eine allgemeine Einführung in das Thema Lärmkarten und soll einen Überblick geben, wie diese Lärmkarten überhaupt produziert werden und welche Bestandteile sie haben. Auf Basis dieses angeeigneten Wissens werden schließlich später im praktischen Teil dieser Arbeit Lärmkarten selbst erstellt. Neben der rechtlichen Situation in Österreich werden hier auch die Mess- und Berechnungsverfahren etwas genauer erklärt, die im Zuge der Erstellung solcher Lärmkarten durchgeführt werden. Zudem werden auch die grafischen Aspekte solcher Karten etwas näher beleuchtet.

3.1 Einführung & Begriffsdefinition

Lärmkarten zeigen in anschaulicher Weise die Verteilung von bestimmten Schalldruckpegeln in einem Gebiet. So schreibt HELLBRÜCK und FISCHER (1999:217): „Lärmbelastungen werden in Lärmkarten eingetragen. Hierbei handelt es sich um Kartierungen der räumlichen Schallpegelverteilungen. Gleiche Schallpegelwerte werden durch Linien verbunden oder farblich kodiert. Lärmkarten basieren heute kaum noch auf Schallpegelmessungen, sondern auf Hochrechnungen, in die beispielsweise Daten aus Verkehrszählungen, geographischen und baulichen Besonderheiten eingehen.“

Nach Lebensministerium (2009:49) sind Lärmkarten „flächenhafte Darstellungen der Schall-/Lärmbelastung in beliebig bebauten oder unbebauten Gebieten eines festgelegten Untersuchungsbereiches, z.B. eines Gemeindegebietes (...) und wird erst durch die genormte und international standardisierte Beschreibung eines schwankenden Geräusches durch eine einzige Zahl – den L_{aeq} -Wert – ermöglicht, Schallsituationen zu beschreiben und interessierende Szenarien einer vergleichenden Betrachtung zu unterwerfen.“

Für STEINEBACH et al. (2009:128) sind Lärmkarten ein gutes Instrument zur Veranschaulichung der Schallpegel in einem kartografischen Format und helfen zudem bei der Bewertung von Lärm im Zusammenhang mit Gesundheit und Lebensqualität. Ein weiterer Vorteil von Lärmkarten neben der grafischen Visualisierung von Schallpegeln besteht darin, dass man auch noch andere Daten kombinieren kann und sie auf Korrelation untersuchen kann.

Auf Lärmkarten werden also für das Auge unsichtbare Lärmsituationen grafisch dargestellt und sichtbar gemacht. Zudem zeigen sie auch Überschreitungen eines bestimmten Grenzwertes und die geschätzte Anzahl an Wohnungen, Schulen und Krankenhäuser in einem bestimmten Gebiet, die einem bestimmten Pegel ausgesetzt sind und die geschätzte Anzahl der Menschen in einem lärmbelasteten Gebiet. Diese Lärmkarten können dabei entweder als einfache Grafik, als Zahlenangaben in Tabellen oder aber auch als Zahlenangaben in elektronischer Form vorgelegt werden. Sie werden hauptsächlich für Lärmquellen von Straßenverkehr, Schienenverkehr, Flughäfen und Industriegelände ausgewiesen. Die Erstellung solcher Lärmkarten dient dabei dem Zweck, einerseits die betroffenen Bürger zu informieren und andererseits dienen sie als Grundlage für Aktionspläne zur Lärminderung. (vgl. Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2002/49/EG 2002:22)

Bei diesen Lärmkarten gibt es aber auch einzelne Probleme die das Lebensministerium (2009:49) wie folgt beschreibt: „Ein Nachteil dieser Methode im Realitätsvergleich ist zweifelsohne, dass das dreidimensionale und zeitlich veränderliche Phänomen Lärm dabei in nur zweidimensionaler Form visualisiert wird. Während Berechnungen in aller Regel auf nachvollziehbare Ausgangsdaten beruhen, flächenbezogene Aussagen liefern und nach den gültigen Rechenverfahren immer unter der Annahme von Mitwindsituationen (Wind in alle Abstrahlrichtungen) durchgeführt werden, stellen Messungen immer nur punktuelle Momentaufnahmen dar. Messungen können zudem nur bei definierten Witterungsbedingungen durchgeführt werden, um Verfälschungen durch zufällig vorherrschende meteorologische Einflüsse auszuschalten.“

Wie bereits erwähnt dienen Lärmkarten einerseits zur Information für Bürger und andererseits als Grundlage für sogenannte Aktionspläne. Ein Aktionsplan ist dabei nach der Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2002/49/EG (2002:14) „ein Plan zur Regelung von Lärmproblemen und von Lärmauswirkungen, erforderlichenfalls einschließlich der Lärminderung.“

Diese Aktionspläne müssen dabei mindestens folgende Angaben und Unterlagen beinhalten (vgl. Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2002/49/EG 2002:23):

- Beschreibung des Ballungsraums, Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken oder Großflughäfen und andere Lärmquellen, die zu berücksichtigen sind
- die zuständige Behörde
- den rechtlichen Hintergrund
- alle geltenden Grenzwerte
- eine Zusammenfassung der Daten der Lärmkarten
- eine Bewertung der geschätzten Anzahl von Personen, die Lärm ausgesetzt sind, sowie Angaben von Problemen und verbesserungsbedürftigen Situationen
- das Protokoll der öffentlichen Anhörungen
- die bereits vorhandenen oder geplanten Maßnahmen zur Lärminderung
- die Maßnahmen, die die zuständigen Behörden für die nächsten fünf Jahre geplant haben
- eine langfristige Strategie
- finanzielle Informationen
- geplante Bestimmungen für die Bewertung der Durchführung und der Ergebnisse des Aktionsplans

Die in diesen Aktionsplänen festgelegten Maßnahmen und Strategien zur Lärminderung sollen dabei in jenen Gebieten eingesetzt werden, in denen die dB-Grenzwerte überschritten werden.

Maßnahmen bei Überschreitung dieser festgelegten Grenzwerte können dabei nach Lebensministerium (2009:18) u.a. sein:

- Maßnahmen in der Verkehrs- und Infrastrukturplanung
- Maßnahmen zu Verkehrsfluss und Infrastrukturbetrieb
- Maßnahmen in der Raumordnung
- auf die Geräuschquelle ausgerichtete technische Maßnahmen
- Wahl von Quellen mit geringerer Lärmentwicklung
- Maßnahmen zur Verringerung der Schallübertragung
- rechtliche oder wirtschaftliche Maßnahmen oder Anreize

3.2 Rechtliche Vorgaben

Mit der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates wurde ein Konzept festgelegt, in dem Lärm und seine schädlichen Auswirkungen mittels bestimmter Maßnahmen verhindert oder zumindest eingeschränkt werden soll. Diese Maßnahmen beinhalten u.a. die Ermittlung und Darstellung der Umgebungslärmbelastung mit Hilfe von Lärmkarten, Information der Öffentlichkeit über Lärm und seine Auswirkungen sowie Entwicklung von Aktionsplänen die auf Lärmkarten basieren und konkrete Maßnahmen gegen Lärm beinhalten. Für bestimmte Gebiete mit besonderer Bedeutung sind Lärmkarten sogar vorgeschrieben. Die Mitgliedstaaten sind dabei für die Ausführung der oben genannten Maßnahmen verpflichtet. Zusätzlich verpflichten sich die Mitgliedstaaten dazu, dass für alle Ballungsräume mit mehr als 100.000 Einwohnern sowie für alle Hauptverkehrsstraßen mit einem Verkehrsaufkommen von mehr als 3 Millionen Fahrzeugen pro Jahr, Haupteisenbahnstrecken mit mehr als 30.000 Zügen pro Jahr und Großflughäfen in ihrem Hoheitsgebiet strategische Lärmkarten und Aktionspläne ausgearbeitet werden. Diese strategischen Lärmkarten sollen hierbei getrennt für die jeweiligen Lärmquellenarten gemittelt für den gesamten Tag und Nacht erstellt werden. Für die Gesamtbelastung durch alle Lärmquellen beschäftigt sich die Richtlinie jedoch nicht.

Lärmkarten sollen alle fünf Jahre überprüft und falls nötig aktualisiert werden. Die Mitgliedstaaten können selbst entscheiden, welche Behörden und Stellen für die Ausarbeitung von Lärmkarten und Aktionsplänen verantwortlich sind. Bei Grenzgebieten sollen die benachbarten Mitgliedstaaten zusammenarbeiten. Weiters sind die Mitgliedstaaten dazu verpflichtet, die EU-Kommission über die Lärmbelastung in ihren Hoheitsgebieten zu informieren. Mit Hilfe dieser Richtlinie soll zudem auch eine Grundlage für Gemeinschaftsmaßnahmen zur Lärmreduzierung bei Lärmquellen geschaffen werden. (vgl. Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG 2002:12-25)

3.2.1 Situation in Österreich

In Österreich wurden zur Umsetzung der Umgebungslärmrichtlinie mit dem Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz Gesetze auf Bundes- und Landesebene erlassen. Die Vollzugszuständigkeiten innerhalb der Bundesbehörde wurden dabei wie die Aufgabenteilung in der Bundesregierung verteilt. So ist beispielsweise der Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie für die Umsetzung des Bundes-Umgebungslärmschutzgesetzes für Autobahnen, Schnellstraßen, Eisenbahn und Flughäfen zuständig. Neben diesem Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz gibt es auch noch zahlreiche Gesetze im Bereich Raumordnung und Raumplanung, die auf Landesebene erlassen wurden. Die zuständige Behörde für die Erstellung von Lärmkarten, Information der Öffentlichkeit und der Aktionspläne ist in Österreich das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, kurz Lebensministerium. (vgl. WWW: www.laerminfo.at, Zugriff am 6.3.2014)

Die vordefinierten Dezibel-Grenzwerte in Österreich sind in Abbildung 25 abgebildet.

	Tag-Abend-Nachtlärmindex	Nachtlärmindex
Straßenverkehrslärm	60 dB	50 dB
Schienenverkehrslärm	70 dB	60 dB
Fluglärm	65 dB	55 dB
Lärm von IPPC-Anlagen	55 dB	50 dB *

Abb. 25: Dezibel-Grenzwerte für die Aktionspläne in Österreich (Quelle: WWW: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/laerm/umgebungs-laerm/laermkarten/>, Zugriff am 6.3.2014)

3.3 Ermittlung des Schallpegels

3.3.1 Begriffsdefinitionen

Um Lärmkarten zu erstellen, muss zunächst einmal der Umgebungslärm ermittelt werden. Beim Umgebungslärm handelt es sich hierbei um unerwünschte Geräusche im Freien, die durch den Menschen verursacht werden wie beispielsweise Lärm von Verkehrsmitteln. Zur Beschreibung dieses Lärms werden sogenannte Lärmindizes als physikalische Größen verwendet. Es gibt vier Lärmindizes die zur Ermittlung des Lärms herangezogen werden:

- L_{day} (Taglärminindex): Lärmindex für die Belästigung untertags
- $L_{evening}$ (Abendlärminindex): Lärmindex für die Belästigung am Abend
- L_{night} (Nachtlärminindex): Lärmindex für Belästigung in der Nacht
- L_{den} (Tag-Abend-Nacht-Lärmindex): Lärmindex für die allgemeine Belästigung

Bei allen diesen Lärmindizes handelt es sich um A-bewertete Dauerschallpegel, wo der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen zur jeweiligen Tageszeit (Tag-Abend-Nacht) erfolgen. Der Tag entspricht dabei von 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr, der Abend von 19:00 Uhr bis 23:00 Uhr und die Nacht von 23:00 Uhr bis 7:00 Uhr. Der L_{den} wird für den gesamten 24-Stunden-Tag ermittelt und beinhaltet zusätzlich noch Zuschläge für die Abend- und Nachtzeit. Sämtliche Lärmindizes werden in dB angegeben. Neben diesen vier angeführten Lärmindizes gibt es auch noch einen zusätzliche Lärmindizes, der für sehr kurzen oder selten auftretenden Lärm, ermittelt

wird (beispielsweise ist die Schallquelle nur 20% der gesamten Tageszeit in Betrieb) wie zum Beispiel ein vorbeifahrender Zug. (vgl. Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates 2002/49/EG 2002:13f,18f)

Der Lärmindeks L_{den} , also der Tag-Abend-Nacht-Lärmindeks, errechnet sich dabei nach der RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (2006:3) aus:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} (13 \cdot 10^{L_{day}/10} + 3 \cdot 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{night}+10)/10}) [dB]$$

Bei der Ermittlung des Schallpegels spielt die Verkehrsstärke eine entscheidende Rolle und muss deshalb grundsätzlich durch eine Verkehrsuntersuchung erfolgen. Liegen keine genauen Daten vor, kann die Verkehrsstärke nach der RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (2006:3) mit folgender Gleichung näherungsweise berechnet werden:

$$MSV_L = k_L \cdot JDTV$$

MSV_L maßgebende stündliche Verkehrsstärke für Verkehrslärberechnungen [Kfz/h]

k_L Bemessungsfaktor für Verkehrslärberechnungen gemäß Tabelle X (NACHER)

JDTV Mittelwert über alle Tage des Jahres der Anzahl der einen Straßenquerschnitt In beiden Richtungen täglich passierenden Kraftfahrzeuge [Kfz/24h]

Straßentyp	Bemessungsfaktor k_L		
	Tag (6 bis 19 Uhr)	Abend (19 bis 22 Uhr)	Nacht (22 bis 6 Uhr)
Straßen mit überwiegend überregionalem Verkehr	0,060	0,036	0,014
Straßen mit überwiegend lokalem Verkehr	0,064	0,029	0,010
Hauptstraßen innerorts	0,062	0,035	0,011
Sammel- und Anliegerstraßen innerorts	0,062	0,041	0,009

Tab. 1: Bemessungsfaktoren für Verkehrslärberechnungen (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:3)

Generell kann der Schallpegel an einem Immissionsort entweder mittels Messung oder mittels Berechnung ermittelt werden. Wie die Messungen und Berechnungen von beispielsweise Straßenlärm dabei genau durchzuführen sind, wurde in der RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr festgelegt.

3.3.2 Messmethode (Straßenlärm)

Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, ist die Schallausbreitung im Freien wesentlich durch die vorherrschenden meteorologischen Gegebenheiten bestimmt (beispielsweise durch Wind, Temperatur, etc.). Folglich sind daher auch die Schallpegel wesentlich durch diese meteorologischen Bedingungen beeinflusst. Dieser Einfluss nimmt dabei mit der Entfernung zur Schallquelle zu. Zum Vergleich von Emissionspegel können Schallpegelmessungen in maximal 25 Meter Abstand vom nächstgelegenen Fahrbahnrand durchgeführt werden. Bei nasser Fahrbahn, Niederschlag, Schneelage oder auch dichtem Nebel sind Messungen nicht zulässig. Weiters sind bei der Messung die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen zu dokumentieren. Die Messdauer hängt prinzipiell von der Verkehrsstärke und der Verkehrszusammensetzung ab und richtet sich nach dem zeitlichen Verlauf des Schallpegels. Wenn Unterlagen zu Verkehrsstärke und Verkehrszusammensetzung vorhanden sind, reicht im Allgemeinen auch eine Kurzzeidlärmmessung aus. Auch bei konstanten Lärm reichen wenige Minuten für eine Messung. Generell sollte bei schwankenden Verkehrslärm die Messdauer so festgelegt werden, dass eine kennzeichnende Schallpegelverteilung erfasst wird. Dabei gilt als Richtwert ungefähr 200 Fahrzeuge pro Messpunkt und Beurteilungszeitraum. So ist neben einer Lärmmessung auch eine Verkehrszählung durchzuführen. Wobei bei dieser Verkehrszählung verschiedene Fahrzeugarten (wie beispielsweise PKW, leichte LKW, schwere LKW, etc.) zu unterscheiden sind und in Intervallen (max. eine halbe Stunde) erfolgt. Die Messung selbst sollte dabei mit einem Messgerät der Klasse 1 (+/- 0,7 dB) durchgeführt werden. Zudem sollten Lärmmessungen im Freien immer 1,5 Meter über dem Boden erfolgen. (vgl. RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:11f)

3.3.3 Berechnungsmethode (Straßenlärm)

Bei der Berechnung des Immissionsschallpegels werden der Emissionsschallpegel und der Immissionsschallpegel berechnet. Alle folgenden Erläuterungen, Abbildungen und Gleichungen stammen dabei aus der RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (2006:4-11)

1. Emissionsschallpegel:

Die Berechnung des Emissionsschallpegels dient als Grundlage für die spätere Berechnung des Immissionsschallpegels. Die Emission wird dabei durch den vom Verkehr verursachten A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel durch verkehrsbezogene Parameter und straßenbezogene Parameter bestimmt.

Verkehrsbezogene Parameter sind:

- Anzahl der PKW pro Stunde M_{PKW}
- Geschwindigkeit der PKW V_{PKW} [km/h]
- Anzahl der leichten Standard-LKW pro Stunde M_{LKWl}
- Anzahl der lärmarmen leichten LKW pro Stunde $M_{LKWl,lärmarm}$
- Anzahl der schweren Standard-LKW pro Stunde M_{LKW_s}
- Anzahl der lärmarmen schweren LKW pro Stunde $M_{LKW_s,lärmarm}$
- Geschwindigkeit der LKW V_{LKW} [km/h]

Straßenbezogene Parameter sind:

- Fahrbahndecke
- Längsneigung

So ergeben sich für die Berechnung der energieäquivalenten Dauerschallpegel für die verschiedenen Fahrzeugarten folgende Formeln:

$$L_{eq,PKW} = L_{PKW,F} + K_{V,PKW,F} + K_{L,PKW} + 10 \lg M_{PKW} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq,LKWl} = L_{LKWl,F} + K_{V,LKW,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWl} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq,LKWl,lärmarm} = L_{LKWl,lärmarm,F} + K_{V,LKWl,lärmarm,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWl,lärmarm} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq,LKW_s} = L_{LKW_s,F} + K_{V,LKW,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKW_s} \text{ [dB]}$$

$$L_{eq,LKWs,lärmarm} = L_{LKWs,lärmarm,F} + K_{V,LKWIärmarm,F} + K_{L,LKW} + 10 \lg M_{LKWs,lärmarm} \text{ [dB]}$$

Für die Berechnung des gesamten energieäquivalenten Dauerschallpegels ergibt sich schließlich folgende Formel:

$$L_{A,eq} = 10 \lg(10^{L_{eq,PKW}/10} + 10^{L_{eq,LKWI}/10} + 10^{L_{eq,LKWI,lärmarm}/10} + 10^{L_{eq,LKWs}/10} + 10^{L_{eq,LKWs,lärmarm}/10}) \text{ [dB]}$$

Die Basiswerte $L_{PKW,F}$, $L_{LKWI,F}$, $L_{LKWI,lärmarm,F}$, $L_{LKWs,F}$ und $L_{LKWs,lärmarm,F}$ sind in der Tabelle 2 und die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit $K_{V,PKW,F}$, $K_{V,LKW,F}$ und $K_{V,LKWIärmarm,F}$ in der Tabelle 3 abzulesen. Die Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung $K_{L,PKW}$ und $K_{L,LKW}$ sind der Tabelle 4 und 5 zu entnehmen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit für den Geschwindigkeitsbereich zwischen 30 km/h und der für die jeweilige Fahrzeugkategorie gültigen zulässigen Höchstgeschwindigkeit gelten. Somit ist in den Gleichungen in der Regel maximal die zulässige Höchstgeschwindigkeit einzusetzen. Bei LKW dürfen somit über 80 km/h reichende mittlere Geschwindigkeiten nicht berücksichtigt werden. Bei PKW gilt die Gleichung bis zu einer Geschwindigkeit von 160 km/h.

Fahrbahn- decke	$L_{PKW,F}$ [dB]	$L_{LKWI,F}$ [dB]	$L_{LKWI,lärmarm,F}$ [dB]	$L_{LKWs,F}$ [dB]	$L_{LKWs,lärmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	47	54	52	59	56
Beton	48	55	53	60	57
Drainasphalt	46	51	49	56	53

Tab. 2: Basiswerte für die Fahrzeugemission (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:5)

Fahrbahndecke	$K_{V,PKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKW,F}$ [dB]	$K_{V,LKWlärmmarm,F}$ [dB]
Asphaltbeton	26,2 lg(V/50)	15 lg(V/50)	24,8 lg(V/50)
Beton	30,5 lg(V/50)	18 lg(V/50)	27,8 lg(V/50)
Drainasphalt	23,6 lg(V/50)	10 lg(V/50)	19,8 lg(V/50)

Tab. 3: Kennwerte für den Einfluss der Geschwindigkeit (gilt ab $V > 30$ km/h) (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:5)

Längsneigung [%]	$K_{L,PKW}$ [dB]	
	Steigung	Gefälle
≤ 8	0	0
9	1	0
10	2	0
11	3	0
12	3	0
13	3	1
14	3	2
≥ 15	3	3

Tab. 4: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei PKW (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:6)

Längsneigung [%]	K _{L,LKW} [dB]	
	Steigung	Gefälle
≤ 2	0	0
4	2	0
6	4	1
8	5	2
10	6	3
12	7	3,5
≥14	8	4

Tab. 5: Kennwerte für den Einfluss der Längsneigung bei LKW (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:6)

2. Immissionsschallpegel:

Der Immissionsschallpegel errechnet sich auf Basis des zuvor errechneten Emissionsschallpegels mit den Gesetzmäßigkeiten der Schallausbreitung, wobei immer mit ausbreitungsgünstigen Bedingungen (Mitwind) gerechnet wird. Generell kann die Berechnung des Immissionsschallpegels auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Einerseits mit einer abschnittsweisen Berechnung und andererseits mit einer (vereinfachten) Profilmethode, wobei die abschnittsweise Berechnung in der Regel genauere Werte liefert und auch deshalb nur diese Methode in diesem Kapitel näher erläutert wird.

Bei der abschnittsweisen Berechnung wird die Emissionslinie (beispielsweise eine Straße) in einzelne Abschnitte zerlegt, die dann als punktförmige Schallquellen angesehen werden. Diese einzelnen Abschnitte entsprechen dabei einen Winkelsektor von maximal $\phi = 9^\circ$. Der Schallemissionspunkt wird jeweils 0,5 Meter über dem Schnittpunkt der Winkelhalbierenden mit dem Fahrstreifen angenommen.

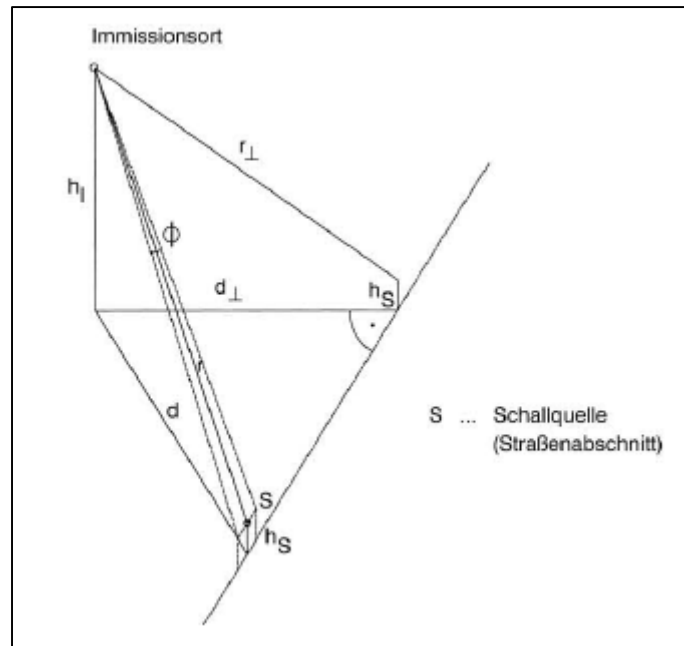


Abb. 26: Skizzierung der abschnittswiseen Berechnung (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:6)

Der Immissionsschallpegel eines solchen Abschnittes ergibt sich aus verschiedenen Größen in der folgenden Gleichung:

$$L_{A,eq} = L_{A,eq}^1 + 10 \lg(\phi/180) + \Delta L_d + \Delta L_a + \Delta L_v + \Delta L_b + \Delta L_s + \Delta L_{rx} \text{ [dB]}$$

$L_{A,eq}$ Immissionsschallpegel [dB]

$L_{A,eq}^1$ Emissionsschallpegel [dB]

ϕ Winkel des betrachteten Sektors [°]

ΔL_d Abstandsmaß [dB]

ΔL_a Luftabsorptionsmaß [dB]

ΔL_v Vegetationsdämpfungsmaß [dB]

ΔL_b Bodendämpfungsmaß [dB]

ΔL_s Schirmmaß [dB]

ΔL_{rx} Flächenreflexionsmaß [dB]

Die am Immissionsort auftretenden Schallanteile werden danach zum Gesamtschallpegel energetisch addiert:

$$L_{A,eq,ges} = 10 \lg \sum 10^{L_{A,eq}/10} \text{ [dB]}$$

Das Abstandsmaß errechnet sich aus der Gleichung $\Delta L_d = -10 \lg r_\perp$ [dB], wobei $r_\perp$ der kürzeste Abstand der Straße zum Immissionsort [m] ist.

Das Luftabsorptionsmaß errechnet sich aus der Gleichung $\Delta L_a = -0,0045 r$ [dB], wobei r der Abstand zwischen dem Emissionspunkt und dem Immissionsort [m] ist.

Das Vegetationsdämpfungsmaß errechnet sich aus der Gleichung $\Delta L_v = -n_v \cdot \alpha_v$ [dB], wobei n_v die Anzahl der Bewuchsgruppen von je 50 Meter Tiefe ist. α_v ist der Dämpfungskoeffizient je Gruppe [dB] und ergibt sich aus $\alpha_v = 1$ dB/Gruppe. Die bewachsenen Flächen werden in Bewuchsgruppen von je 50 Meter Tiefe (in die jeweilige Schallausbreitungsrichtung) unterteilt. Jedoch muss der Bewuchs dicht sein und mindestens 1 Meter höher sein als der Schallweg.

Das Bodendämpfungsmaß errechnet sich bei absorbierenden Böden (beispielsweise Grasflächen, Äcker sofern diese mindestens auf 70% des Abstandes Schallquelle – Immissionsort vorhanden sind) aus der Gleichung $\Delta L_b = -1,5 \cdot \lg d \cdot \lg(4,5/h_l)$ [dB], wobei d die Projektion der Verbindungslinie Emissionspunkt – Immissionsort [m] und h_l die Höhe des Immissionsortes über Boden [m] ist. Es gilt für $d > 400\text{m} = d=400\text{m}$ und für $h_l > 4,5\text{m} = h_l=4,5\text{m}$. Bei reflektierenden Böden (beispielsweise Asphalt, Beton oder auch Wasser, sofern diese mindestens auf 30 % des Abstandes Schallquelle – Immissionsort vorhanden sind) errechnet sich das Bodendämpfungsmaß aus der Gleichung $\Delta L_b = 3 m_b$ [dB]. m_b ergibt sich dabei aus der Gleichung $m_b = 1 - 30 (h_s + h_l)/d$. Auch hier ist d wieder die Projektion der Verbindungslinie Emissionspunkt – Immissionsort [m] und h_l die Höhe des Immissionsortes über Boden [m]. h_s beschreibt die Höhe der Schallquelle über der Straße (also 0,5 Meter).

Das Schirmmaß gilt für die punktförmige Schallquelle und errechnet sich aus der Gleichung $\Delta L_s = -10 \lg(K \cdot z + 3)$ [dB], wobei der Schirmwert z den Wegunterschied zwischen der direkten Verbindung Schallquelle – Immissionsort und dem Umweg (aufgrund eines Hindernisses) beschreibt.

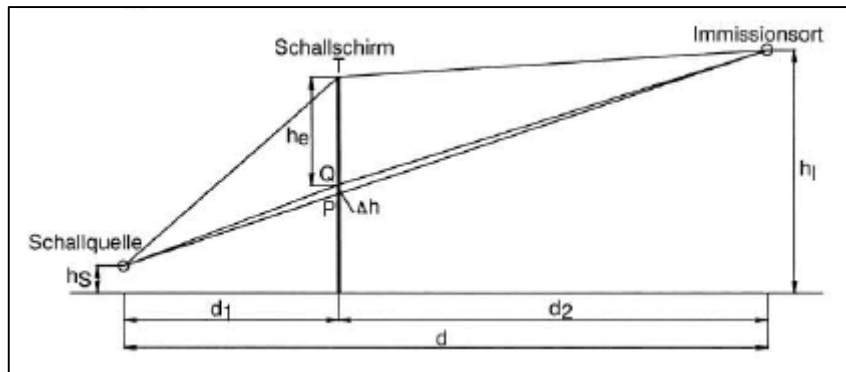


Abb. 27: Ermittlung des Schirmwertes z (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:8)

z errechnet sich also aus der Gleichung $z = \overline{ST} + \overline{TI} - \overline{SQ} - \overline{QI}$ [m], sofern P tiefer als T liegt. Liegt P über T, so gilt die Gleichung $z = 2 \cdot \overline{SI} - \overline{SQ} - \overline{QI} - \overline{ST} - \overline{TI}$ [m]. Zum besseren Verständnis dieser Gleichungen dient Abbildung 27. Nachdem man den Schirmwert z ermittelt hat, kann man das Schirmmaß ableiten:

für $0,4 \leq z \leq 5$ $K = 57,8 - 5,45 \lg z$

für $0,005 \leq z \leq 0,4$ $K = 49,7 - 25,8 \lg z$

für $-0,005 < z < 0,005$ $K = 0$

für $-0,05 \leq z \leq -0,005$ $K = -116 - 118 \lg |z|$

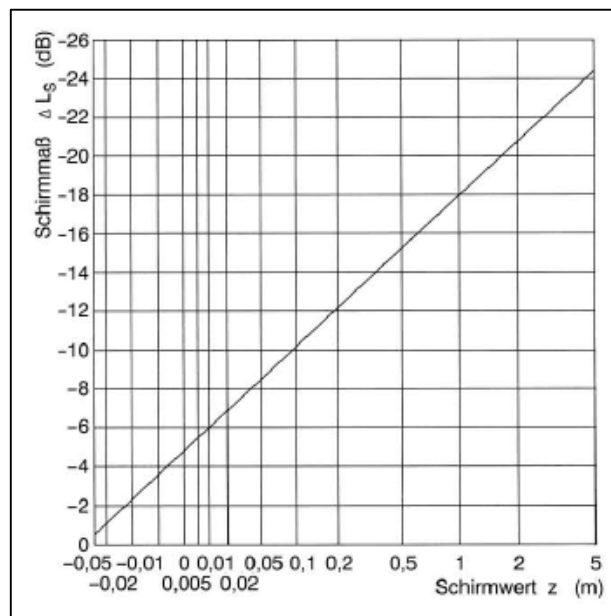


Abb. 28: Schirmmaß ΔL_s für Straßenverkehrslärm (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:8)

Bei Vorhandensein beispielsweise einer Lärmschutzwand oder zwei Schirmkanten, können Werte unter -20 dB für das Schirmmaß angesetzt werden. Weiters ist zu beachten, dass sich dadurch auch der Wert für das Bodendämpfungsmaß ändert.

Das Flächenreflexionsmaß berücksichtigt Schallreflexionen, die beispielsweise durch Bebauung auftreten können. Diese sogenannte Spiegelschallquelle ist in die Berechnung miteinzubeziehen. Die Schallemission ist dabei gemäß der Gleichung $L_{A,eq,rx}^1 = L_{A,eq}^1 + 10 \lg p$ [dB] zu vermindern, wobei $L_{A,eq,rx}^1$ die Emission der Spiegelschallquelle [dB], $L_{A,eq}^1$ die Emission der Schallquelle und p der Reflexionskoeffizient ist. Liegen Schallquelle und Spiegelschallquelle nah beieinander (beispielsweise Straße neben Häuserzeile), kann die Spiegelschallquelle berücksichtigt werden durch den Wert $\Delta L_{rx} = 10 \lg(1 + p)$ [dB].

Reflektierende Fläche	Reflexionskoeffizient p
Ebene harte Wand, glatter Fels	1
Gegliederte Fassade mit Fenstern	0,8
Gebäude mit 50% Öffnungen	0,4

Tab. 6: Beispiele für Reflexionskoeffizient (Quelle: RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr 2006:9)

3.4 Kartographische Darstellungsformen von Lärm

Lärm kann man in einer Karte grundsätzlich in mehreren verschiedenen Formen darstellen. Die erste mögliche Darstellungsform ist eine punkthafte Darstellung. Jedes einzelne lokale Diskreta in einer Karte stellt dabei nach HAKE et al. (2002:119) ein einziges Objekt dar. Im Falle der Lärmkarten könnten dies zum Beispiel die Standorte von den einzelnen Messpunkten sein. Zusätzlich zu diesen Punkten können noch die dazugehörigen quantitativen Werte eingetragen werden, wie beispielsweise die gemessenen Dezibel-Werte am jeweiligen Messpunkt. Diese Art der Darstellung wurde vor allem in der Vergangenheit oft angewandt, da es früher noch nicht möglich war, die Lärmverteilung unter den gegebenen Voraussetzungen zu berechnen. Neben

einfachen Punktsymbolen können auch punkthafte Signaturen verwendet werden, wobei man hier darauf achten muss, dass diese Signaturen nicht zu groß sind, da sie sonst die darunterliegende Basiskarte verdecken und so wichtige Informationen bzgl. der Orientierung verloren gehen könnten. (vgl. SCHARLACH 2002:76, 81)

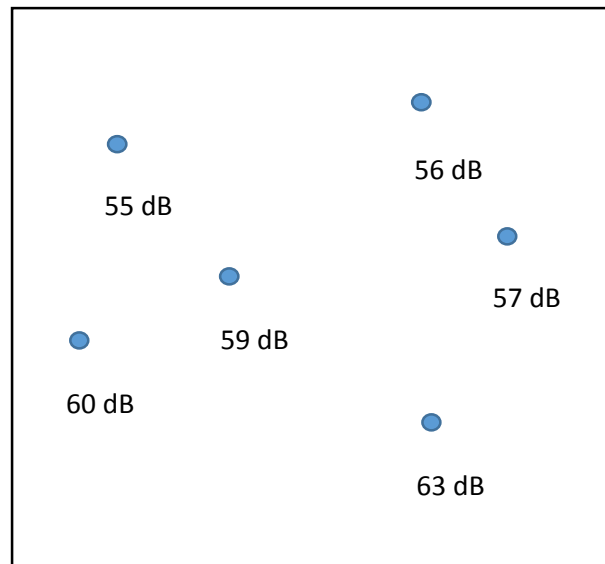


Abb. 29: Beispiel einer punkthafte Darstellung von Lärm (eigene Darstellung)

Eine weitere mögliche Darstellungsform von Lärm ist eine linienhafte Darstellung. Linien dienen nach HAKE et al. (2002:120) einerseits zur Abgrenzung von Objekten (beispielsweise Wälder) und andererseits können sie auch als sogenannte Isolinien verwendet werden, indem gleiche Werte miteinander verbunden werden (beispielsweise Höhenlinien). Viele Geräusche bewegen sich in unserer Umwelt entlang von Linien (zum Beispiel entlang von Straßen). Dadurch wird diese Form der Darstellung in Lärmkarten vor allem für Verkehrslärmemissionen im Straßenverkehr verwendet, da die Wände der Häuser meist die Straßen begrenzen. Durch Einfärben der Linien mittels geeigneter Farben oder Verwendung von Schraffuren in Abhängigkeit des Lärms können diese Karten einen guten Überblick über die Geräuschkulisse von beispielsweise Straßen dienen. (vgl. SCHARLACH 2002:82, 86f)

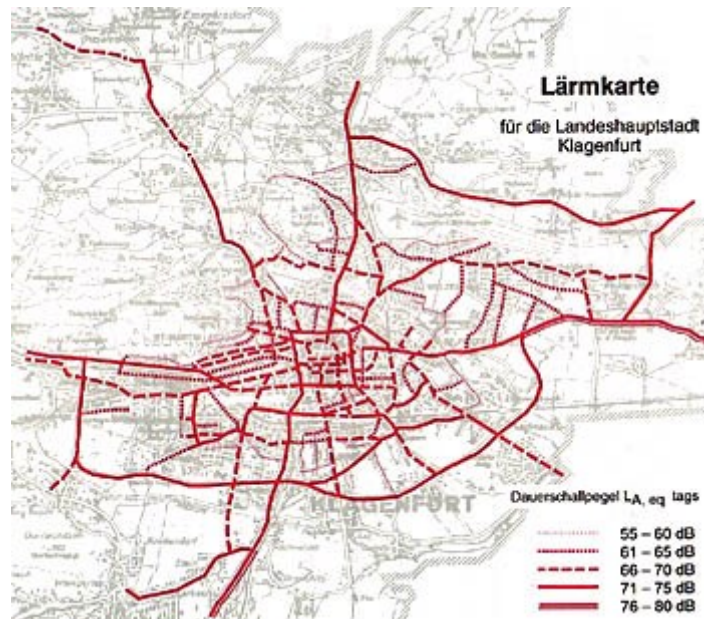


Abb. 30: Beispiel einer linienhaften Darstellung von Lärm (Quelle: WWW:

http://www.klagenfurt.at/klagenfurt-am-woerthersee/laermkarte_klagenfurt-2125.asp, Zugriff am 15.08.2014)

Die wohl häufigste Darstellungsform von Lärm in Lärmkarten sind wohl die flächenhaften Darstellungen. Flächen sind nach HAKE et al. (2002:121) „Vollflächen, die in ihrer gesamten Ausdehnung in Farbton und Tonwert konstant sind“. Während der Flächenrand die Fläche abgrenzt, bestimmt die Farbe oder der Tonwert die Qualität. Flächenhafte Darstellungen sind im Vergleich zu den anderen Darstellungsformen die optimalsten, da sie den räumlich kontinuierlichen Lärm in unserer Umwelt am besten wiedergeben können. Das einzige Problem bei dieser Form der Darstellung ist, dass die darunterliegende Basiskarte nicht mehr erkennbar ist (wobei man dieses Problem mit der heutigen Technologie mittels Transparenz relativ leicht lösen kann). Weiters können kontinuierliche Farbübergänge einen grenzenlosen Übergang der verschiedenen Wertebereiche vermitteln und die Lärmverteilung noch realistischer darstellen. Bei der Farbgebung ist jedoch darauf zu achten, dass eine geeignete Farbskala verwendet wird, um eine assoziative Farbwirkung zu ermöglichen. Beispielsweise die Farbe Grün, die oft mit dem Begriff „Natur“ in Verbindung gebracht wird, für ruhige Gebiete und die Farbe Rot, die meist mit dem Begriff „Gefahr“ in

Verbindung steht, für laute Gebiete. Dadurch werden Lärmkarten schnell verständlich und interpretierbar für den Kartenbetrachter. (vgl. SCHARLACH 2002:97f)

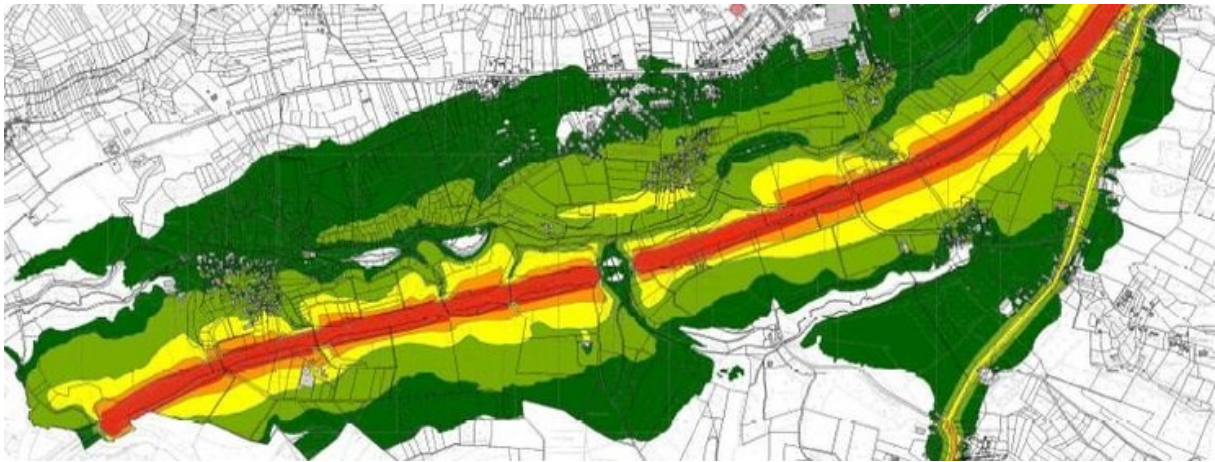


Abb. 31: Beispiel einer flächenhaften Darstellung von Lärm (Quelle: WWW: <http://www.burscheid.de/bauen-wohnen/umwelt/laermschutz/laermaktionsplanung-umgebungs-laerm.html>, Zugriff am 15.08.2014)

Neben diesen klassischen Darstellungsformen (Punkt, Linie und Fläche) gibt es aber noch andere Formen, wie man Lärm räumlich darstellen kann. Eine davon ist die dreidimensionale Darstellung. Vorteil dieser Darstellung ist, dass der Raum in Form einer 3-D Darstellung besser ersichtlich wird. Ein Nachteil dieser Darstellungsform ergibt sich dann, wenn man sie mit einer Karte kombiniert, da hier für Laien der Eindruck entstehen kann, dass die Oberfläche durch die Höhe der gemessenen Punkte gebildet wird, und nicht durch die gemessenen Dezibel-Werte. (vgl. SCHARLACH 2002:98)

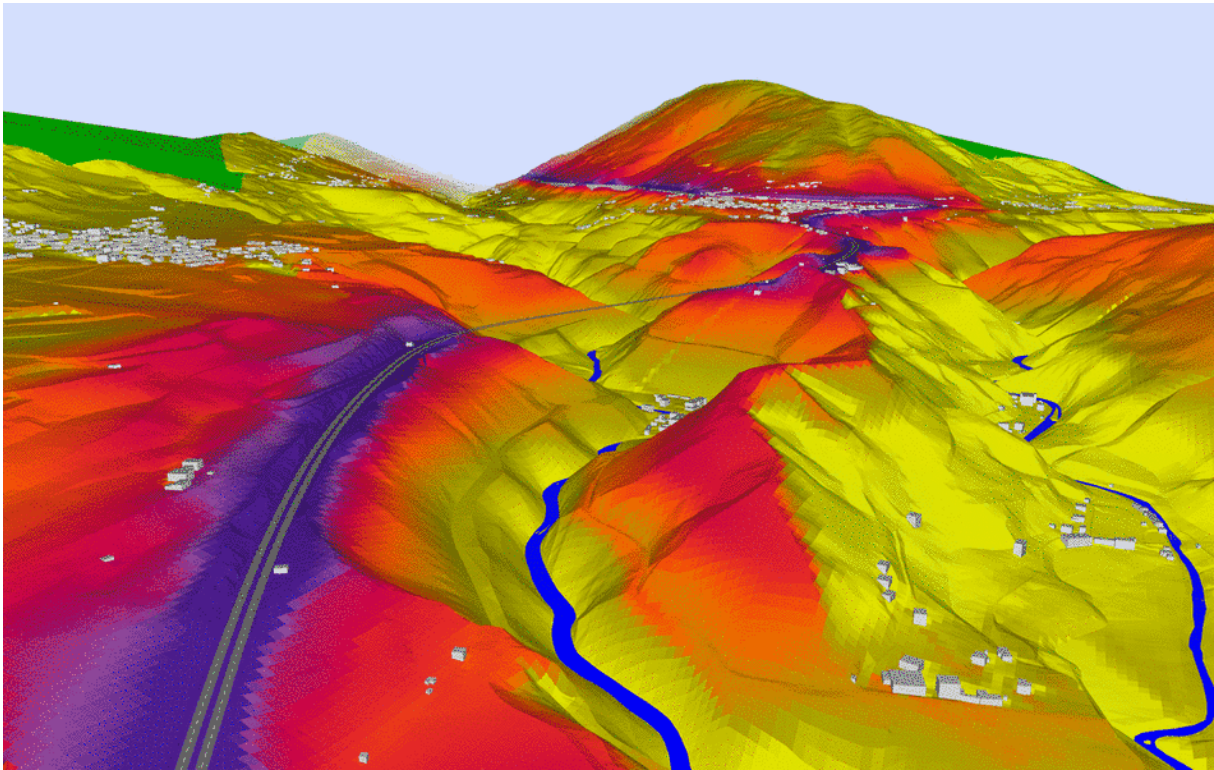


Abb. 32: Beispiel einer 3-D Darstellung von Lärm (Quelle: WWW:

<http://www.datakustik.com/popups/laermkartierung-oesterreich/>, Zugriff am 15.08.2014)

Es gibt aber neben diesen, bislang rein visuellen Darstellungen, auch noch relativ neuartige sogenannte audiovisuelle Darstellungen von Lärm. Darunter versteht man Darstellungen die, neben einer visuellen Lärmkarte, auch noch bestimmte Töne und Geräusche beinhalten, die man akustisch wahrnehmen kann. Beispielsweise wird ein typisches „Straßengeräusch“ (zum Beispiel ein vorbeifahrendes Fahrzeug) abgespielt, wenn man mit dem Mauszeiger in der Karte über eine Straße fährt. Dabei könnte zusätzlich noch die Lautstärke in Abhängigkeit der Farbe in der Karte variieren. Diese Art der Erkenntnisgewinnung regt den Kartenleser an, die Lärmkarte weiter zu erforschen und mit ihr zu interagieren. (vgl. SCHARLACH 2002:114)

3.5 Kartenerstellung

Wurden die Schallpegeln entweder durch Messung oder Berechnung ermittelt, müssen diese nun mittels Interpolation flächenhaft in einer Karte abgebildet werden.

Dabei werden Schallpegeln zu bestimmten Schallpegelbereichen zusammengefasst. Für die oberen Grenzen der Pegelbereiche werden immer Maßzahlen mit der Einerstelle 4 oder 9 angegeben (beispielsweise 65-69 dB). Darunter sind jedoch Pegelbereiche in 5 dB-Stufen zu verstehen. Weil die Grenzisophonen (durch 5 teilbar) durch Interpolation und nicht durch Rundungen bestimmt wurden, sind als obere Grenzen der Pegelbereiche durch 5 teilbare Werte zu verwenden (also Einerstellen wie 0 oder 5), wie zum Beispiel 65-70 dB. Weiters werden die Linien in 5 dB-Stufen durch Verbindung dieser Punkte ermittelt und bis 55 dB für den L_{den} und 45 dB für den L_{night} hinab dargestellt. In Ballungsräumen sind Schallpegel bis 45 dB für den L_{den} und 35 dB für den L_{night} anzugeben. (vgl. ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 2009:3f,9)

Lärmkarten werden primär im Internet dargestellt. Die unterschiedlichen Pegelbereiche sind dabei mittels Farbdarstellung in bestimmte Farbbereiche darzustellen.

Lärmzone [dB]	Farbe		
		RGB	entspricht Pantone
<35	Hellgrün	85 – 190 – 71	360 C
35 bis 39	Grün	0 – 114 – 41	356 C
40 bis 44	Dunkelgrün	15 – 77 – 42	357 C
45 bis 49	Gelb	228 – 228 – 0	395 C
50 bis 54	Ocker	171 – 162 – 0	398 C
55 bis 59	Orange	255 – 95 – 0	165 C
60 bis 64	Zinnober	219 – 12 – 65	199 C
65 bis 69	Karminrot	174 – 0 – 95	227 C
70 bis 74	Violett	146 – 73 – 158	258 C
75 bis 79	Blau	79 – 31 – 145	267 C
≥ 80	Dunkelblau	33 – 18 – 101	274 C

Abb. 33: Farbdarstellung der einzelnen Pegelbereiche (Quelle: ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 2009:11)

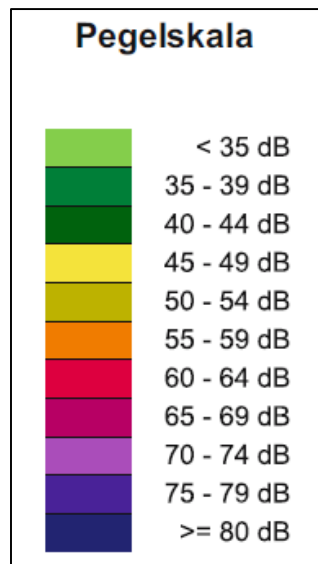


Abb. 34: Farbdarstellung der einzelnen Pegelbereiche (Quelle: Lebensministerium 2009:50)

Für einzelne Punkte innerhalb der Lärmkarte sind keine Angaben von Schallpegel anzugeben. Weiters sollten Straßennamen oder Namen von markanten Punkten in der Karte eingetragen werden, um die Orientierung zu erleichtern. Generell sollte für eine Lärmkarte der Maßstab nicht größer als 1:2000 sein. Wenn zusätzlich noch andere Darstellungsformen nötig sind, sollte diese entweder im Maßstab 1:2500, 1:5000, 1:10 000 oder 1:25 000 erfolgen. Wird die Lärmkarte elektronisch weitergeleitet, muss diese mindestens eine Auflösung von 300 dpi aufweisen, damit sie noch gut lesbar und interpretierbar ist. Zusätzlich sind noch sämtliche Datenquellen, das verwendete EDV-Programm zur Berechnung der Daten sowie Ersteller der Lärmkarte anzugeben. (vgl. ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 2009:10f)

Bei Lärmkarten ist zu beachten, dass die Lärmbelastung immer auf ein definiertes Betrachtungsniveau (beispielsweise 1,5 Meter über Boden) dargestellt wird und sie sich somit dem Gelände anschmiegen. Weiters ist zu berücksichtigen, dass an den Grenzen der unterschiedlichen 5 dB-Schallpegelbereiche keine sprunghaften Änderungen des Schalls vorkommen. Es handelt sich nämlich immer um fließende Pegelübergänge. Generell muss bei Lärmkarten darauf geachtet werden, welche Kenngrößen darin abgebildet werden. (vgl. Lebensministerium 2009:50)

Zusätzlich kann man in diese Lärmkarten neben der Einfärbung der jeweiligen Dezibel-Wertebereiche auch noch die Grenzlinien der einzelnen Dezibel-Werte einzeichnen und beschriften (siehe Abbildung 35). Dies ermöglicht in manchen Fällen eine noch bessere Interpretation der Lärmkarte.

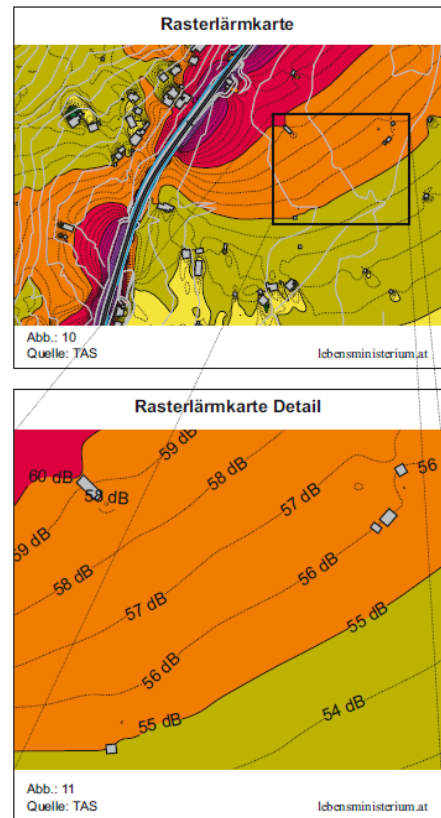


Abb. 35: Beispiel einer Lärmkarte
(Quelle: Lebensministerium 2009:50)

4. Crowdsourcing

Da im praktischen Teil dieser Arbeit Lärmmessungen auf Crowdsourcing-Basis durchgeführt werden, wird in diesem Kapitel nun auch noch etwas näher auf das Thema „Crowdsourcing“ eingegangen. Hier soll geklärt werden, wobei es sich bei diesem Begriff eigentlich handelt, welche Voraussetzungen dafür gegeben sein müssen, welche Formen davon auftreten können und welche Vorteile Crowdsourcing-Methoden eigentlich mit sich bringen können. Zudem werden am Ende dieses Kapitel noch Beispiele angeführt, bei denen Crowdsourcing-Methoden im Zuge von Datenerfassungen bereits erfolgreich durchgeführt wurden.

4.1 Einführung & Begriffsdefinition

Wir leben heutzutage im Zeitalter globaler Netzwerke, die uns den Zugang zu Informationen, Wissen, Meinungen und Ideen in einfacher Art und Weise wie nie zuvor ermöglichen. Dabei entwickelten sich im Laufe der Jahre immer fortschrittlichere Mechanismen, die durch Beteiligung der Massen (der „Crowd“) Mehrwerte erzeugen. Durch kollaborative Wissens- und Ideensammlungen, Bewertungen und Vorhersagen werden bessere Ergebnisse erzielt, als wenn sich nur einzelne Individuen mit diesen Aufgaben beschäftigen würden. Crowdsourcing wird dabei durch verbesserte technische Möglichkeiten und durch erhöhten Effizienzdruck immer attraktiver für beispielsweise Unternehmen oder Institutionen. Besonders Web 2.0 Mechanismen beschleunigen und fördern die Vernetzung. Die heutigen Technologien und Kommunikationssysteme ermöglichen uns erst das Aufteilen von bestimmten Aufgaben oder Arbeitsabläufen. So hat sich durch die Entstehung neuer Benutzerschnittstellen, Cloud-Services oder mobile Internetnutzung eine digitale Infrastruktur entwickelt, deren Folge ein virtueller Workspace ist. Der Begriff „Crowdsourcing“ kam dabei erstmals im Jahr 2006 durch Jeff Howe in einem von ihm publizierten Artikel auf. Er setzt sich aus den zwei Begriffen „crowd“ (=Masse) und

„outsourcing“ (=Auslagerung) zusammen. Der Prozess beschreibt dabei die Auslagerung von Arbeitsprozessen sowie die Einlagerung von Wissen, Kapital oder Zeit in ein Unternehmen oder in eine Organisation. (vgl. PELZER et al. 2012:10,13)

Für PAPSDORF (2009:69) ist Crowdsourcing „die Strategie des Auslagerns einer üblicherweise von Erwerbstätigen entgeltlich erbrachten Leistung durch eine Organisation oder Privatperson mittels eines offenen Aufrufes an eine Masse von unbekannten Akteuren, bei dem der Crowdsourcer und/oder die Crowdsourceses frei verwertbare und direkte wirtschaftliche Vorteile erlangen.“

Diese Auslagerung erfolgt dabei nach HETTLER (2010:237) nicht in ein kostengünstigeres Offshore-Land, sondern an viele Akteure im Internet. Dabei sorgt diese Crowd für Ideen und Vorschläge, schreibt Beiträge und bewertet und wird somit zu einer Sammlung von kostenfreien Mitarbeitern. Crowdsourcing setzt also auf die Intelligenz und Arbeitskraft einer Masse von Internetsurfern was zu Kostenreduzierungen führt wobei folglich auch mögliche Qualitätsschwankungen auftreten können.

4.2 Voraussetzungen für Crowdsourcing

Grundvoraussetzung für ein funktionierendes Crowdsourcing ist, dass ein Kunde nicht zur Mitarbeit gezwungen wird, sondern dies freiwillig macht. Dabei ist es wichtig, dass derjenige Spaß an der Aufgabe hat und eine gewisse Motivation mitbringt. Besonders die Motivation entscheidet in Fällen von Crowdsourcing über Erfolg oder Misserfolg eines Projektes. (vgl. HETTLER 2010:237)

Um große Beteiligungen bei Crowdsourcing-Projekten zu erreichen ist es also wichtig, aufwändige, komplizierte oder monotone Aufgaben so umzugestalten, dass sie interessant sind und deren Erledigung im Idealfall sogar Spaß macht. Motivation kann dabei nach WERNER und MALANOWSKI (2011:16f) in verschiedensten Formen auftreten:

- Faszination: Akteure interessieren sich und schätzen das behandelte Thema als spannend ein
- Neugierde: In der Regel setzt sich die Crowd aus Fachfremden oder Amateuren zusammen, wobei der Einblick in das unbekannte Betätigungsfeld neugierig macht
- User-Benefit: Akteure wissen, dass sie selbst von einem Dienst oder System profitieren, an dem sie sich beteiligen
- Wettbewerb: Durch „Wettkämpfe“ treten Akteure gegeneinander an und dadurch sollen „die Besten“ ermittelt werden
- Spieltrieb: Der Mensch spielt gerne und Spiele ermöglichen dabei das Lernen durch Versuch und Irrtum

Auch auf der Seite der Auftraggeber, der „Sourcer“, gibt es nach WERNER und MALANOWSKI (2011:15) zahlreiche Motivationen für das Einleiten von Crowdsourcing-Projekten:

- Kosten: bei Erfüllung von Aufgaben kann Crowdsourcing im Vergleich zu traditionellen Lösungsansätzen oder -methoden viel kostengünstiger sein
- Lösungsideen: Durch die Miteinbeziehung einer großen Masse können komplett neue Lösungsideen kreiert werden
- Zeitvorteil: Komplexe Aufgaben können in mehrere Teilaufgaben aufgesplittet werden und diese Teilaufgaben können dann parallel von der Crowd erledigt werden
- Lösung unlösbarer Aufgaben: Crowdsourcing kann sich besonders für Aufgaben eignen, für die es bislang noch keine Lösungsansätze gibt

Neben den oben angeführten Motivationen auf Seiten der Sourcer und der Crowd, spielt auch noch die Technologie eine wichtige Rolle beim Crowdsourcing-Prozess. Eine entscheidende Rolle spielte dabei das Internet, das heutzutage eine beachtliche Reichweite aufweist und schon sehr hohe Datenübertragungen zulässt. Aber auch die enorme und rasche Weiterentwicklung technischer Geräte wie beispielsweise

Computer oder mobiler Endgeräte ermöglichen erst die Nutzung von Crowdsourcing. (vgl. WERNER und MALANOWSKI 2011:18)

Crowdsourcing bringt aber nicht nur Vorteile, sondern auch einige Nachteile. So müssen beispielsweise die Aufgaben zunächst sehr stark in Teilaufgaben zerlegt werden, damit die Akteure diese auch durchführen können. Weiters können Schwierigkeiten bei der Projektkoordination auftreten, da die Akteure weltweit „verstreut“ sein können und es kann folglich zu Kontrollverlusten über Crowdaktivitäten kommen. Um Crowdsourcing durchführen zu können, sind meist unternehmensinterne Crowdsourcing-Plattformen nötig, deren Erstellung Kosten verursachen können. Ein weiterer Nachteil könnte die Schaffung von Anreizstrukturen sein, da fehlende Anreizstrukturen negative Auswirkungen haben können. Auch unternehmensinternes Know-How könnte beim Crowdsourcing nach außen fließen und Probleme verursachen indem Wettbewerbsvorteile in Form von Wissen verloren gehen. Schlussendlich können auch Widerstände unternehmensintern auftreten, wenn bestimmte Belegschaften nicht mehr mit diesen (favorisierten) Aufgaben vertraut werden, sondern Externe diese durchführen. (vgl. LEIMEISTER und ZOGAL 2013:57-59)

4.3 Arten von Crowdsourcing

Generell können beim Crowdsourcing drei verschiedene Arten bzw. Ausprägungsformen unterschieden werden:

- Crowdvoting
- Crowdfunding
- Crowdcreation

Die erste Ausprägung, das Crowdvoting, beruht dabei auf das Prinzip der Weisheit der Massen. Hier stützt man sich auf das Prinzip, dass eine große Masse unter bestimmten Umständen bessere Ergebnisse erreichen kann, als einzelne Individuen, auch wenn

eines dieser Individuen intelligenter ist als jeder einzelne der Masse. Beim Crowdvoting wird also die kollektive Intelligenz genutzt indem Bewertungen, Meinungen oder Abstimmungen der Masse gesammelt und ausgewertet werden. Ein Beispiel für Crowdvoting wäre der Publikumsjoker in der berühmten Quizshow „Wer wird Millionär?“. Ein weiteres berühmtes Beispiel für Crowdvoting wäre „Amazon“, wo die Kunden direkt dazu aufgerufen werden, angebotene Artikel mittels „Five-Star-Ratings“ zu bewerten. Diese verwendet „Amazon“ schließlich um Kaufempfehlungen für diese Produkte aussprechen zu können. Bei der zweiten Ausprägung, dem Crowdfunding, wird die Masse für die Finanzierung herangezogen. Dabei stellt die Masse einem bestimmten Projekt Geld zur Verfügung, damit dieses Projekt umgesetzt werden kann. Meist handelt es sich hier um kleinere Einzelbeträge jedes einzelnen der Masse. Als Beispiel wäre hier der Förderverein „Wikimedia“ zu nennen, der die Online-Enzyklopädie „Wikipedia“ finanziell unterstützt. Die dritte und letzte Ausprägung, Crowdcuration, setzt auf die Produktivität der Masse indem diese aktiv wird und ist die am weitesten verbreitete Art von Crowdsourcing. Dabei soll sie beispielsweise Ideen generieren, Konzepte anfertigen oder Designs entwickeln. Als Beispiel für Crowdcuration wäre „Wikipedia“ zu nennen, wo die Masse Beiträge verfassen oder korrigieren kann. Aber auch sogenannte „Lesereporter“ von Zeitungen zählen zu dieser Kategorie, da sie beispielsweise ihre selbst erstellten Fotos zur Veröffentlichung anbieten. Zusammenfassend unterscheiden sich die drei Arten also hauptsächlich in Bezug auf den von einem Akteur der Masse zur Erfüllung der Aufgabe benötigten Aufwand in Form von Zeit-, Material- und Kosteninvestitionen. (vgl. LEIMEISTER und ZOGAJ 2013:22-27)

4.4 Mobile Crowdsourcing

Eine besondere Form des Crowdsourcings ist das sogenannte Mobile Crowdsourcing. Es erfuhr in den letzten Jahren aufgrund neuer Technologien im Bereich mobiler Kommunikation einen regelrechten Aufschwung. Früher waren mobile Kommunikationsgeräte noch auf wenige Funktionen wie Sprach- und

Textkommunikation beschränkt, doch heutzutage bieten mobilen Kommunikationsgeräte einen breiten Funktionsumfang wie beispielsweise Foto-, Video-, Ton- oder Wiedergabefunktionen. Zudem werden durch neue und leistungsfähigere Übertragungsstandards mobile Internetzugriffe ermöglicht, was den Datenaustausch zusätzlich noch enorm erleichtert. Aufgrund dieser Entwicklungen wird der Trend zum mobilen Internetzugriff in den kommenden Jahren noch weiter ansteigen und bald wird die Anzahl der mobilen Internetnutzer größer sein, als jene der Desktop-Internetnutzer. Es ergeben sich hier also enorme Möglichkeiten für das mobile Web, auch im Hinblick auf Mobile Crowdsourcing. Ein weiterer Grund, warum Mobile Crowdsourcing immer präsenter wird, ist die Möglichkeit der GPS-Verortung mittels Smartphones. Es sind heutzutage mittels integrierten GPS-Modulen sehr genaue Ortungen und somit auch Navigations-anwendungen möglich. So können auch Daten erhoben und sofort richtig verortet werden. (vgl. BACK et al. 2012:91f)

Es können beispielsweise Werte zu Strahlenwerten oder Luftverschmutzungen erhoben und gleich verortet werden und folglich können daraus Kartogramme erstellt werden. Aufgrund der sehr schnellen und einfachen Art, mittels Mobile Crowdsourcing Daten zu erheben und Informationen zu sammeln, kommt es immer öfter zu Kooperationen zwischen Mobile Crowdsourcing-Projekten, Behörden, Wissenschaft, Hilfsorganisationen, etc. Man kann hierbei jedoch zwei unterschiedliche Varianten unterscheiden. Zum einen die passive Variante, die Nutzerdaten von beispielsweise GPS automatisch sammelt und in Kartogrammen verarbeitet. Bei der aktiven Variante werden die Akteure des Mobile Crowdsourcing selbst aktiv, indem sie mit ihrem Smartphone Fotos machen, Geräusche mittels Mikrofon aufnehmen oder auch sonstige Messungen durchführen und an eine bestimmte Adresse übermitteln. Mobile Crowdsourcing kommt aufgrund dieser Funktionsmöglichkeiten sehr oft bei Naturkatastrophen zum Einsatz, wo diverse Daten in den betroffenen Gebieten von den Anwohnern selbst gesammelt und weitergeleitet werden. Beispielsweise als in Fukushima in Japan die Atomreaktor-Katastrophe geschah, wurden viele Strahlungswerte von der betroffenen Bevölkerung selbst gemessen und an eine

Internetadresse weitergeschickt, wo die Daten sofort aufbereitet und veröffentlicht wurden. Hilfsorganisationen und Behörden können daher enorm von diesen Möglichkeiten profitieren und die Hilfsmaßnahmen rasch und gezielt einsetzen.

(vgl. WWW: <http://t3n.de/magazin/mobile-crowdsourcing-schwarmintelligenz-handynutzer-229492/>, Zugriff am 15.3.2014)

4.5 Crowdsourcing im GIS-Bereich

Auch bei der Geodatenerfassung und -aufbereitung hat der Crowdsourcing-Prozess Einzug gehalten. Hier werden Geodaten mittels Smartphone einerseits erfasst und andererseits können diese Geodaten zugleich auch mittels GPS verortet werden. Diese Art der Datenerfassung hilft dabei bei der Erstellung von interaktiven und dynamischen Karten. Der Wandel von kartenbasierten Diensten zu neu kombinierbaren, interaktiven Kartendiensten wird dadurch noch zusätzlich verstärkt. Vor allem für die Methoden in der Stadtplanung bedeutet das eine Innovation. Beispielsweise wurden beim Projekt „Sensing in Green Areas“ in Kaiserslautern bestimmte Orte nach ihrer Geräuschkulisse bewertet. Dabei mussten die Probanden eine subjektive Bewertung abgeben, ob sie diese Orte als laut oder leise empfanden. Neben dem Lärmempfinden wurden auch noch andere Attribute erfasst wie zum Beispiel Gestaltung und Sauberkeit. Ergebnis dieser gesammelten Daten waren schließlich Heatmaps. Ergebnisse wie diese können später durchaus auch für zukünftige Stadtplanungsprojekten bzw. für Änderungen in bestehenden Gebieten miteinbezogen werden. Diese neue Form der freiwilligen Miteinbeziehung von Akteuren sowie die Geodatenerfassung und -aufbereitung, anschließender Visualisierung und einhergehenden Erkenntnisgewinn für eine neue räumliche Planung spielt in Zukunft im GIS-Bereich sicher noch eine große Rolle. (vgl. WWW: http://www.kommune21.de/meldung_14187, Zugriff am 15.3.2014)

5. Durchführung des Projektes in der Theorie

Um zu verstehen und nachvollziehen zu können, wie die Ergebnisse in Kapitel 6 zustande kommen, werden in diesem fünften Kapitel nun zunächst sämtliche Arbeitsschritte und Vorgehensweisen im Zuge des Projektes in der Theorie genau beschrieben. So werden nach der Vorstellung und Beschreibung der beiden Messgeräte, die bei den Untersuchungen zur Verwendung kommen, auch die angewandte Messmethode genau erklärt. Zudem werden in diesem Kapitel die ausgewählten Untersuchungsgebiete vorgestellt. Am Schluss werden auch noch sämtliche nötigen Arbeitsschritte in „ArcGIS“, von der Dateneingabe bis zur Visualisierung, angeführt und genau erklärt.

5.1 Messgeräte

Um einen Vergleich hinsichtlich der Datenqualität der Messwerte zweier Lärmmessgeräte durchführen zu können, werden bei diesem Projekt zwei verschiedene Schallpegelmessgeräte zum Erfassen des Umgebungslärms verwendet. Einerseits ein professionelles Schallpegelmessgerät und andererseits ein Smartphone mit einer speziellen Lärmmessung-App. Diese beiden Messgeräte werden nun kurz vorgestellt und deren technische Spezifikationen etwas näher erläutert.

1. Sound Level Meter SL-5868P (professionelles Schallpegelmessgerät)

Da es eine große Anzahl von verschiedenen Schallpegelmessgeräten gibt, die aber in ihrer Qualität und Funktion unterschiedliche Eigenschaften haben, wurden bei der Auswahl eines geeigneten professionellen Messgerätes gewisse Anforderungen wie beispielsweise Genauigkeit, Messbereich und Anzahl der Messparameter miteinbezogen. Neben diesen technischen Anforderungen wurden aber auch die finanziellen Kosten für solch ein professionelles Messgerät berücksichtigt, da es

Schallpegelmessgeräte im Bereich zwischen 20 Euro bis 600 Euro zu kaufen gibt. Die Wahl fiel schließlich auf das Schallpegelmessgerät „Sound Level Meter SL-5868P“, das über das Internet um 85 Euro gekauft wurde. Dieses professionelle Messgerät hat dabei folgende technische Spezifikationen und Eigenschaften:

- Produktabmessung: 26 cm x 6 cm x 20 cm
- Gewicht: 170 g
- Auflösung: 0,1 dB
- Genauigkeit: ± 1 dB
- Frequenzgewichtung: A, C, F
- Zeitgewichtung: 125 ms, 1 sek
- Frequenzreichweite: 20 bis 12.500 Hz
- Messparameter: L_p (Schalldruckpegel), L_{eq} (äquivalenter Dauerschallpegel), L_N (Prozent der gemessenen Schalldruckpegelwerte oberhalb des eingestellten Alarmwertes), L_{max} (maximaler Schalldruckpegel während einer Zeitperiode)
- Messbereich:
 L_p : 30~130 dB (A), 35~130 dB (C), 35~130 dB (F)
 L_{eq} : 30-130 dB (10s, 1min, 5min, 10min, 15min, 30min, 1hour, 8hour, 24hour)
 L_N : 0-100 %
- Alarmwert: 30-130 dB

Die Entscheidung zum Kauf dieses professionellen Messgerätes begründet sich darin, da es eine sehr genaue Auflösung der Dezibel-Werte liefert (0,1 dB) und auch die Genauigkeit mit ± 1 dB höher ist als bei vielen anderen Messgeräten. Außerdem kann dieses Messgerät auch den energieäquivalenten Dauerschallpegel, der bei diesem Projekt verwendet wird, für bestimmte Messzeiträume messen und anzeigen. Zusätzlich ist es möglich, den Umgebungslärm mittels verschiedener Frequenzgewichtungen (A, B oder C) zu messen, was für dieses Projekt sehr wichtig ist, da der A-bewertete Schallpegel (Filter A) gemessen werden soll. Zudem waren die Anschaffungskosten mit 85 Euro etwas unter dem vorgegebenen Budget (100 Euro).



Abb. 36: verwendetes professionelles Schallpegelmessgerät („Sound Level Meter SL 5868P“)

2. Sony Ericsson Xperia Arc – App: „Noise Meter“ (Version 2.4)

Das zweite Gerät, mit dem die Lärmmessungen durchgeführt werden, ist das Smartphone „Xperia Arc“ von Sony Ericsson mit der Android-Version 4.0.4. Doch zur Messung ist noch eine eigene spezielle Smartphone-App erforderlich, die es ermöglicht den Umgebungslärm in Dezibel-Werten zu erfassen. Da es aber unzählige Lärmmessung-Apps unterschiedlicher Qualität und mit unterschiedlichen Funktionen gibt, wurden auch hier wieder einige bestimmte Anforderungen gestellt, die bei der Wahl einer geeigneten Smartphone-App berücksichtigt wurden. Die erhobenen Messdaten dieser Smartphone-App sollen dabei eine gewisse Genauigkeit haben, indem sie die Dezibel-Werte auf eine Dezimalstelle genau wiedergeben. Weiters muss diese Smartphone-App den energieäquivalenten Dauerschallpegel messen können, da dieser im Projekt zur Verwendung kommt und es muss auch möglich sein, mittels Frequenzgewichtung den A-bewerteten Schallpegel (Filter A) messen zu können. Da

die App „Noise Meter“ von der Firma „Jinasys“ allen diese Anforderungen gerecht wird und sie zudem auch kostenlos zum Download bereit stand, fiel die Wahl auf diese Lärmmessung-App. Sie hat folgende technische Eigenschaften:

- Auflösung 0,1 dB
- Messparameter: $L_{\min}$ (minimalster Schalldruckpegel), $L_{\max}$ (maximaler Schalldruckpegel während einer Zeitperiode), L_{eq} (äquivalenter Dauerschallpegel), L_{peak} (Schallspitzenwert)
- Frequenzgewichtung: A, B, C
- Frequenzreichweite: 100 bis 5.000 Hz

Der Messbereich kann hier nicht genau angegeben werden, da dieser von der verwendeten Hardware, im speziellen von den Mikrofonen in den Smartphones, abhängt und somit Schwankungen ausgesetzt ist. Bei manchen Smartphones liegt der Messbereich zwischen 30-110 dB und bei manchen wiederum bei 30-90 dB. Da aber die geplanten Messungen bei diesem Projekt eher in ruhigeren bzw. mäßig lauten Gebieten durchgeführt werden und Lärmpegel von 90 dB nicht überschritten werden, werden diese Messbereiche als ausreichend angesehen. „Noise Meter“ bietet zudem auch die Möglichkeit, die gemessenen Dezibel-Werte mittels Balken grafisch darzustellen, um den zeitlichen Verlauf des Umgebungsgeräusches besser verfolgen zu können.

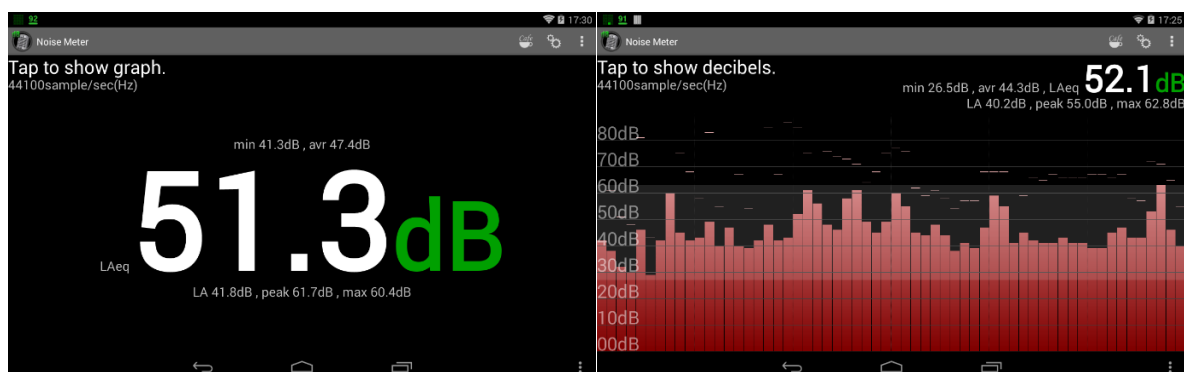


Abb. 37: verschiedene Anzeigemöglichkeiten der gemessenen Dezibel-Werte in „Noise Meter“

(Quelle: WWW: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.pjw.noisemeter&hl=de>, Zugriff am 29.04.2014)

Wie zuvor bereits erwähnt sind die Messwerte von der Hardware, insbesondere vom eingebauten Mikrofon im Smartphone, abhängig. Es ist dabei anzunehmen, dass neuartigere Smartphones noch genauere Messwerte liefern können, da sich auch hier wie überall sonst auch die Technologie in den Geräten ständig weiterentwickelt und dadurch auch Mikrofone noch besser und genauer werden. Somit können die Messwerte zwischen verschiedenen Smartphone-Herstellern unter Umständen leicht variieren. Hier müsste man also so gut wie alle derzeitigen am Markt erhältlichen Smartphones testen, um eine allgemeine Aussage darüber treffen zu können, wie groß die Unterschiede der Messwerte mit verschiedenen Smartphones sind bzw. ob ein ausgewähltes Smartphone, welches noch nicht allzu alt ist, repräsentativ für alle anderen ist. Im Zuge dieser Arbeit wurde aber nur das Sony Ericsson Xperia Arc verwendet und folglich können Aussagen bzgl. der Qualität der Messwerte nur für dieses Gerät getätigt werden.

5.2 Datenerfassung & Messmethode

Bei der Erfassung des Umgebungslärms in Dezibel-Werten wird für beide Messgeräte eine gemeinsame Messmethode verwendet, um anschließende Vergleiche anstellen zu können. Wie in Kapitel 2.6.4 bereits beschrieben, gibt es mehrere Messgrößen wie beispielsweise den gerade vorherrschenden Schalldruckpegel, der maximale Schallpegel, etc. Bei diesem Projekt wird der energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$ gemessen, da diese Messgröße den schwankenden Schallpegel (zum Beispiel durch vorbeifahrende Fahrzeuge) im jeweiligen Messzeitraum mitberücksichtigt und somit Aussagen über den vorherrschenden Umgebungslärm für einen bestimmten untersuchten Zeitraum möglich sind. An dieser Stelle sei noch ergänzend erwähnt, dass es sich hierbei um den A-bewerteten Schallpegel handelt, da dieser in der Regel für Messungen herangezogen wird, weil er dem menschlichen Ohr in Bezug auf Empfindlichkeit nachempfunden ist (siehe Kapitel 2.2.3). Dabei erfolgt die A-Bewertung mittels Filter automatisch durch die beiden Messgeräte. Die Messdauer beträgt für jeden Messstandort exakt 1 Minute und um anschließende Vergleiche

anstellen zu können, erfolgen die Messungen mit beiden Messgeräten immer gleichzeitig und an der gleichen Stelle. Zudem wird bei den Messungen auf eine geeignete Wetterlage geachtet (kein Regen/Schnee, windstill bzw. nur mäßiger Wind), um die Messergebnisse nicht zu verfälschen. Die verschiedenen Messpunkte sollen in den Untersuchungsgebieten möglichst gleich verteilt sein, sofern dies möglich ist und keine Hindernisse, wie beispielsweise Gebäude oder größere Bepflanzungen, vorhanden sind. Die Messungen selbst erfolgen in einer Höhe von ca. 1,5 Meter über dem Boden und die Mikrofone der Messgeräte werden immer in die Richtung der anzunehmenden Schallquelle (in diesem Fall die Straßen) gerichtet. Für die spätere Datenaufbereitung mittels GIS werden noch die Messpunkte in einer Karte eingezeichnet und die gemessenen Schallpegeln in eine Tabelle eingetragen.

5.3 Untersuchungsgebiete

Bei der Auswahl geeigneter Untersuchungsgebiete wurde darauf geachtet, dass sie sich in ihrer Charakteristik bzgl. Geräuschkulisse voneinander etwas unterscheiden und auch in ihrer Flächenausdehnung unterschiedlich groß sind. Ein weiteres Kriterium bei der Auswahl war, dass der dort vorherrschende Straßenverkehr, und somit auch die Lärmbelastung, relativ gleichmäßig sein soll, damit die späteren erzeugten Lärmkarten nicht nur eine Momentaufnahme mit wenig Aussagekraft sind, sondern auch durchaus Aussagen über die durchschnittliche Lärmbelastung in den jeweiligen Untersuchungsgebieten zulassen. Schlussendlich wurden folgende drei Untersuchungsgebiete in Wien ausgewählt:

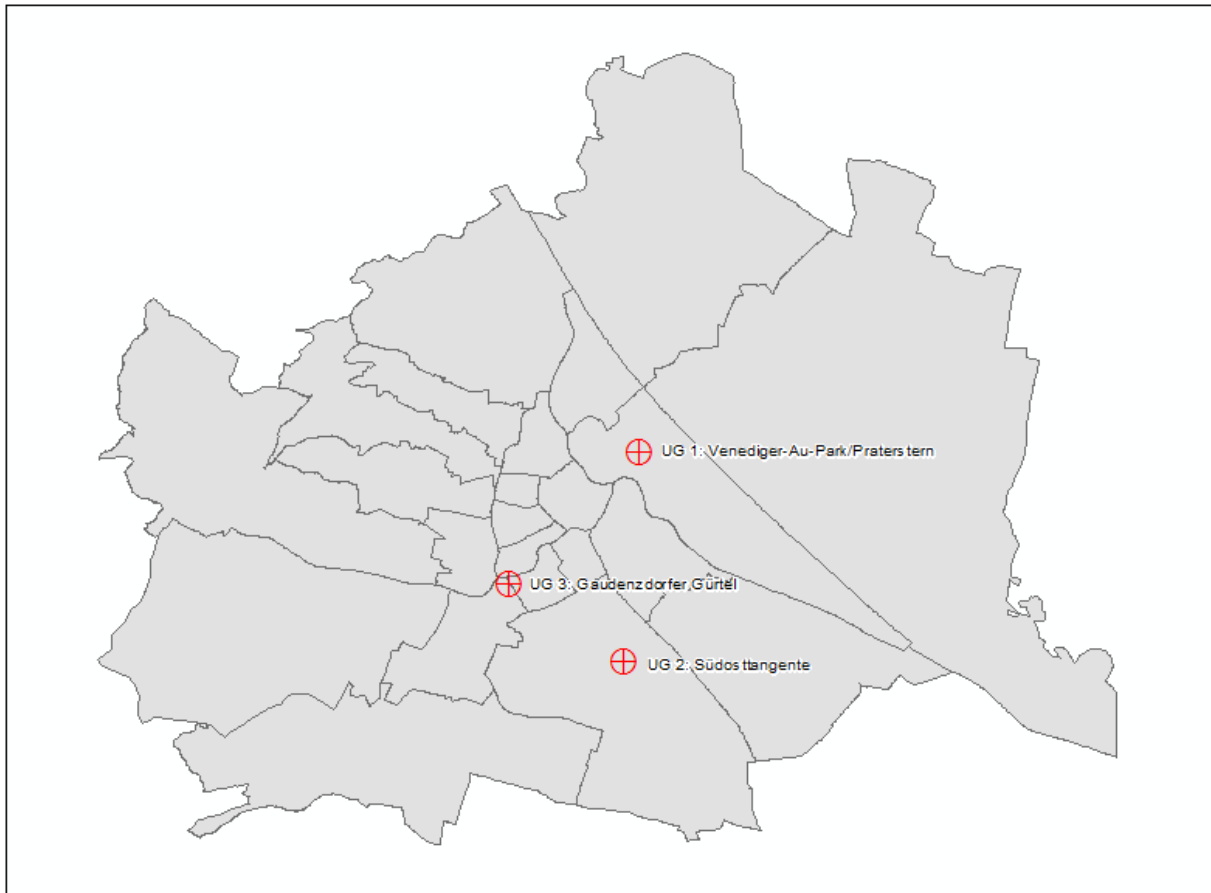


Abb. 38: Standorte der ausgewählten Untersuchungsgebiete in Wien (eigene Darstellung)

1. Venediger-Au-Park/Praterstern (2. Wiener Gemeindebezirk)

Das erste Untersuchungsgebiet liegt im zweiten Wiener Gemeindebezirk rund um den Venediger-Au-Park in unmittelbarer Nähe zum Praterstern. Dieses Gebiet ist durch einen relativ großen Park mit vielen Bäumen und Grünflächen gekennzeichnet. Begrenzt wird dieser Park größtenteils durch eher stark befahrene Straßen wie beispielsweise des Pratersterns oder der Lassallestraße. Zudem befindet sich im östlichen Teil des Parks noch ein kleiner Kinderspielplatz. Dieses Untersuchungsgebiet ist in seiner Gesamtheit eher etwas ruhiger, lediglich am Rand kommt es aufgrund der Straßen zu erhöhten Umgebungslärm.

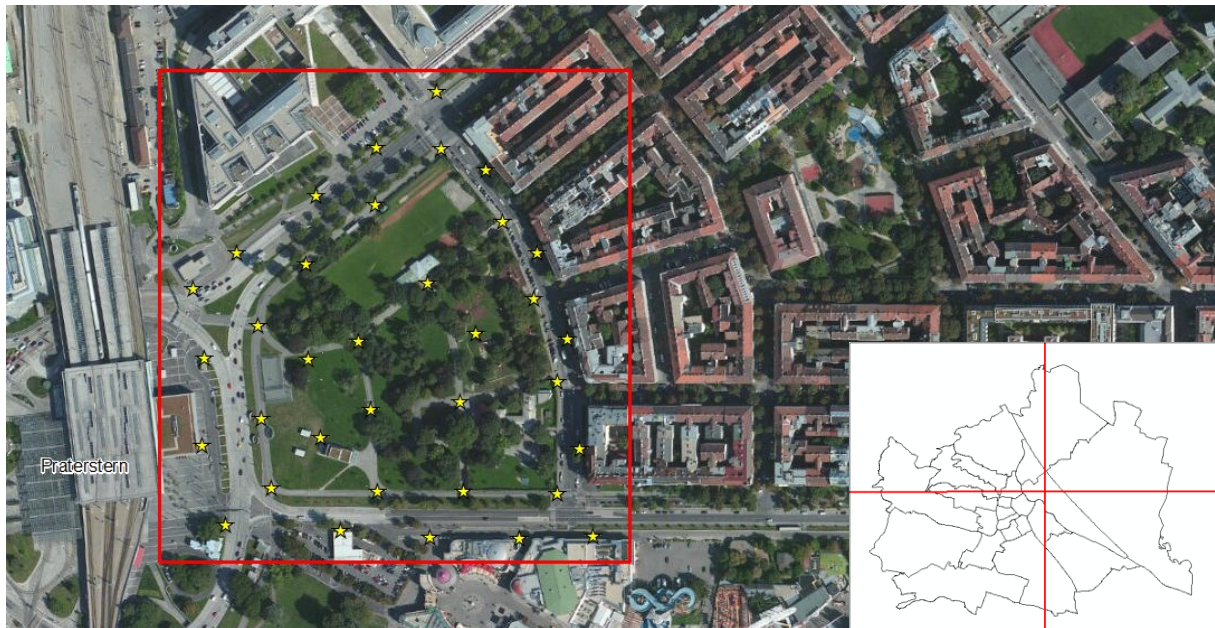


Abb. 39: Untersuchungsgebiet 1: Venediger-Au-Park/Praterstern mit Messstandorten (eigene Darstellung)

2. Südosttangente (10. Wiener Gemeindebezirk)

Das zweite Untersuchungsgebiet liegt im zehnten Wiener Gemeindebezirk bei der Südosttangente etwas nördlich vom Verteilerkreis. Dabei wird das Untersuchungsgebiet von der Autobahn quasi geteilt. Jedoch führt auch ein kleiner Fußweg über die Autobahn und verbindet somit diese beiden Gebiete. Hier ist der Lärm aufgrund der Autobahn schon deutlich größer als in Untersuchungsgebiet 1. Die Autobahn ist an dieser Stelle jedoch einige Meter abgesenkt und führt hier quasi in einer Art Rinne.

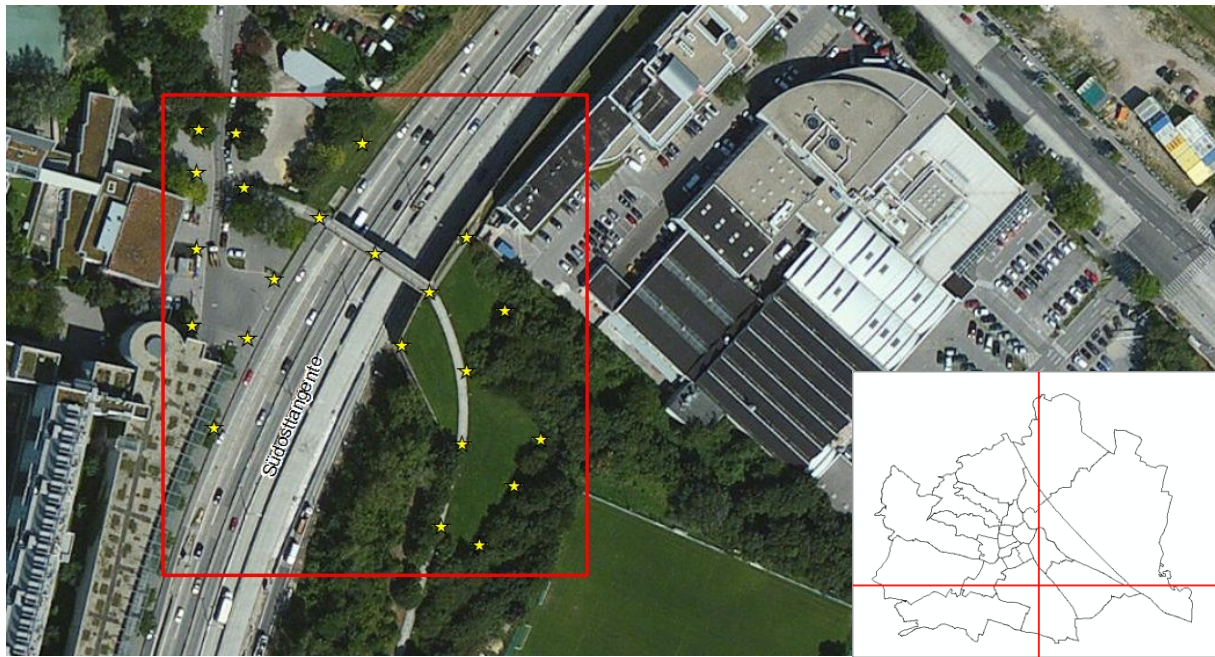


Abb. 40: Untersuchungsgebiet 2: Südosttangente mit Messstandorten (eigene Darstellung)

3. Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel (5. & 12. Wiener Gemeindebezirk)

Das dritte und letzte Untersuchungsgebiet liegt rund um den Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel an der Grenze zwischen dem fünften und zwölften Wiener Gemeindebezirk. Dieses Gebiet ist durch starken Verkehr gekennzeichnet und hat dementsprechend auch eine eher laute Geräuschkulisse. Das Untersuchungsgebiet ist hier neben dem stark befahrenen Gürtel einerseits durch enge Seitengassen und andererseits durch Grünflächen in der Mitte des Gürtels gekennzeichnet.

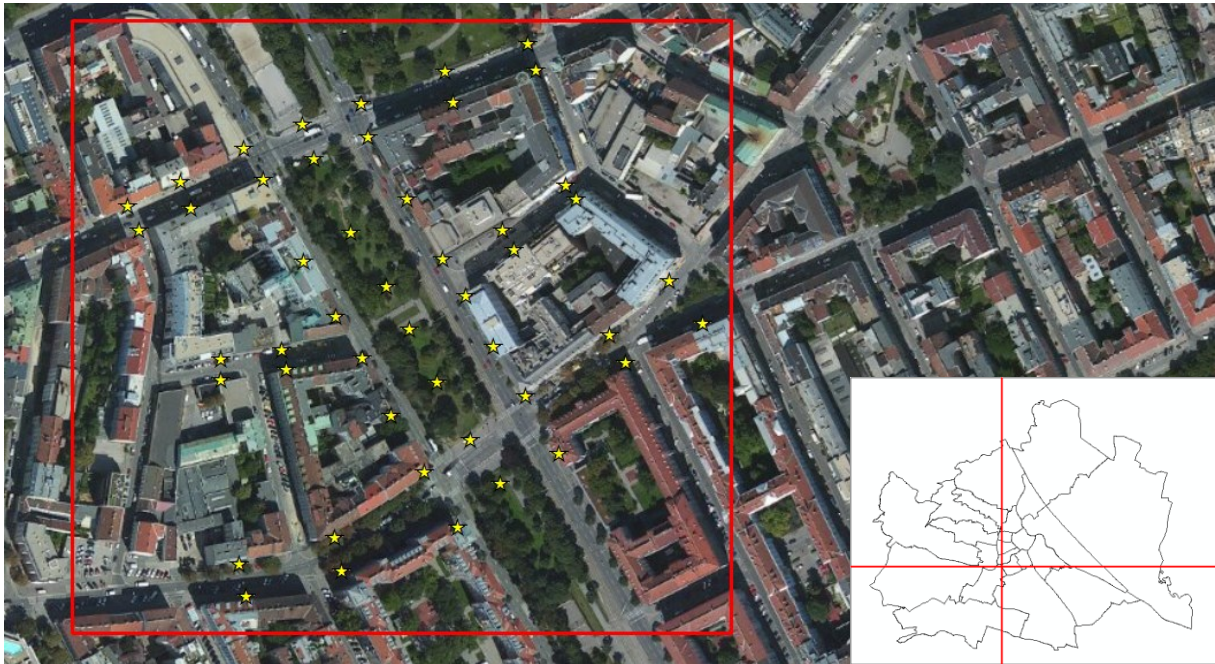


Abb. 41: Untersuchungsgebiet 3: Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel mit Messstandorten
(eigene Darstellung)

5.4 Datengrundlage & Datenaufbereitung mittels GIS

Nach den Messungen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten müssen diese Daten nun mittels GIS in eine digitale Form gebracht und weiter aufbereitet werden, um sie für die anschließenden Visualisierungen verwenden zu können. Für diese Datenaufbereitungen und Visualisierungen kommt die Software ArcGIS in der Version 10.1 zum Einsatz.

Zuerst müssen die Messstandorte in den jeweiligen Untersuchungsgebieten als Punkte digitalisiert und die dazugehörigen Attributdaten in Form der gemessenen Dezibel-Werten der beiden Messgeräte eingetragen werden. Hierbei ist ein Luftbild zur Orientierung nötig, um die Punkte für die Messstandorte an der richtigen Stelle setzen zu können. Mittels ArcGIS 10.1 ist es möglich, unter „Add Data“ auch verschiedene Basiskarten einzufügen, unter anderem auch ein Luftbild („Imagery“). Nachdem nun ein Luftbild in ArcMap hinzugefügt wird, kann im ArcCatalog eine Punkt-Feature-Klasse angelegt werden, welche später die Messstandorte darstellen soll. Diese Punkt-Feature-Klasse soll aber nicht nur die Lage beinhalten, sondern auch Attributdaten in

Form der gemessenen Messdaten der beiden Messgeräte. Hierfür werden in der Attributtabelle der Punkt-Feature-Klasse drei zusätzliche Spalten eingefügt:

1. Messpunkt-Nummer („Messpunkt_Nummer“)
2. Gemessene Dezibel-Werte des professionellen Messgerätes („dB_Messgeraet“)
3. Gemessene Dezibel-Werte der Smartphone-App („dB_App“)

Sind diese Arbeitsschritte im ArcCatalog erledigt, kann mit der Digitalisierung der Messstandorte und Eintragung der jeweiligen Dezibel-Werte in ArcMap begonnen werden. Nach Erledigung dieses Arbeitsschrittes sind noch abschließende Überprüfungen über Richtigkeit der Daten sowie Korrekturen bei möglichen Fehlern durchzuführen.

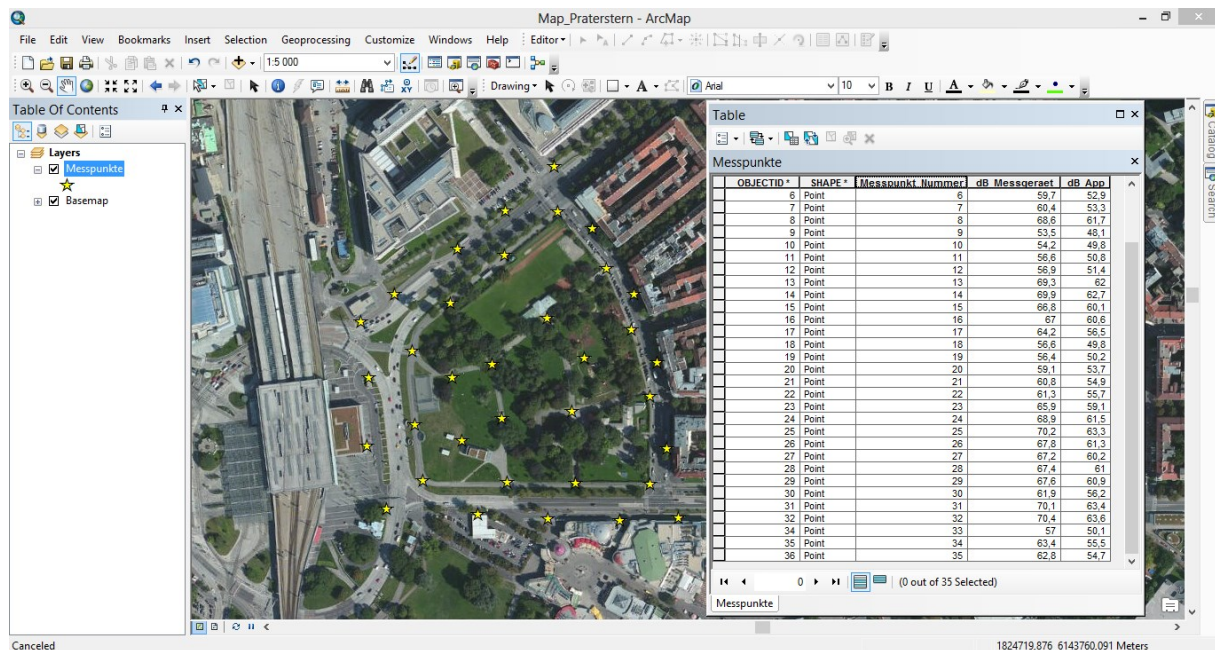


Abb. 42: Digitalisierung der Messstandorte und Eintragung der Attributdaten (Screenshot ArcMap

10.1)

Für die späteren Visualisierungen in ArcMap werden aber noch zusätzliche Daten benötigt. Zum einen eine Grundkarte und zum anderen die Baublöcke und Gebäude in Form von Polygon-Layern. Die Baublöcke und Gebäude als Polygon-Layer werden deswegen benötigt, da die Interpolationen nur auf Ebene der Straßen und Grünflächen sichtbar sein sollen und nicht über das gesamte Untersuchungsgebiet. Deshalb müssen

die erstellten Interpolationsraster anschließend noch mit Hilfe der Polygon-Layer zugeschnitten und begrenzt werden. Als Grundkarte dient die „Topographic“-Grundkarte, die in der ArcGIS Version 10.1 wieder unter „Add Data“ frei zur Verfügung steht. Ergebnis ist schließlich eine Karte, die eine Grundkarte besitzt und darüber liegend der erstellte Interpolationsraster, der durch die Polygon-Layer in Form der Baublöcke und Gebäude korrekt zugeschnitten ist.

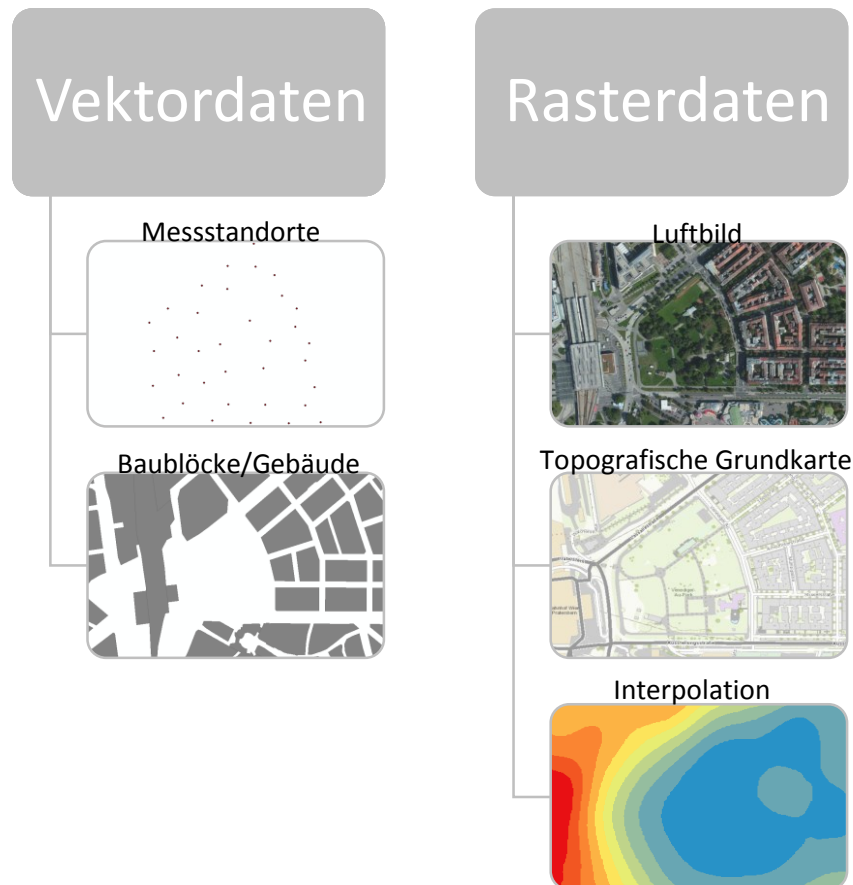


Abb. 43: Übersicht über Datengrundlage

5.5 Räumliche Interpolation

Im Zuge dieses Projektes sollen, wie zuvor bereits erwähnt, an verschiedenen Standorten Lärmmessungen durchgeführt werden. Ergebnis dieser Messungen sind schließlich Punktdaten mit den dazugehörigen Dezibel-Werten. Ziel ist es aber, aus diesen gemessenen Punktdaten eine flächenhafte Information abzuleiten, genauer gesagt sollen aus den diskreten Messpunktdaten der kontinuierliche Flächenverlauf

der Dezibel-Werte abgeleitet werden. Dies geschieht dabei mit Hilfe einer räumlichen Interpolation. Darunter versteht man im Allgemeinen die Berechnung bzw. Schätzung von Werten an nicht gemessenen Standorten auf Basis von punktuell gemessenen Datenpunkten. Die Interpolation stützt sich hierbei auf die These, dass zwischen den verschiedenen benachbarten Punkten mit ihren Werten eine räumliche Ähnlichkeit besteht. Diese Ähnlichkeit ist dabei bei näher liegenden Punkten größer, als bei jenen, die weiter auseinander liegen. Wie gut bzw. realitätsnah eine solche Interpolation ist, hängt hauptsächlich von der Anzahl, der Genauigkeit und der Verteilung der Messpunkte ab. (vgl. RIHA 2011:35)

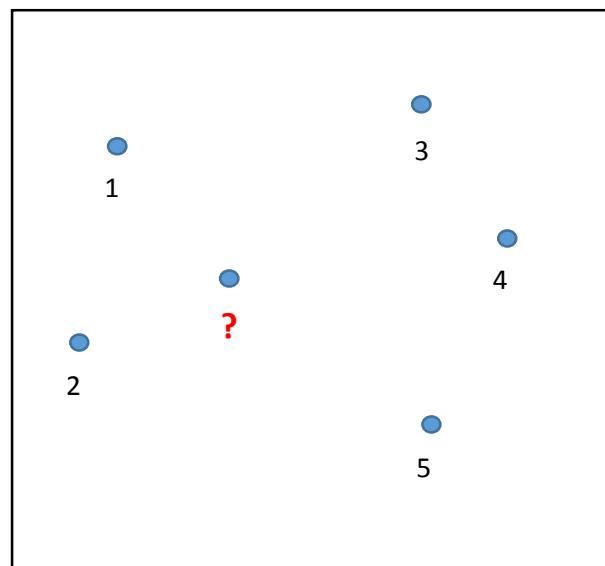


Abb. 44: Grundprinzip der räumlichen Interpolation (eigene Darstellung)

Man kann bei räumlichen Interpolationen grundsätzlich zwei verschiedene Interpolationsverfahren unterscheiden, das deterministische und das stochastische Interpolationsverfahren. Die deterministischen Interpolationsverfahren liegen einfachen Berechnungen zugrunde und interpolieren die Daten mittels festgelegter (zum Beispiel einer linearen) Funktion. Entsprechend der räumlichen Nähe der Messpunkte werden diese zueinander gewichtet. Aussagen über die Qualität der Interpolation können hier jedoch nicht gemacht werden. Beispiele für deterministische Interpolationsverfahren sind zum Beispiel „IDW“, „Spline“ oder „natürlicher Nachbar“.

Im Gegenteil dazu die stochastischen Interpolationsverfahren, die auf aufwendigeren Berechnungen und statistischen Modellen beruhen und zusätzlich auch noch die räumliche Autokorrelation, also die korrelativen Beziehungen der Messpunkte untereinander, berücksichtigt. Bei diesen Verfahren sind, im Gegensatz zu den deterministischen Interpolationsverfahren, Aussagen über die Qualität der Interpolation möglich. Ein Beispiel für ein stochastisches Interpolationsverfahren ist das „Kriging“. (vgl. RIHA 2011:36)

Im Zuge dieses Projektes wurde das deterministische Interpolationsverfahren „Splines“ für die notwendigen Interpolationen ausgewählt, da es in den Vorarbeiten und Testversuchen bei den resultierenden interpolierten Flächen die besten und nachvollziehbarsten Ergebnisse lieferte, im Vergleich zu anderen Verfahren wie beispielsweise dem „IDW“ oder „Kriging“, bei denen teilweise unschöne und nicht nachvollziehbare Artefakte entstanden, wie beispielsweise die „Bull-Eyes“ (RIHA 2011:42) beim IDW-Verfahren, wie in Abbildung 45 zu sehen ist.

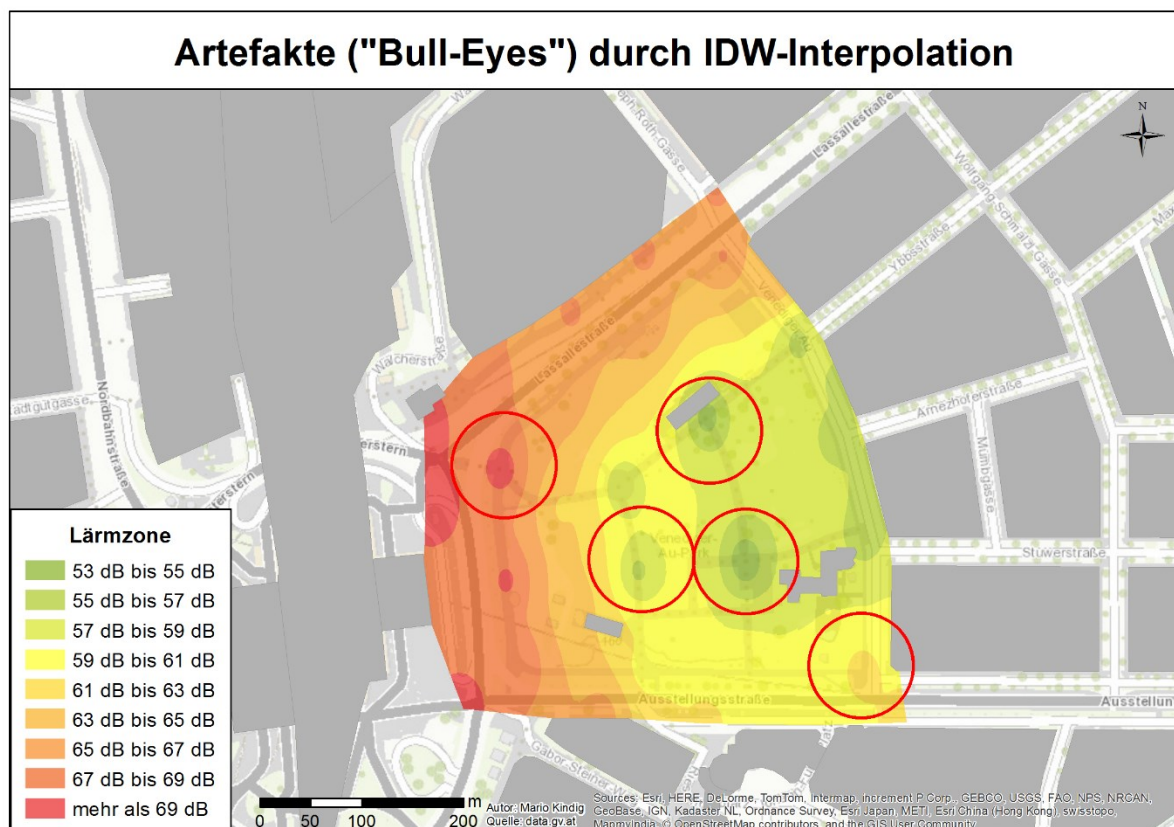


Abb. 45: Beispiel von entstandenen unschönen Artefakten („Bull-Eyes“) durch IDW-Interpolation

Bei der räumlichen Interpolation „Spline“ blieben diese Artefakte bei den Testversuchen weitgehend aus. Mit Hilfe dieser Interpolationsmethode werden Werte durch eine mathematische Funktion geschätzt, die die gesamte Oberflächenkrümmung minimiert, wobei dadurch eine glatte Oberfläche gebildet wird, die durch alle Eingabepunkte verläuft. Anschaulicher lässt sich diese Methode mit einer Gummischeibe erklären, die man so biegt, dass sie durch alle Punkte verläuft, während aber die Gesamtkrümmung so gering wie möglich gehalten wird. (vgl. WWW: <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000078000000/0000/>, Zugriff am 9.5.2014)

Bei den wenigen weiteren Interpolationsparametern der „Spline“-Interpolation (beispielsweise Anzahl der Punkte die in Berechnung einfließen), die man selbst in ArcMap einstellen kann, wurden jene ausgewählt, bei denen die Interpolationsergebnisse am ästhetischsten und nachvollziehbarsten waren (siehe Tabelle 7). Diese ausgewählten Interpolationsparameter wurden dann schließlich für alle durchgeführten Interpolationen verwendet, um die Ergebnisse später vergleichen zu können.

Interpolationsparameter „Spline“	
Kernel Function	Completely Regularized Spline
Sectors	4
Maximum neighbours	15
Minimum neighbours	10

Tab. 7: Interpolationsparameter „Spline“ in ArcMap

5.6 Visualisierung & Präsentation der Ergebnisse

Im Anschluss an die Interpolationen werden diese Ergebnisse nun in ArcMap noch visualisiert und noch weiter grafisch aufbereitet. Dabei werden für beide verwendete

Messgeräte für jedes Untersuchungsgebiet folgende Karten erstellt (siehe Abbildung 46).

Karte 1:

Die erste Karte soll nur einen groben Überblick geben, wo es an den jeweiligen Messstandorten lauter und leiser war. Sie beinhaltet dabei nur die Messstandorte (inklusive Nummer) mit den gemessenen Dezibel-Wertebereichen als Attribute, die abhängig vom gemessenen Wertebereich eine bestimmte Farbe aufweisen. Die Anzahl und Einteilung der Dezibel-Wertebereiche basiert dabei auf keiner offiziellen Klassifizierungsmethode, sondern wurden dabei immer in 2 dB-Schritten selbst definiert (z.B. 55 dB bis 57 dB, 57 dB bis 59 dB, ...). Durch diese selbst definierte Klassifizierung sollen die Lärmverteilungen etwas differenzierter und anschaulicher für den Betrachter gestaltet werden. Der Farbverlauf der einzelnen Dezibel-Wertebereichen verläuft hierbei von grün (leise Gebiete) nach rot (laute Gebiete) und stützt sich dabei auf den Ansatz, dass grün eher als „gut“ bzw. „ruhig“ und rot eher als „gefährlich“, „laut“ oder „lebendig“ in Verbindung gebracht wird und somit die Karte leichter interpretierbar wird. (vgl. MEERWEIN et al. 2007:28-31)

Karte 2:

Die zweite Karte beinhaltet bereits aufgrund der Interpolation einen kontinuierlichen Flächenverlauf der Dezibel-Wertebereiche. Mit Hilfe dieser Karte sollen bereits die Flächenverteilungen der lauten und leisen Gebiete sichtbar gemacht werden. Auch bei dieser Karte wird wieder dieselbe eigens definierte Klassifizierungsmethode und Farbgebung verwendet, wie bei Karte 1.

Karte 3:

Die dritte Karte ist eine Differenzkarte und zeigt die Differenzen der gemessenen Dezibel-Werte zwischen der Smartphone-App und dem professionellen Messgerät. Hier kommt dabei wieder dieselbe Interpolationsmethode mit denselben Parametern

zur Anwendung, wie bei Karte 2. Auch hier wurde die Klassifizierungsmethode und Farbgebung selbst definiert.

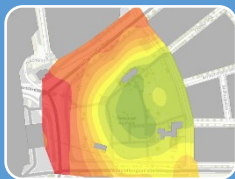
Karte 4:

Bei der vierten und letzten Karte werden die Klassifizierungsmethode und die dazugehörige Farbskala von der offiziellen ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 (2009:11) übernommen und das Ergebnis sind schließlich Lärmkarten nach offiziellen grafischen Richtlinien, die auf die durchgeführten Messungen basieren.



Karte 1

- Überblickskarte mit Messpunkten und Einfärbung dieser Messpunkte je nach Höhe der gemessenen Dezibel-Werte



Karte 2

- Karte mit Lärmverteilung mittels Interpolation und selbst definierter Klassifikation & Einfärbung



Karte 3

- Differenzkarte Smartphone-App vs. professionelles Messgerät mittels Interpolation und selbst definierter Klassifikation & Einfärbung



Karte 4

- Lärmkarte nach offiziellen (grafischen) Richtlinien

Abb. 46: Überblick über erstellte Karten mit der Software „ArcGIS“

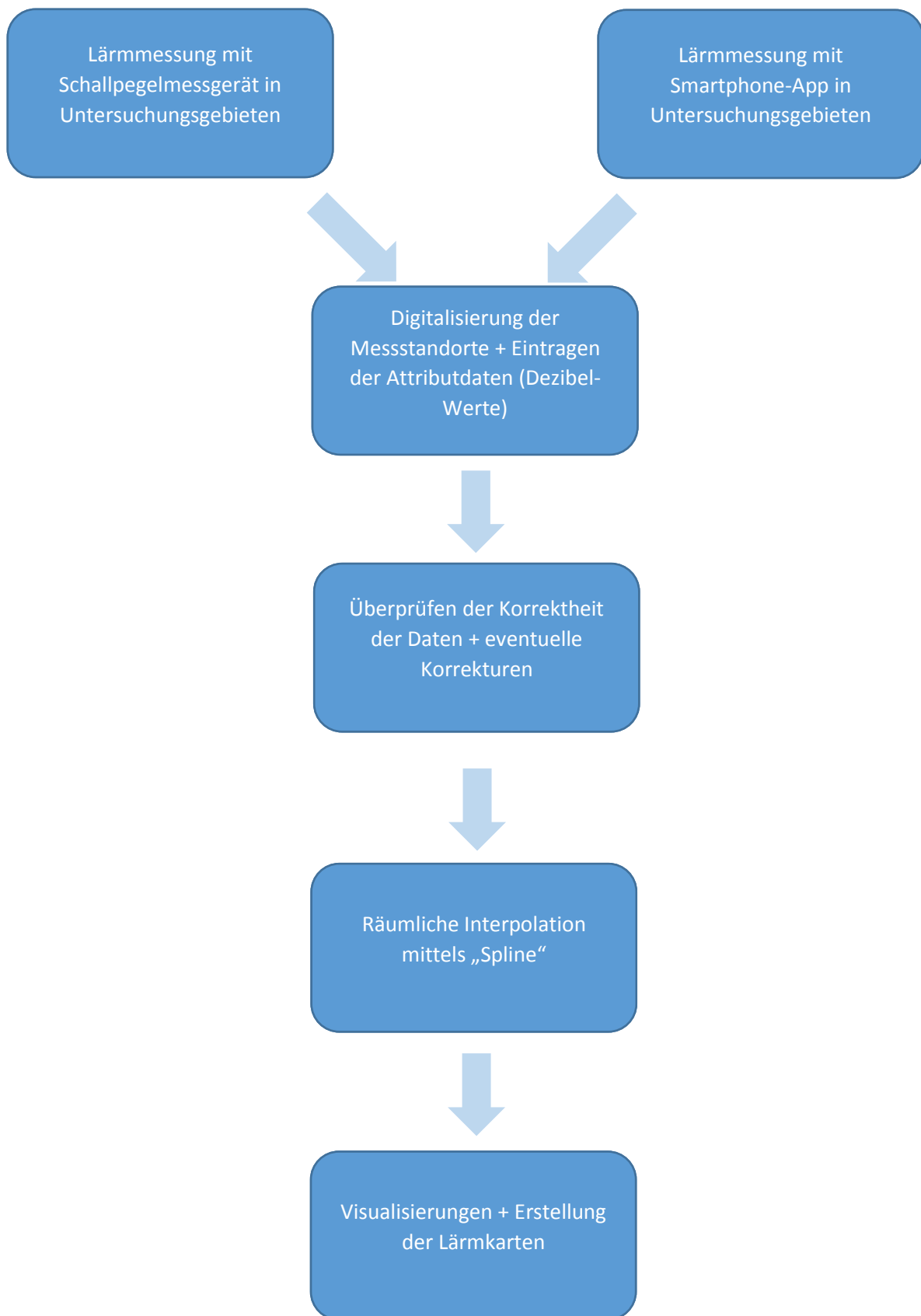


Abb. 47: Schema des Projektablaufes

6. Ergebnisse

Dieses Kapitel beinhaltet nun für jedes einzelne Untersuchungsgebiet sämtliche Ergebnisse der Lärmmessungen, die im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurden. Dabei werden diese Ergebnisse in Form von Tabellen und Karten dargestellt und mögliche Unterschiede beschrieben und diese für die Bewertungen herangezogen.

Kennzeichnung der einzelnen Karten:

LV-A = Lärmverteilung mittels Smartphone-App

LV-P = Lärmverteilung mittels professionellen Messgerät

DK-A-P = Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät

LK-A = Lärmkarte mittels Smartphone-App

LK-P = Lärmkarte mittels professionellen Messgerät

LK-B = offizielle & berechnete Lärmkarte

6.1 Untersuchungsgebiet 1: Venediger-Au-Park/Praterstern

Die Schallpegelmessungen im 1. Untersuchungsgebiet fanden am 2.Mai 2014, im Zeitraum von 10 Uhr bis 12 Uhr vormittags, statt. Die Wetterbedingungen waren in diesem Messzeitraum bei einer Windgeschwindigkeit von weniger als 5 m/s und fast wolkenlosem Himmel nahezu ideal. Die Temperatur betrug ungefähr +20 Grad Celsius.

Messpunkt_Nummer	dB_Messgerät	dB_App	Differenz
1	67,1	60,7	6,4
2	56,5	49,7	6,8
3	56,4	49,9	6,5
4	56,2	50,3	5,9
5	61,7	55,7	6,0
6	59,7	52,9	6,8
7	60,4	53,3	7,1
8	68,6	61,7	6,9

Messpunkt_Nummer	dB_Messgerät	dB_App	Differenz
9	53,5	48,1	5,4
10	54,2	49,8	4,4
11	56,6	50,8	5,8
12	56,9	51,4	5,5
13	69,3	62,0	7,3
14	69,9	62,7	7,2
15	66,8	60,1	6,7
16	67,0	60,6	6,4
17	64,2	56,5	7,7
18	56,6	49,8	6,8
19	56,4	50,2	6,2
20	59,1	53,7	5,4
21	60,8	54,9	5,9
22	61,3	55,7	5,6
23	65,9	59,1	6,8
24	68,9	61,5	7,4
25	70,2	63,3	6,9
26	67,8	61,3	6,5
27	67,2	60,2	7,0
28	67,4	61,0	6,4
29	67,6	60,9	6,7
30	61,9	56,2	5,7
31	70,1	63,4	6,7
32	70,4	63,6	6,8
33	57,0	50,1	6,9
34	63,4	55,5	7,9
35	62,8	54,7	8,1
			$\varnothing = 6,5$

Tab. 8: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone

In diesem ersten Untersuchungsgebiet, rund um den Venediger-Au-Park im zweiten Wiener Gemeindebezirk, wurden Messungen an 35 verschiedenen, gleichmäßig verteilten Standorten mit beiden Messgeräten durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Messwerte des professionellen Schallpegelmessgerätes und die der Smartphone-App unterschiedlich großen Schwankungen unterliegen. Das professionelle Schallpegelmessgerät hat bei den Messungen bei allen Messstandorten höhere Dezibel-Werte gemessen, als die Smartphone-App. Die durchschnittliche Differenz aller Messwerte beträgt hierbei 6,5 dB (siehe TABELLE 8). Folgende Karten

zeigen hierbei noch anschaulicher die unterschiedlichen Messwerte der beiden Messgeräte.

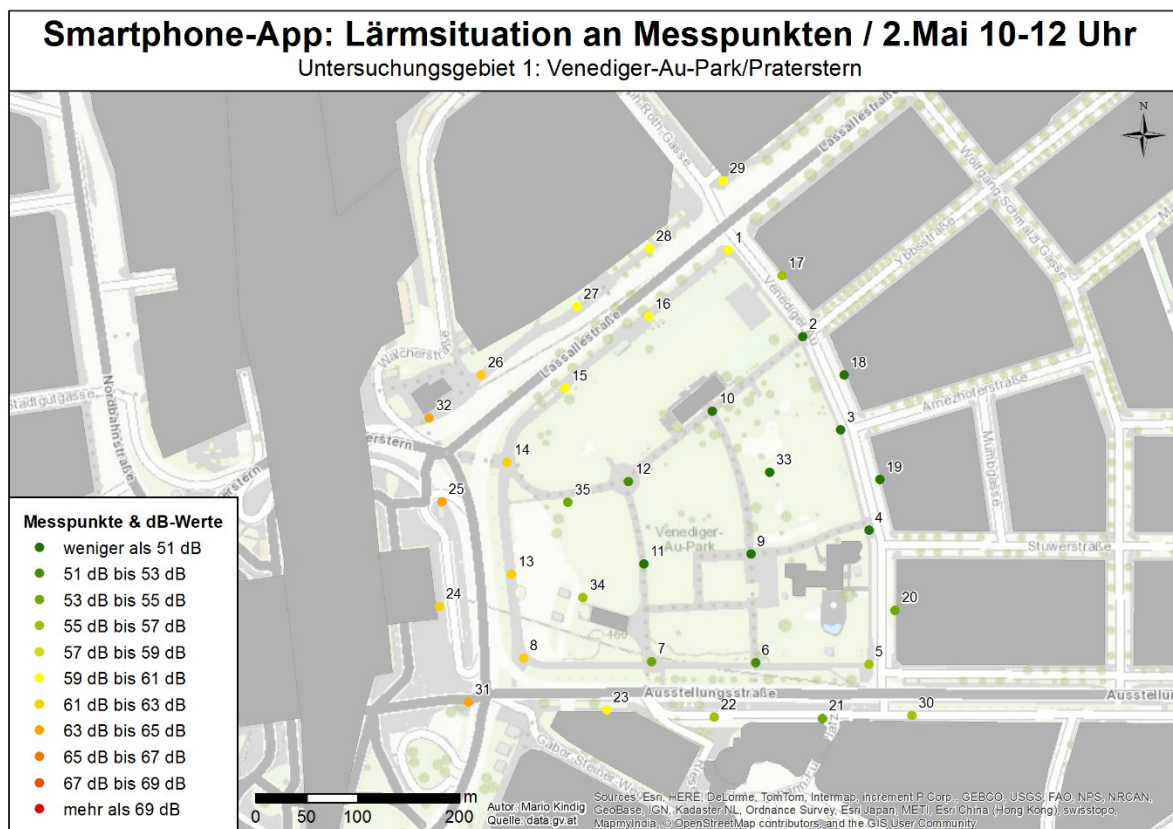


Abb. 48: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App

Abbildung 48 zeigt die Karte mit den Messpunkten (inklusive der Messpunkt-Nummern als Beschriftungen) und den dazugehörigen gemessenen Dezibel-Wertebereichen der App. Bei dieser Karte kann man bereits anhand der unterschiedlichen Wertebereiche erkennen, an welchen Messstandorten es im Untersuchungsgebiet im Zeitraum der Messungen lauter und leiser war, bzw. welchen Einfluss der Verkehr auf den Straßen auf den dortigen Umgebungslärm hat. Im östlichen Teil des Parks wurden die geringsten Dezibel-Werte erfasst, da dieser Bereich eher ruhig ist und der Straßenlärm teilweise durch Bäume oder Sträucher etwas abgeschirmt wird. Die höchsten Werte wurden erwartungsgemäß direkt neben der Straße am Praterstern gemessen.

Abbildung 49 zeigt nun die Karte mit den gemessenen Dezibel-Wertebereichen des professionellen Messgerätes. Hier kann man aufgrund der unterschiedlichen

Farbgebung der Messpunkte im Vergleich zur vorherigen Karte gut erkennen, dass mit diesem Messgerät überall etwas höhere Dezibel-Werte gemessen wurden.

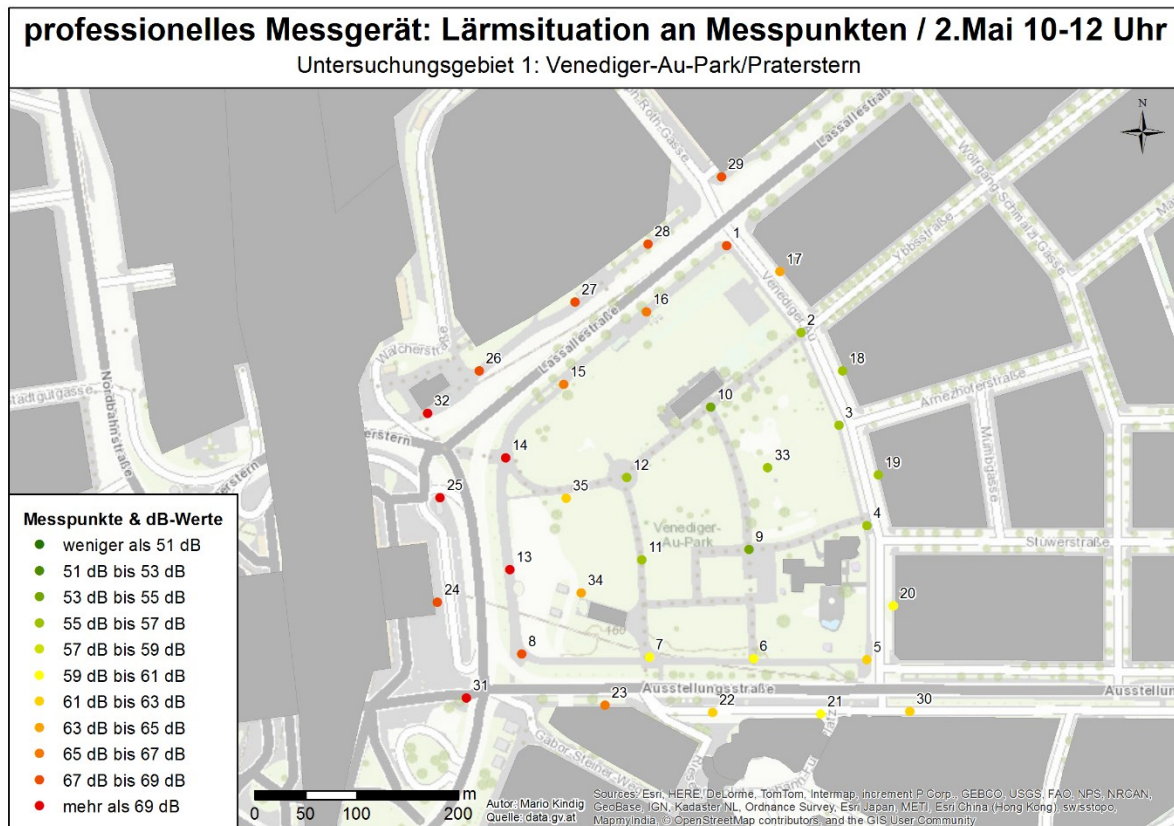


Abb. 49: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät

Jedoch wurden auch hier wieder erwartungsgemäß die geringsten Werte im östlichen Teil des Parks und die höchsten Werte direkt am Praterstern gemessen. Diese Unterschiede der gemessenen Werte werden folglich auch bei den Ergebnissen der Interpolationen klar ersichtlich und es ergeben sich unterschiedliche Lärmverteilungen.

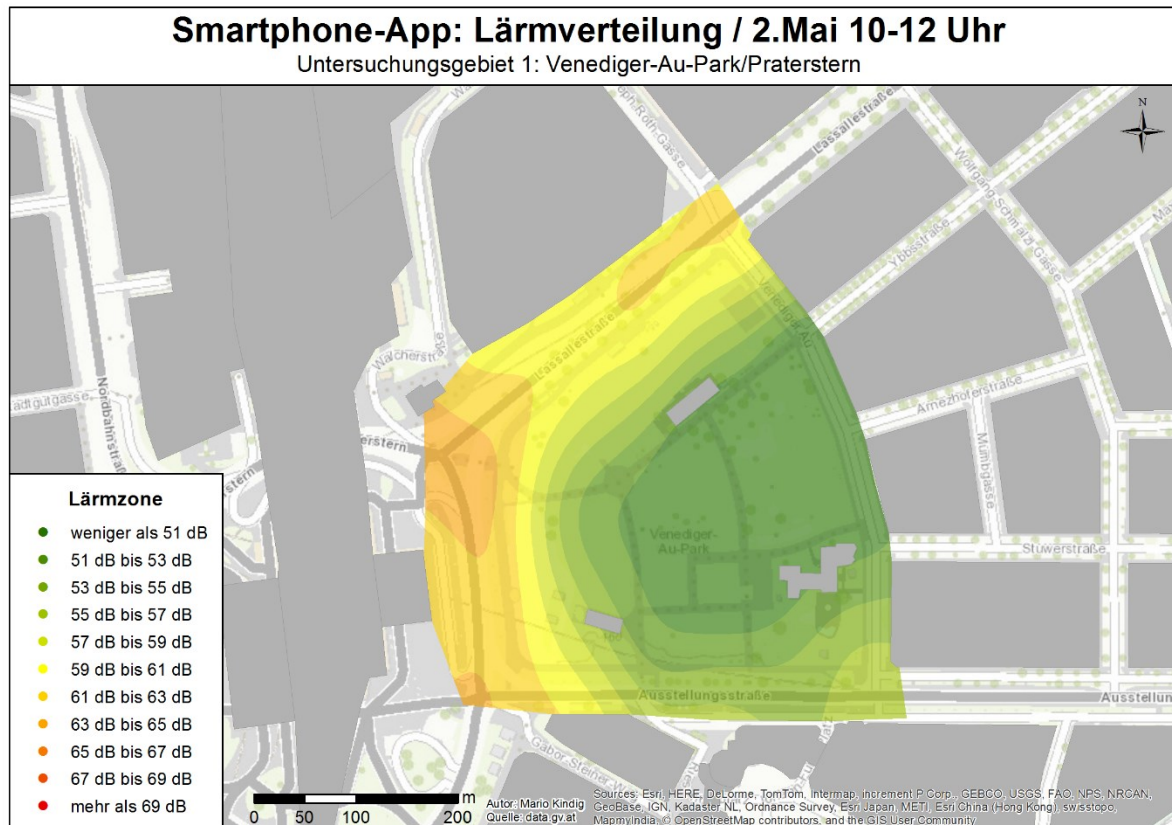


Abb. 50: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A)

Durch Interpolation werden die ruhigeren und lauterer Gebiete noch besser ersichtlich. Man kann hier genau erkennen, in welchem Bereich sich der Park befindet und wo die Straßen. Auf Basis der gemessenen Werte mittels Smartphone-App (LV-A) ist hierbei fast der gesamte Park grün eingefärbt. Generell kann man aufgrund dieser Karte darauf schließen, dass beinahe der gesamte Park als eher ruhiges Gebiet eingestuft werden kann. Stärker vorherrschender Lärm findet man vorwiegend am Praterstern sowie in den Kreuzungsbereichen der größeren Straßen. In seiner Gesamtheit jedoch kann man auf Basis dieser Karte für den angegebenen Messzeitraum eher auf ein mäßig lautes Gebiet schließen, da Dezibel-Werte von 65 dB oder höher kaum überschritten werden. Ein anderes Bild ergibt sich jedoch bei der Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Werte mittels des professionellen Messgerätes (LV-P).

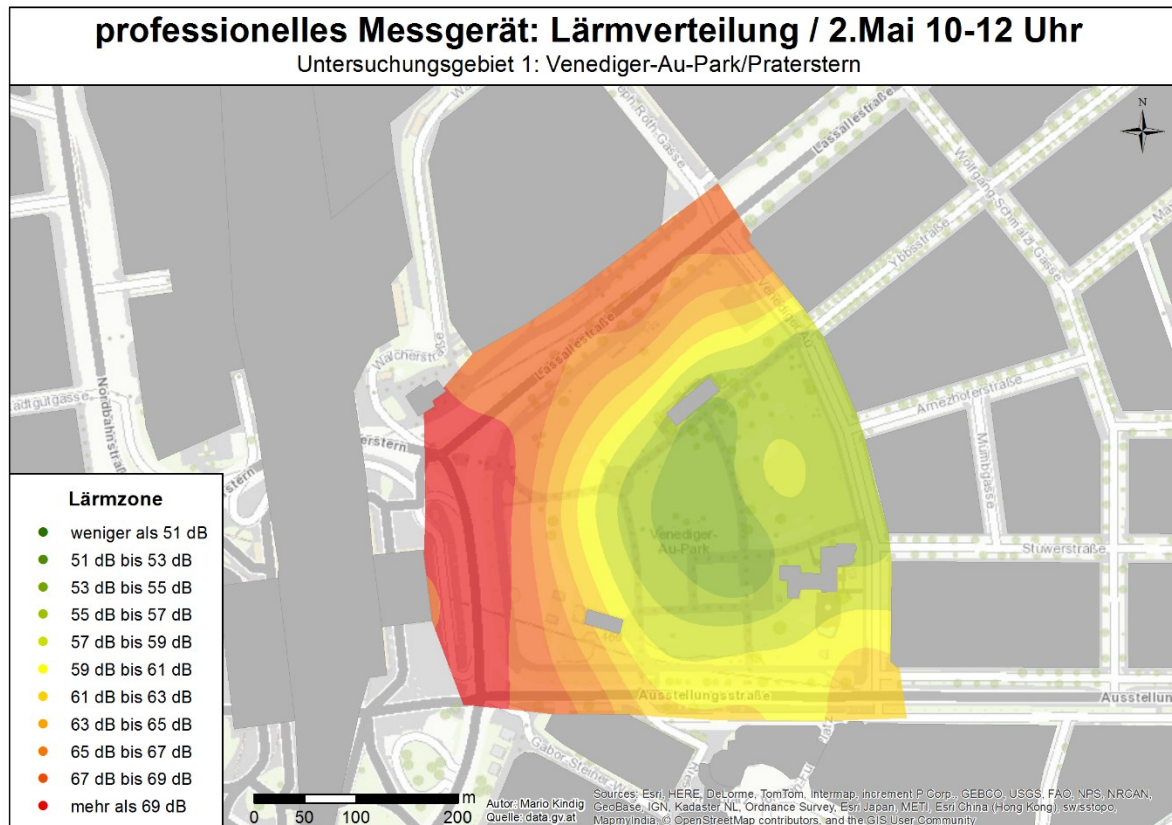


Abb. 51: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LV-P)

Hier kann man erkennen, dass im Vergleich zur vorherigen Karte (LV-A) lediglich der innere Bereich des Parks noch grün eingefärbt ist. Gut ersichtlich wird hier im östlichen Teil des Parks auch der Spielplatz (hellgrüne Fleck), wo zum Zeitpunkt der Messungen spielende Kinder anwesend waren und daher hier auch etwas höhere Werte gemessen wurden. In der vorherigen Karte (LV-A) ist dies nicht erkennbar. Markant ist zudem auch die rote Einfärbung im Bereich des Pratersterns und somit wird hier der stärker vorherrschende Lärm noch deutlicher gemacht. Auf Basis dieser Karte (LV-P) kann man im Vergleich zur vorherigen Karte (LV-A) auf ein lauterer Gebiet schließen, bei dem lediglich der innere Parkbereich ruhiger ist. Generell wird dieses Gebiet mit Hilfe der Messwerte des professionellen Messgerätes aufgrund der größeren Anzahl an vorherrschenden Wertebereichen (und folglich auch größeren Anzahl an Farben) etwas differenzierter dargestellt.

Betrachtet man nun die Differenzkarte (DK-A-P), kann man gut erkennen, dass die Differenzen der gemessenen Dezibel-Werte zwischen den beiden verwendeten Messgeräten in den ruhigeren Bereichen (beispielsweise in der Mitte des Parks) deutlich geringer sind, als in den lauterer Bereichen (beispielsweise direkt am Praterstern).

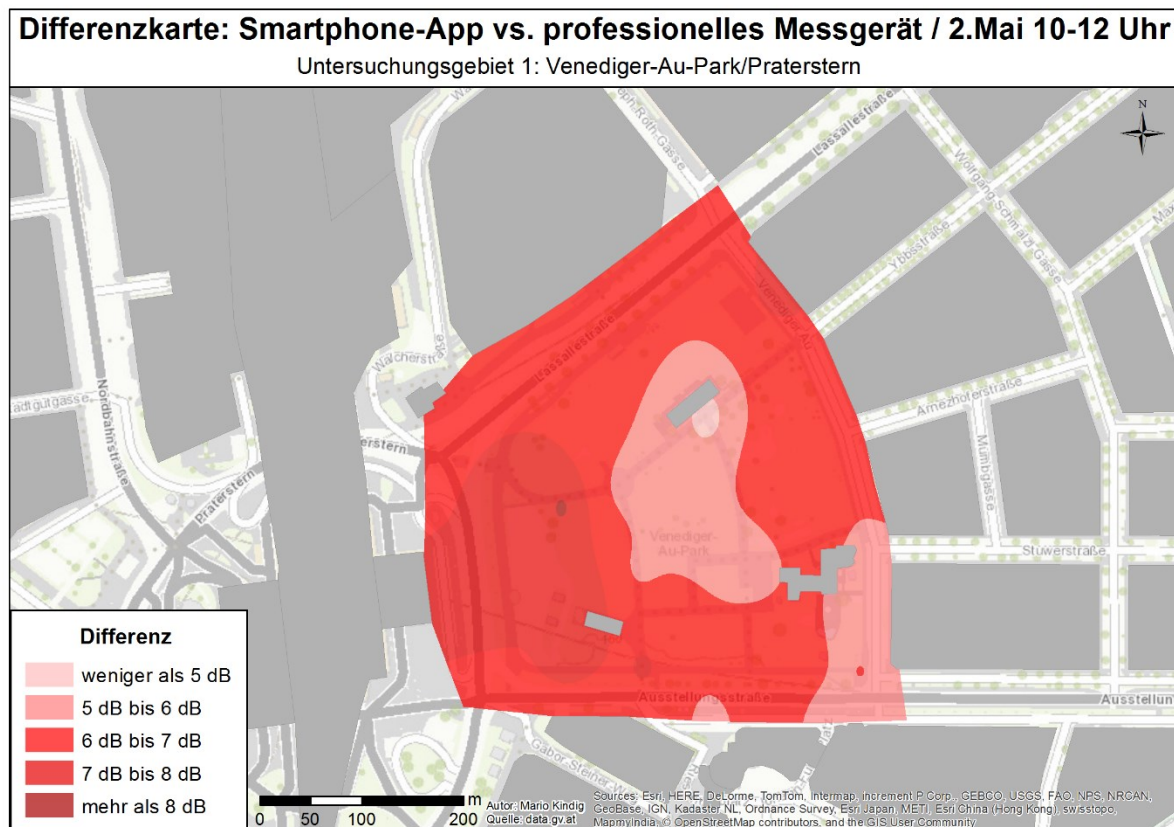


Abb. 52: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P)

Auch bei den Ergebnissen nach Erstellung von Lärmkarten nach den offiziellen (grafischen) Richtlinien ergeben sich logischerweise erkennbare Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Messgeräten.

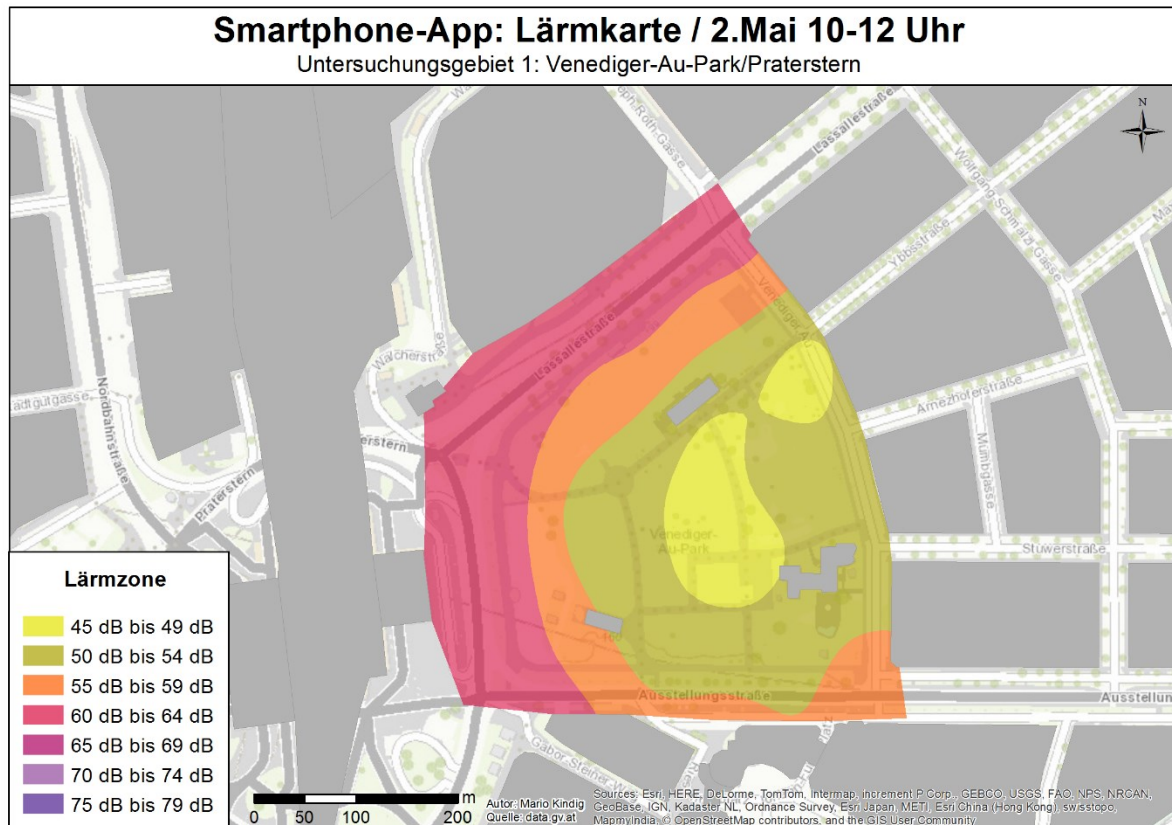


Abb. 53: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A)

Bei dieser Lärmkarte auf Basis der Werte der Smartphone-App (LK-A) werden vier verschiedene Lärmzonen ausgewiesen. Auch hier erkennt man wieder gut den lautereren Bereich der Straßen, sowie den ruhigeren im Inneren des Parks.

Im Gegensatz dazu gibt es bei der Lärmkarte auf Basis der Werte des professionellen Messgerätes (LK-P) fünf ausgewiesene Lärmzonen. Hierbei wird der Bereich am Praterstern noch zusätzlich farbig gekennzeichnet, da hier die gemessenen Werte in eine höhere Lärmzone (70 dB bis 74 dB) fallen. Weiters gibt es bei dieser Lärmkarte im Vergleich zur vorherigen im Inneren des Parks die geringste Lärmzone (45 dB bis 49 dB) nicht mehr. Generell weist diese Lärmkarte höhere Lärmzonen aus, da die gemessenen Werte mittels professionellen Messgerät in höhere Lärmzonen fallen, als jene die mittels Smartphone-App gemessen wurden.

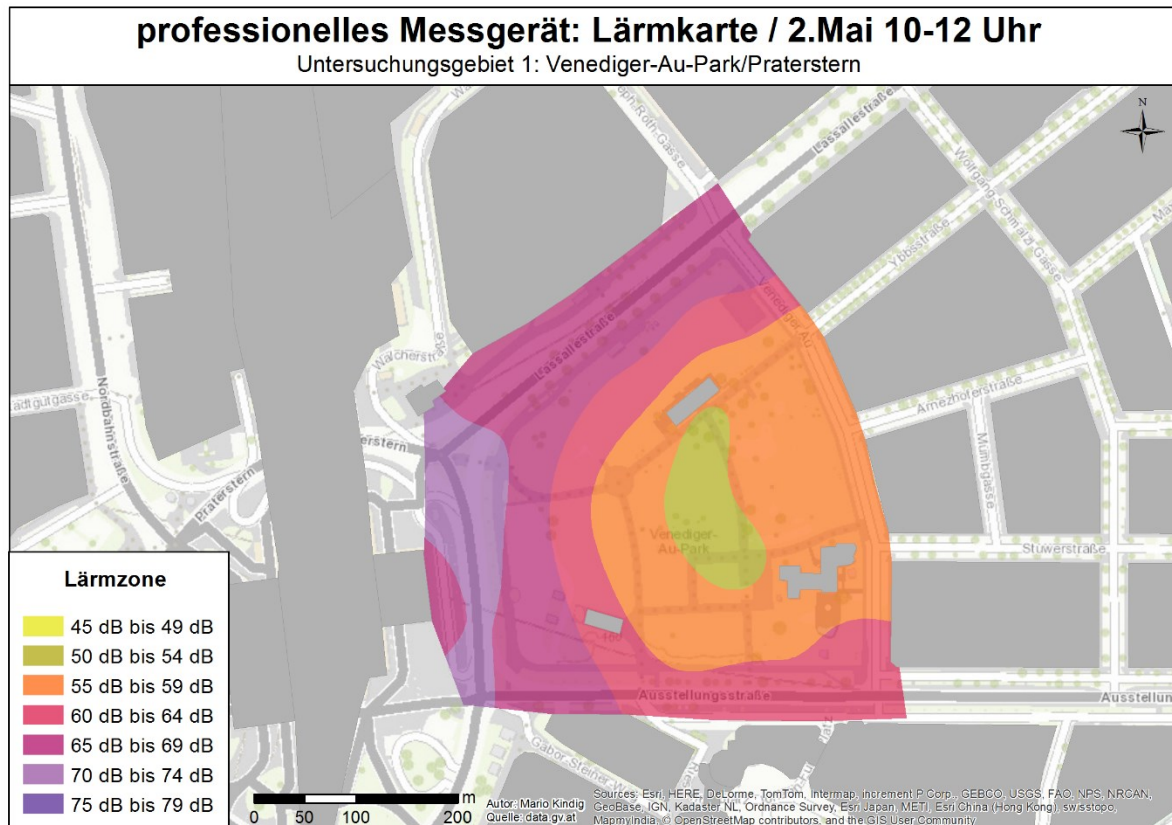


Abb. 54: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P)

Vergleicht man nun diese zwei selbst erstellten Lärmkarten mit jener offiziellen (berechneten) Lärmkarte (LK-B) (siehe Abbildung 55), die online unter „<http://www.laerminfo.at/>“ abrufbar ist, sind Unterschiede erkennbar. Generell weist die offizielle Lärmkarte das Gebiet lauter aus, als es die Messungen ergeben haben. Einzig die Lärmkarte die auf die Dezibel-Werte des professionellen Messgerätes basiert (LK-P), weist eine gewisse Ähnlichkeit mit der offiziellen, berechneten auf. Vor allem der Bereich direkt am Praterstern fällt hierbei genau in dieselbe Lärmzone. Der Bereich im Inneren des Parks hingegen fällt größtenteils in eine zu niedrige Lärmzone. Bei der Lärmkarte, die auf die Werte mittels Smartphone-App basiert (LK-A), werden die im Durchschnitt zu gering gemessenen Dezibel-Werte noch einmal deutlich gemacht. Hier fällt beinahe das gesamte Untersuchungsgebiet in zu niedrige Lärmzonen.



Abb. 55: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B) (Screenshot von <http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html>, Zugriff am 16.5.2014)

Man muss bei diesem Vergleich jedoch berücksichtigen, dass bei der offiziellen Lärmkarte (LK-B) nur der Straßenlärm in die Berechnung einfließt und nicht der gesamte Umgebungslärm. Mit der weiteren Berücksichtigung, dass es sich bei den durchgeführten Messungen lediglich um eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Messungen handelt, haben die selbst erstellten Lärmkarten trotz allem ein recht ansprechendes und aussagekräftiges Ergebnis und können durchaus als Überblick über den vorherrschenden Lärm im Untersuchungsgebiet dienen. Auch die Karte, die auf die Werte der Smartphone-App basiert (LK-A), weist die lauten und leisen Gebiete deutlich aus, lediglich fallen diese Werte im Allgemeinen in etwas zu niedrige Lärmzonen.

6.2 Untersuchungsgebiet 2: Südosttangente

Die Messungen im zweiten Untersuchungsgebiet fanden am 1. Mai 2014, im Zeitraum von 9 Uhr bis 11 Uhr vormittags, statt. Zu diesem Zeitpunkt war es windstill und sonnig und daher ideal für die Messungen. Die Temperatur betrug ungefähr +16 Grad Celsius.

Messpunkt_Nummer	dB_Messgerät	dB_App	Differenz
1	57,8	49,2	8,6
2	55,6	48,7	6,9
3	58,8	49,5	9,3
4	63,1	54,5	8,6
5	70,2	62,9	7,3
6	70,6	62,5	8,1
7	61,5	53,8	7,7
8	72,2	62,8	9,4
9	71,7	62,9	8,8
10	64,6	56,6	8,0
11	75,3	66,2	9,1
12	70,8	61,7	9,1
13	72,0	61,9	10,1
14	64,9	56,9	8,0
15	75,0	67,1	7,9
16	65,4	57,7	7,7
17	67,5	60,0	7,5
18	60,2	53,0	7,2
19	66,2	58,9	7,3
20	62,3	54,5	7,8
21	61,2	53,2	8,0
22	72,0	62,7	9,3
			$\bar{\varnothing} = 8,3$

Tab. 9: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone

In diesem zweiten Untersuchungsgebiet wurden Schallpegelmessungen an insgesamt 22 verschiedenen Standorten durchgeführt. Diese Standorte liegen aber nicht alle gleichmäßig verteilt, da es in diesem Untersuchungsgebiet teilweise bauliche oder pflanzliche Hindernisse gab, die es unmöglich gemacht haben, ein gleichmäßiges Messpunktnetz zu bilden. Auch hier gab es, wie im ersten Untersuchungsgebiet, zum Teil wieder starke Schwankungen bei den gemessenen Werten zwischen jenen der Smartphone-App und jenen des professionellen Messgerätes. Dabei waren die gemessenen Werte des professionellen Messgerätes wieder höher, im Durchschnitt betragen diese Abweichungen 8,3 dB (siehe Tabelle 9). Hier sind also höhere Abweichungen zwischen den Werten der beiden verwendeten Messgeräte festzustellen, als bei den Werten im ersten Untersuchungsgebiet. Dies spiegelt sich auch in den folgenden Karten wieder.

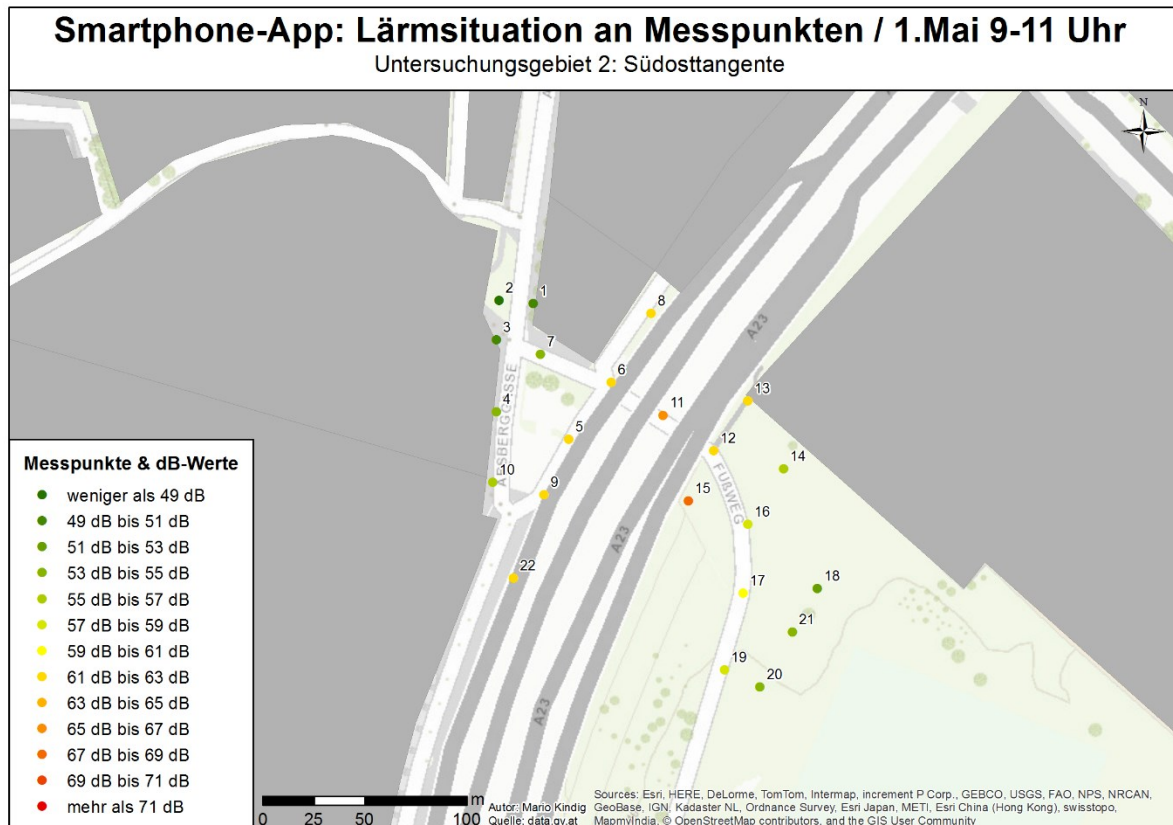


Abb. 56: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App

Abbildung 56 zeigt wieder die Messpunkte (inklusive den Messpunkt-Nummern als Beschriftungen) und deren Dezibel-Wertebereiche der App. Hier kann man bereits gut erkennen, dass wie erwartet die höchsten Dezibel-Werte in unmittelbarer Nähe zur Autobahn gemessen wurden. Die geringsten Werte wurden einerseits im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes in den Seitengassen und andererseits im südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes in der Nähe eines Waldes gemessen. An dieser Stelle sei hier aber nochmals erwähnt, dass die Südosttangente hier nicht auf der gleichen Ebene liegt wie die Messstandorte, sondern einige Meter darunter, da hier die Autobahn in einer Art „Rinne“ verläuft. Dadurch wird die Lärmausbreitung etwas abgeschwächt und der Lärm breitet sich hier eher nach oben hin aus, als auf die Seite. Daher wurden hier trotz Autobahn nicht allzu hohe Dezibel-Werte gemessen. Mit dem professionellen Messgerät wurden im Allgemeinen im gesamten Untersuchungsgebiet deutlich höhere Werte gemessen, die man in der folgenden Karte gut erkennen kann.

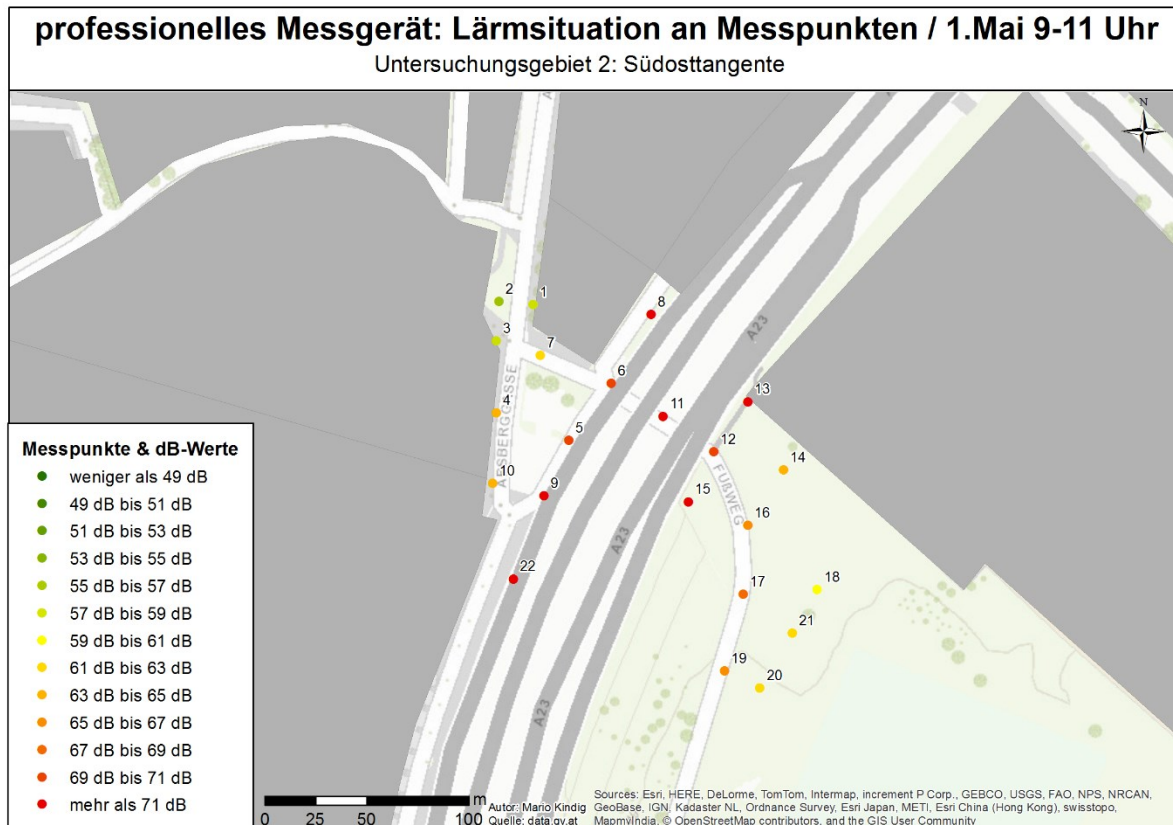


Abb. 57: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät

Hier wurden vor allem in unmittelbarer Nähe zur Autobahn höhere Dezibel-Werte gemessen. Interessant ist hier auch die Tatsache, dass trotz erhöhten Lärms durch die Autobahn die Lärmausbreitung rasch abnimmt. Während neben der Autobahn Werte von ungefähr 70 dB und höher gemessen wurden, wurden am westlichsten Messpunkt, der nur knapp 60 Meter davon entfernt ist, nur noch Werte von ungefähr 50 dB gemessen. Die rasche Lärminderung lässt sich dabei durch die vorhandenen Gebäude und Bäume erklären, die den Lärm an seiner Ausbreitung stören. Bei den folgenden Interpolationen wird dies noch einmal ersichtlich.

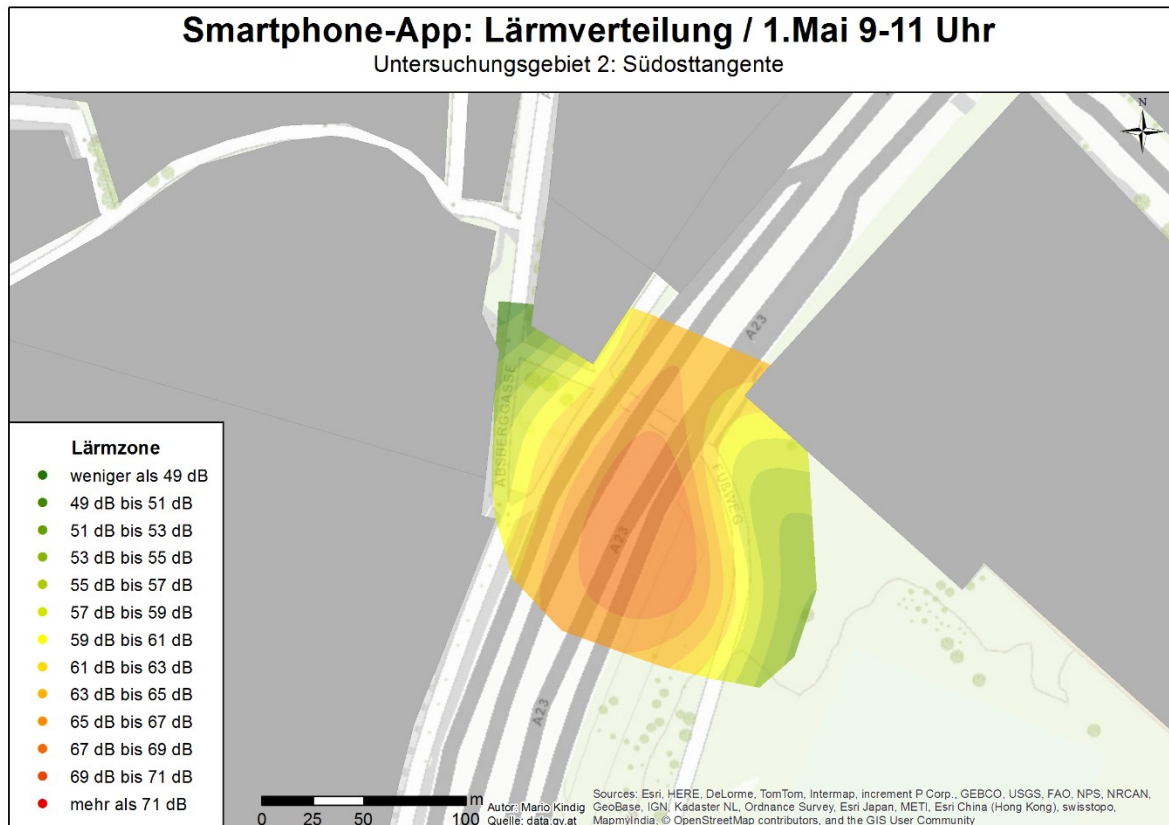


Abb. 58: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A)

Anhand der Interpolation wird die Lärmverteilung (LV-A) wieder sehr gut sichtbar gemacht. Die ruhigeren Gebiete in den Seitengassen sowie im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes sind klar ersichtlich. Das Gebiet rund über der Autobahn ist relativ laut, gut ersichtlich an der orangenen Einfärbung entlang der Autobahn. Es ergibt sich hier im östlichen Teil jedoch auch ein Artefakt in Form einer kleinen Ausbuchtung der höheren Lärmzonen (orange eingefärbt). In diesem Bereich der Ausbuchtung konnten leider keine Messungen durchgeführt werden, da das dortige Gelände nicht zugänglich war. Da aber gleich daneben eine Messung mit einem relativ hohen Dezibel-Wert durchgeführt wurde, ergibt sich hier aufgrund der Interpolation eine eher unrealistische Ausbuchtung der höheren Lärmzonen. Generell lassen sich aber mit Hilfe der Werte der Smartphone-App durchaus laute und leise Gebiete zuweisen. Lediglich sind diese Werte wieder etwas zu niedrig und folglich sind auch die ausgewiesenen Lärmzonen etwas zu niedrig, was beim folgenden Vergleich mit den Messdaten des professionellen Messgerätes (LV-P) klar ersichtlich wird.

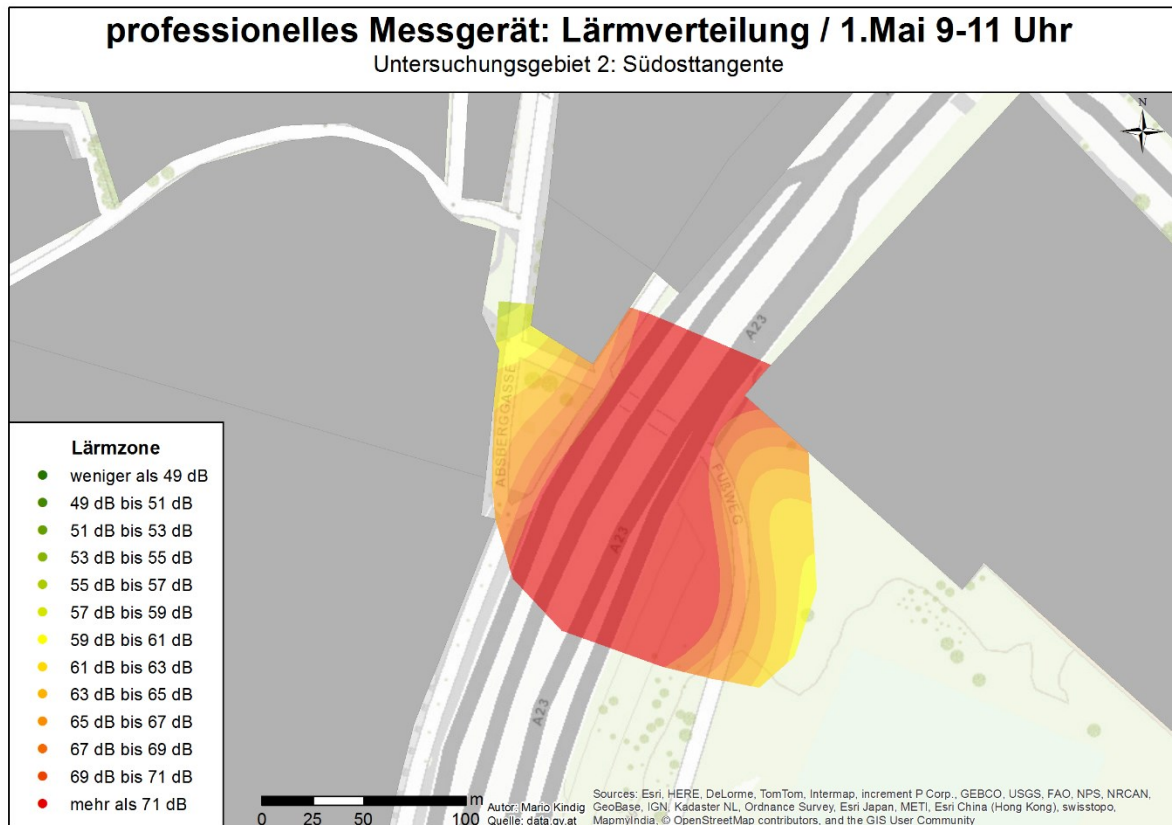


Abb. 59: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LV-P)

Bei der Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte des professionellen Messgerätes (LV-P) wird der gesamte Bereich entlang der Autobahn rot markiert, was bedeutet, dass hier eine hohe Lärmzone vorherrscht. Wie zuvor ist auch hier wieder die kleine Ausbuchtung der höheren Lärmzonen im südöstlichen Teil gut zu erkennen. Die Grenzen der Autobahn werden in dieser Karte (LV-P) aufgrund der hohen Lärmzonen besser ersichtlich, als bei der vorherigen Karte (LV-A). Auch mit dieser Karte (LV-P) kann man die ruhigen und lauten Gebiete klar erkennen. Im Vergleich zu der Lärmverteilung auf Basis der Werte der Smartphone-App (LV-A) sind hier höhere Lärmzonen vorherrschend. Generell sind die beiden Lärmverteilungen, mit Ausnahme der unterschiedlichen Höhen der Lärmzonen, von der Ausbreitung her relativ ähnlich. Es wird also auch hier wieder klar ersichtlich, dass zwar die Smartphone-App geringere Dezibel-Werte erfasst als ein professionelles Messgerät, es sich aber trotzdem

Aussagen über den vorherrschenden Umgebungslärm und der Lärmverteilung machen lassen.

Die Differenzkarte (DK-A-P) zeigt noch einmal, dass es besonders im nahen Bereich zur Autobahn zu größeren Differenzen der gemessenen Dezibel-Werte zwischen den zwei verwendeten Messgeräten kommt. Es zeigt sich also auch hier, dass es, wie im ersten Untersuchungsgebiet, in den lauterer Bereichen größere Differenzen der Messwerte gibt.

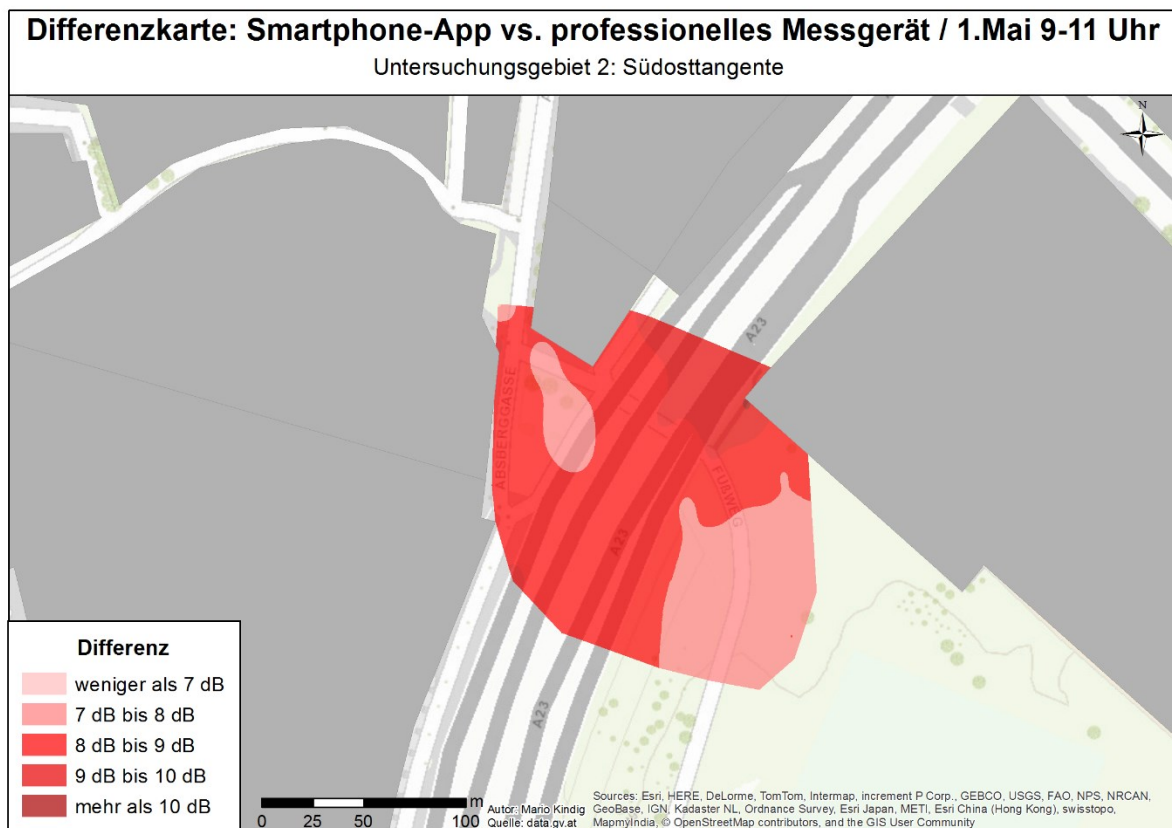


Abb. 60: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P)

Die angesprochenen Unterschiede lassen sich folglich auch in den folgenden selbst erstellten Lärmkarten nochmals klar erkennen.

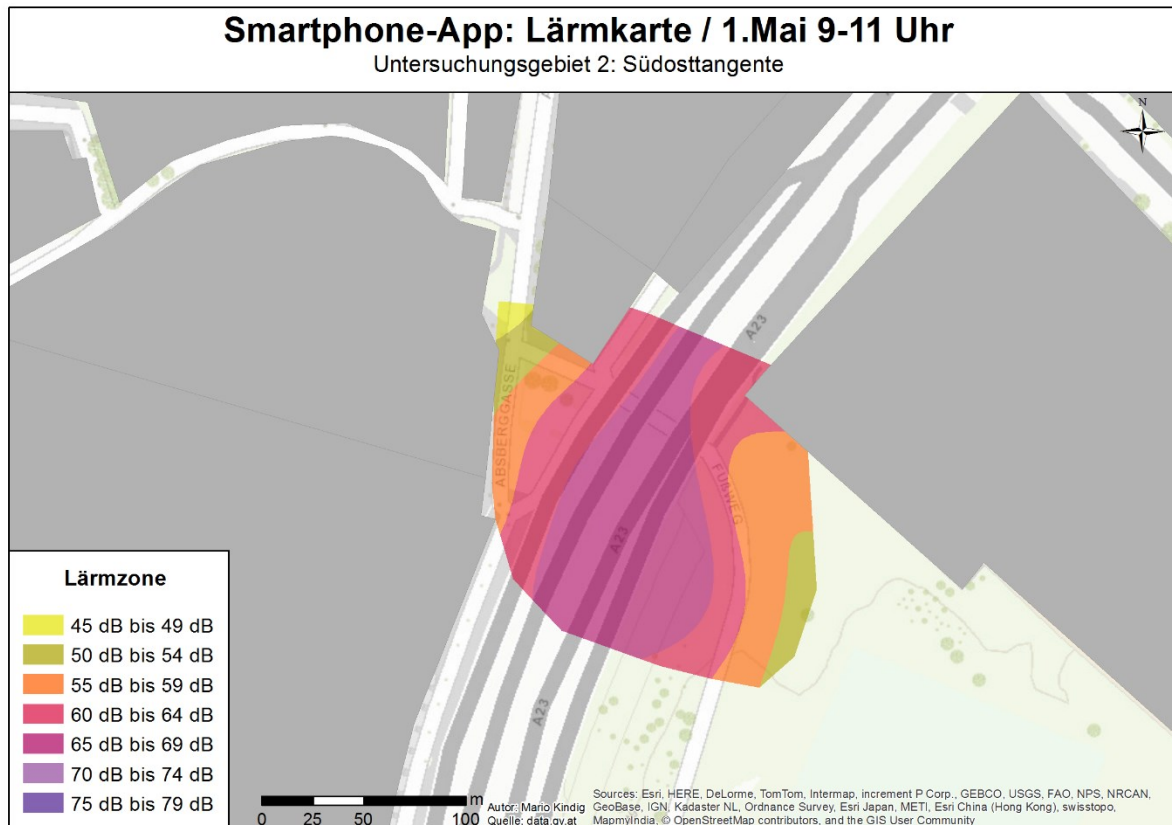


Abb. 61: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A)

Bei dieser Lärmkarte, die auf die Dezibel-Werte der Smartphone-App basiert (LK-A), kann man gut den Einfluss der Autobahn erkennen. Jedoch verfälscht die angesprochene Ausbuchtung das Ergebnis ein wenig. Insgesamt werden hier fünf verschiedene Lärmzonen ausgewiesen, genauso viele wie in der folgenden Lärmkarte, die auf die Dezibel-Werte des professionellen Messgerätes basiert (LK-P). Hier findet man aber höhere Lärmzonen und somit auch anders eingefärbte Zonen vor. Vor allem wird das Gebiet entlang der Autobahn deutlich lauter ausgewiesen. Doch wenn man die unterschiedlich eingefärbten Lärmzonen ausklammert, kann man durchaus wieder Ähnlichkeiten in Bezug auf die Verteilungen der Lärmzonen erkennen.

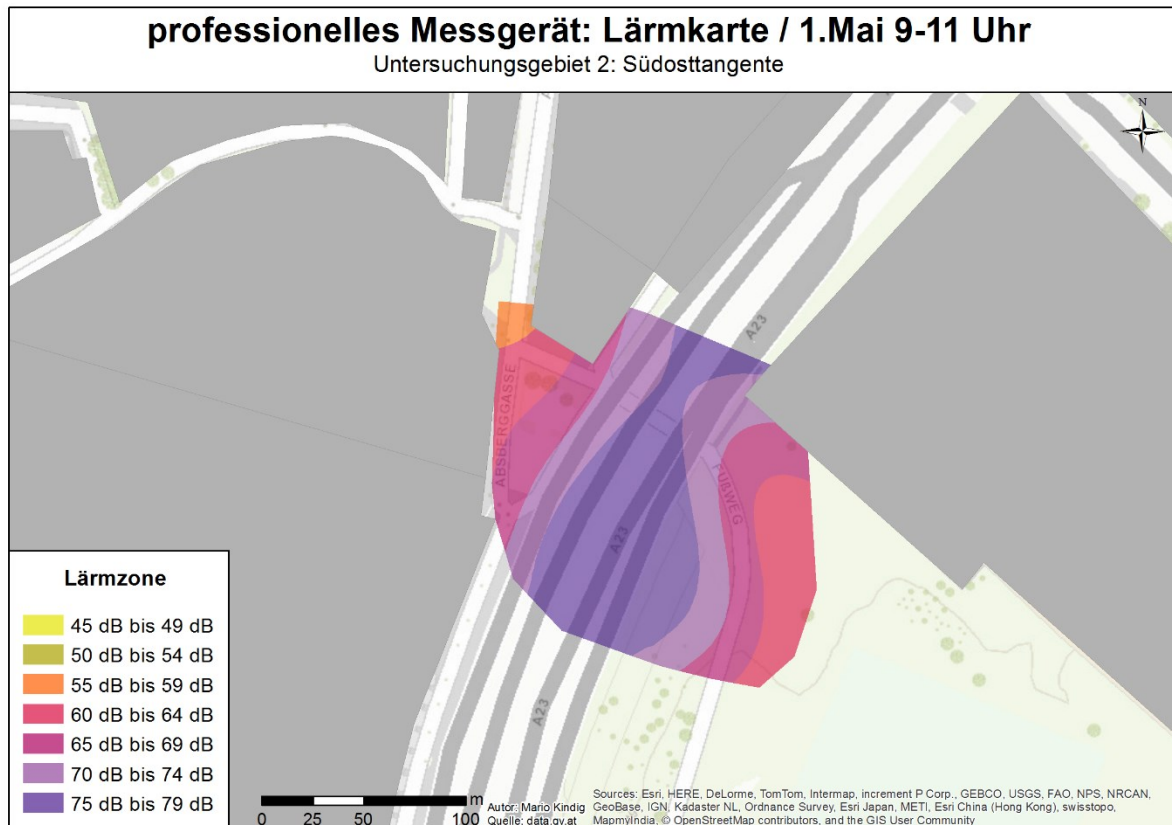


Abb. 62: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P)

Vergleicht man diese zwei erstellten Lärmkarten nun wieder mit der offiziellen berechneten Lärmkarte (LK-B), werden wieder einige Unterschiede erkennbar.



Abb. 63: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B) (Screenshot von <http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html>, Zugriff am 16.5.2014)

Bei dieser berechneten Lärmkarte (LK-B) wird das gesamte Gebiet entlang der Tangente in die höchste Lärmzone (75 dB bis 79 dB) eingeteilt. Zudem wird auch das restliche Untersuchungsgebiet zum Teil in deutlich höhere Lärmzonen eingeteilt. Es können aber auch hier wieder gewisse Ähnlichkeiten zwischen der berechneten Lärmkarte (LK-B) und jener Lärmkarte, die auf die Werte des professionellen Messgerätes basiert (LK-P), festgestellt werden. Ein Vergleich mit der Lärmkarte, die auf die Werte der Smartphone-App basiert (LK-A), ist jedoch nicht wirklich sinnvoll, da hier eindeutig zu geringe Lärmzonen ausgewiesen sind.

Auch in diesem zweiten Untersuchungsgebiet werden, wie im ersten, die zu geringen gemessenen Dezibel-Werte erkennbar gemacht. Vor allem jene der Smartphone-App weichen zum Teil deutlich von jenen des professionellen Messgerätes ab. Folglich ist auch die Karte für die Lärmverteilung und die Lärmkarte nur bedingt brauchbar und geben nur einen groben Überblick über die dortige vorherrschende Lärmverteilung. Über Aussagen, wo es laut oder leise ist, reichen aber auch diese Karten vollkommen aus. Für etwas genauere Angaben können auch die Werte des professionellen Messgerätes dienen, da die daraus gebildete Lärmkarte (LK-P) durchaus eine gewisse Ähnlichkeit mit jener offiziellen berechneten Lärmkarte (LK-B) hat. Man muss aber auch hier wieder berücksichtigen, dass es sich nur um eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Messungen handelt.

Bei diesem Untersuchungsgebiet wurde auch die Wichtigkeit von gleichmäßig verteilten Punkten bei Interpolationen klar ersichtlich, um Artefakte (wie in diesem Fall die zuvor angesprochene Ausbuchtung) zu verhindern.

6.3 Untersuchungsgebiet 3: Gaudenzdorfer Gürtel/Margaretengürtel

Die Schallpegelmessungen im dritten und letzten Untersuchungsgebiet, am Gürtel zwischen dem fünften und zwölften Wiener Gemeindebezirk, fanden ebenfalls am 1. Mai statt. Der Messzeitraum war von 15 Uhr bis 17 Uhr nachmittags. Auch zu diesem

Zeitpunkt war es sonnig und nahezu windstill und die Temperatur betrug +21 Grad Celsius.

Messpunkt_Nummer	dB_Messgerät	dB_App	Differenz
1	71,9	62,1	9,8
2	75,8	66,4	9,4
3	75,5	66,0	9,5
4	75,1	66,0	9,1
5	59,9	55,9	4,0
6	56,2	51,7	4,5
7	70,9	61,3	9,6
8	75,5	66,6	8,9
9	75,4	66,8	8,6
10	72,2	63,9	8,3
11	71,6	63,1	8,5
12	71,0	63,6	7,4
13	71,1	63,9	7,2
14	72,9	64,8	8,1
15	75,7	66,9	8,8
16	72,1	63,3	8,8
17	71,2	61,1	10,1
18	76,0	67,1	8,9
19	75,5	66,7	8,8
20	75,1	66,2	8,9
21	75,1	66,5	8,6
22	59,0	54,7	4,3
23	56,0	50,9	5,1
24	60,4	55,9	4,5
25	55,7	51,4	4,3
26	60,5	56,2	4,3
27	56,1	51,8	4,3
28	55,9	51,5	4,4
29	60,4	56,1	4,3
30	75,3	66,5	8,8
31	75,9	66,8	9,1
32	60,1	55,7	4,4
33	55,6	51,2	4,4
34	75,9	66,5	9,4
35	59,2	55,0	4,2
36	55,8	50,8	5,0
37	75,1	66,2	8,9
38	60,0	56,3	3,7
39	56,4	51,6	4,8
40	72,5	64,4	8,1
41	71,3	63,7	7,6

Messpunkt_Nummer	dB_Messgerät	dB_App	Differenz
42	71,0	62,0	9,0
43	71,4	62,6	8,8
44	75,3	65,9	9,4
45	73,0	65,2	7,8
46	75,0	66,4	8,6
47	71,1	63,2	7,9
48	69,8	60,9	8,9
			$\bar{\varnothing} = 7,3$

Tab. 10: gemessene Schallpegel mit Messgerät und Smartphone

Im dritten und letzten Untersuchungsgebiet wurden Messungen an insgesamt 48 Standorten durchgeführt. Auch hier waren, wie in den ersten beiden Untersuchungsgebieten, die Messwerte des professionellen Messgerätes zum Teil deutlich höher als jene der Smartphone-App. Auffallend ist hier jedoch, dass diese Abweichungen in den lauterer Gebieten (mehr als 65 dB) höher sind, als in den leiseren Gebieten (weniger als 65 dB). Die durchschnittliche Abweichung beträgt hier 7,3 dB (siehe Tabelle 10). Generell wurden in diesem Untersuchungsgebiet von allen Untersuchungsgebieten die höchsten Dezibel-Werte gemessen, das durch den relativ starken Verkehr am Gürtel zurückzuführen ist. Zudem wird hier der Schall von den teils relativ hohen Gebäuden reflektiert. Generell ist dieses Gebiet sehr städtisch geprägt, einzig in der Mitte entlang des Gürtels befindet sich ein Grünstreifen mit Bäumen und Sträuchern, die den Lärm hier etwas abmildern, was in den folgenden Karten auch ersichtlich wird. Niedrige Dezibel-Werte wurden lediglich in den Seitengassen gemessen.

Die folgende Karte (Abbildung 64) zeigt die gemessenen Dezibel-Wertebereiche der Smartphone-App. Hier ist erkennbar, dass beinahe im gesamten Bereich des Gürtels annähernd dieselben Dezibel-Werte gemessen wurden und diese nur geringe Schwankungen haben. Auch auf der etwas stärker befahrenen Schönbrunner Straße wurden erhöhte Werte gemessen. In den engen Seitengassen wurden erwartungsgemäß die niedrigsten Dezibel-Werte festgestellt.

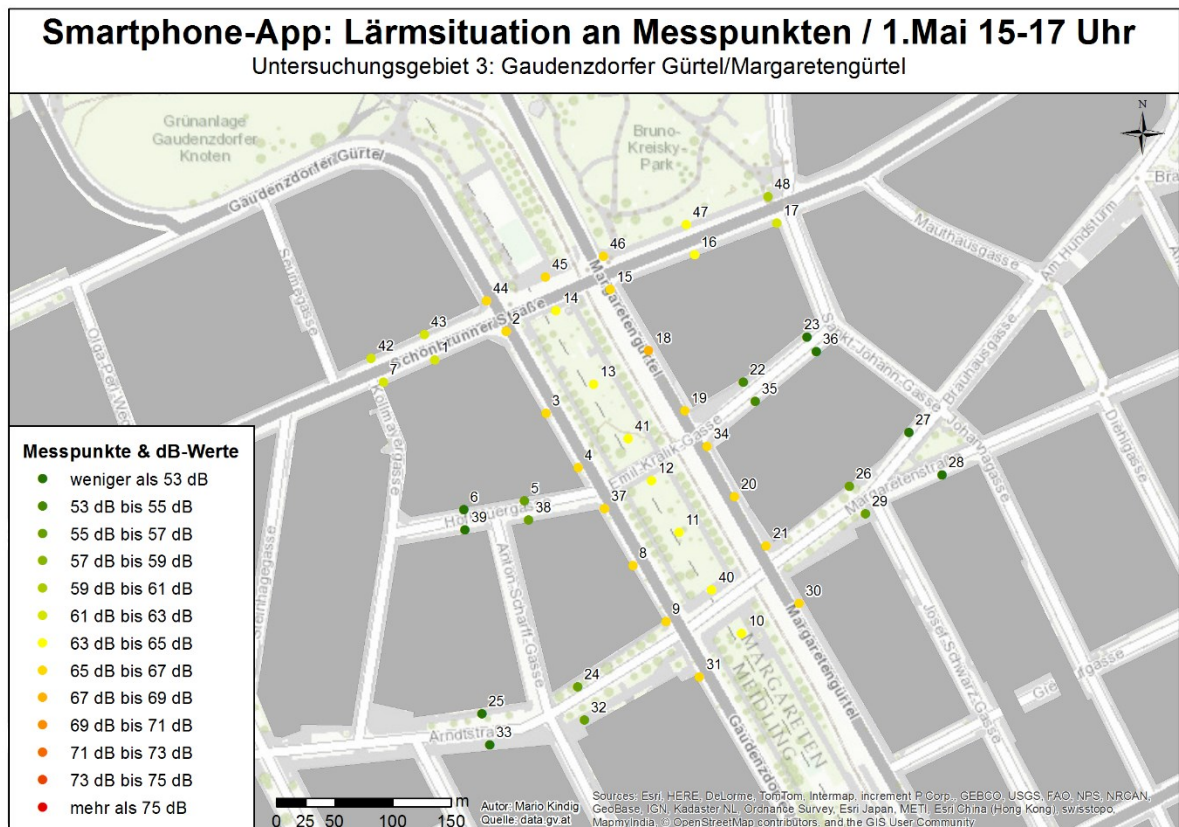


Abb. 64: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit Smartphone-App

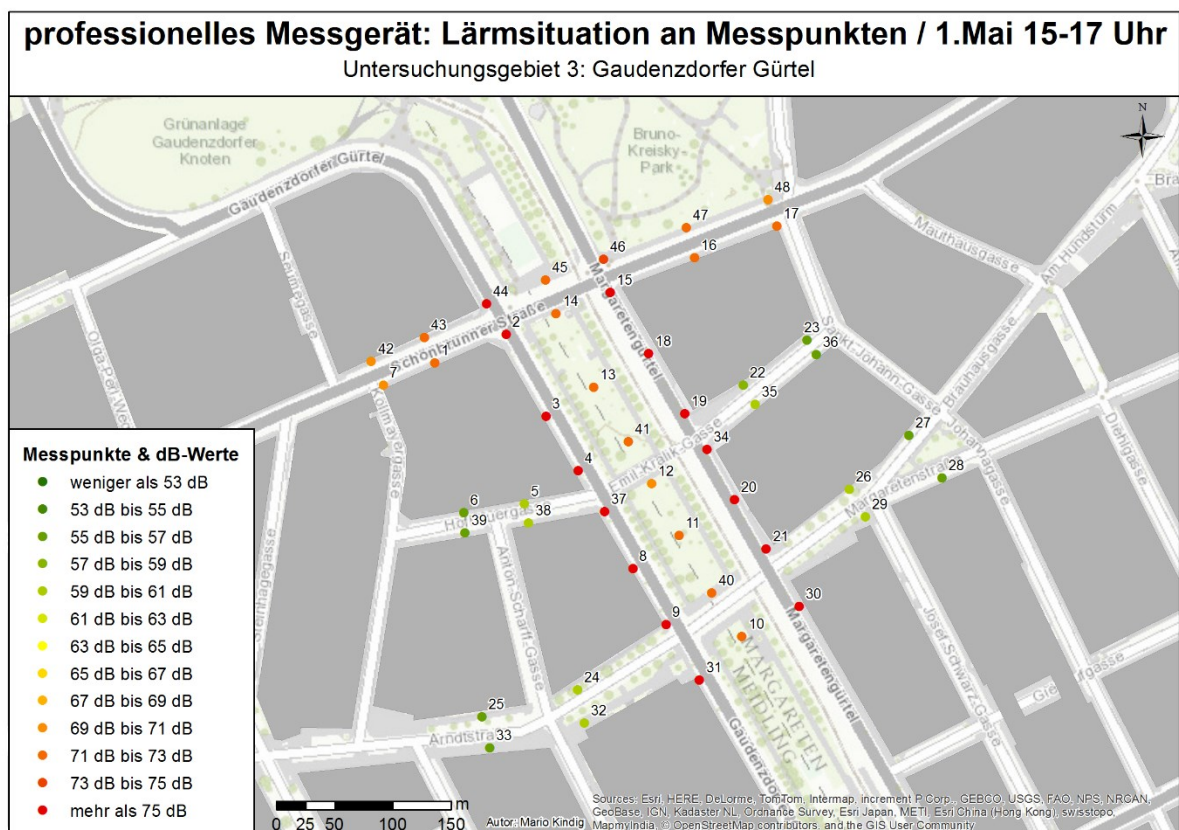


Abb. 65: Messpunkte (inkl. Nummer) & gemessene Dezibel-Werte mit professionellen Messgerät

Die Karte mit den Dezibel-Wertebereichen mittels professionellen Messgerät (Abbildung 65) ist jedoch schon etwas differenzierter. Hier kommen auch die in der Mitte des Gürtels in den Grünflächen gemessenen niedrigeren Messwerte besser zum Vorschein. Die höchsten Werte mittels professionellen Messgerät wurden direkt neben dem Gürtel entlang der Gebäude gemessen, wo es wie zuvor angesprochen zu Reflexionen der Schallwellen kommt. Diese Umstände werden folglich auch bei den folgenden Karten mit den Lärmverteilungen wieder klar erkennbar.

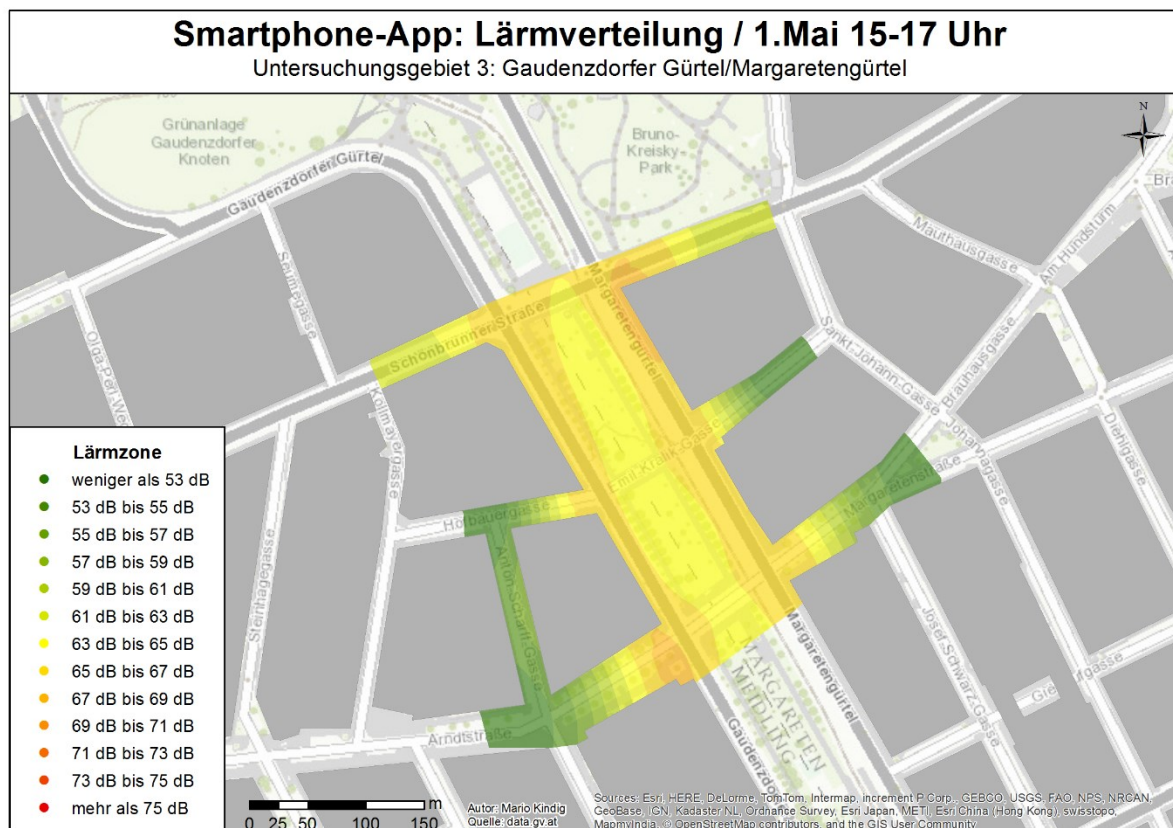


Abb. 66: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LV-A)

Bei der Lärmverteilungskarte, die auf die Messwerte der Smartphone-App basiert (LV-A), kann man schon sehr gut erkennen, dass es in den Seitengassen deutlich ruhiger ist, als direkt am Gürtel. Zudem kann man auch den, im Vergleich zum restlichen Gürtel, etwas ruhigeren Grünstreifen in der Mitte des Gürtels gut erkennen. Die höchsten Werte (orange eingefärbt) findet man entlang der Fahrspuren des Gürtels sowie in den größeren Kreuzungsbereichen. Bei dieser Lärmverteilung (LV-A) ist auch gut zu

erkennen, dass die Schönbrunner Straße etwas stärker befahren ist als die kleineren Seitengassen und somit hier auch ein etwas höherer Lärmpegel vorhanden ist.

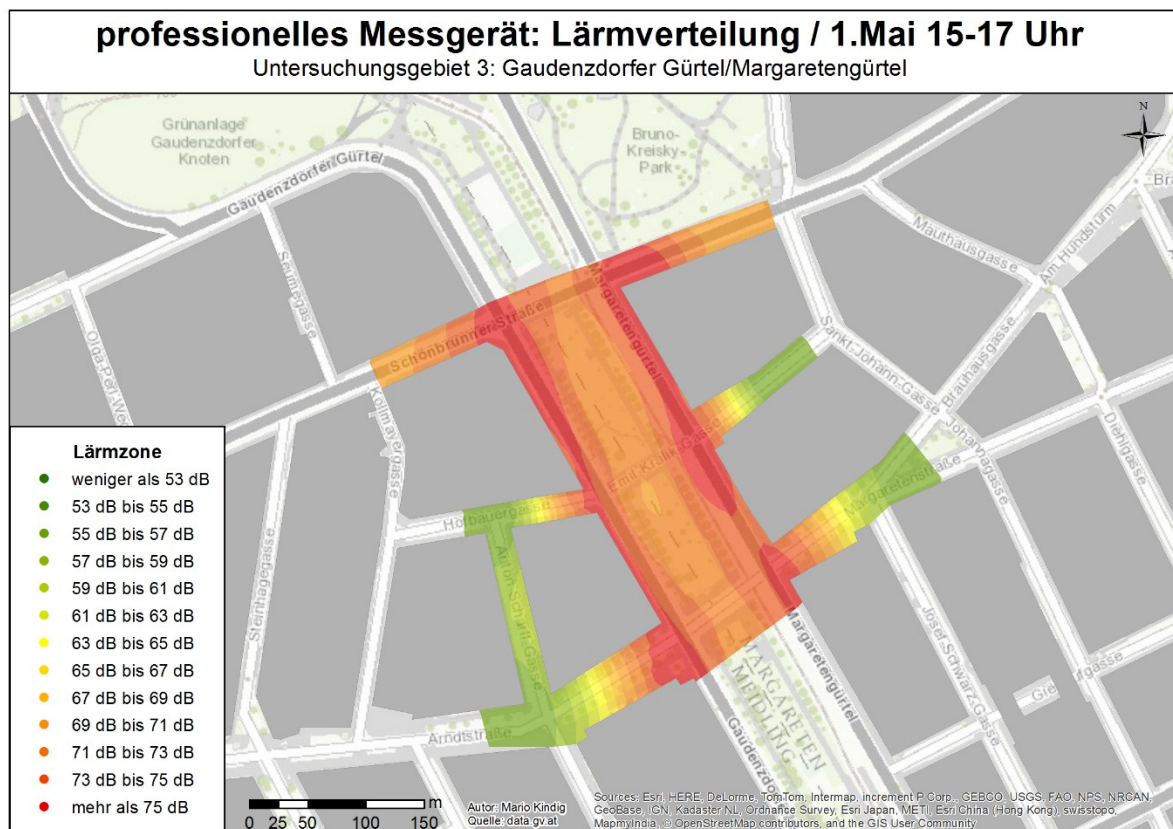


Abb. 67: Lärmverteilung auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LV-P)

Bei der Karte mit der Lärmverteilung die auf die Messwerte des professionellen Messgerätes basiert (LV-P), wird der dortige vorherrschende Lärm noch stärker angezeigt. Hier ist der erhöhte Lärm entlang der Fahrspuren am Gürtel und in den größeren Kreuzungsbereichen klar erkennbar, sowie auch die etwas ruhigere Zone in der Mitte. Bei dieser Karte (LV-P) kann man auch sehr schön den relativ rasch abnehmenden Lärm in den Seitengassen erkennen. Hier sieht man auch noch einmal die deutlich höheren gemessenen Werte im Vergleich zu jenen mit der Smartphone-App (LV-A).

Auch die Differenzkarte (DK-A-P) zeigt, wie schon zuvor in den anderen Untersuchungsgebieten, dass die Differenzen bei den gemessenen Dezibel-Werte

zwischen Smartphone-App und professionellem Messgerät in den lauten Bereichen (in diesem Fall direkt am Gürtel) am größten sind. In den ruhigeren Bereichen (vor allem in den Seitengassen) sind diese Differenzen deutlich niedriger.

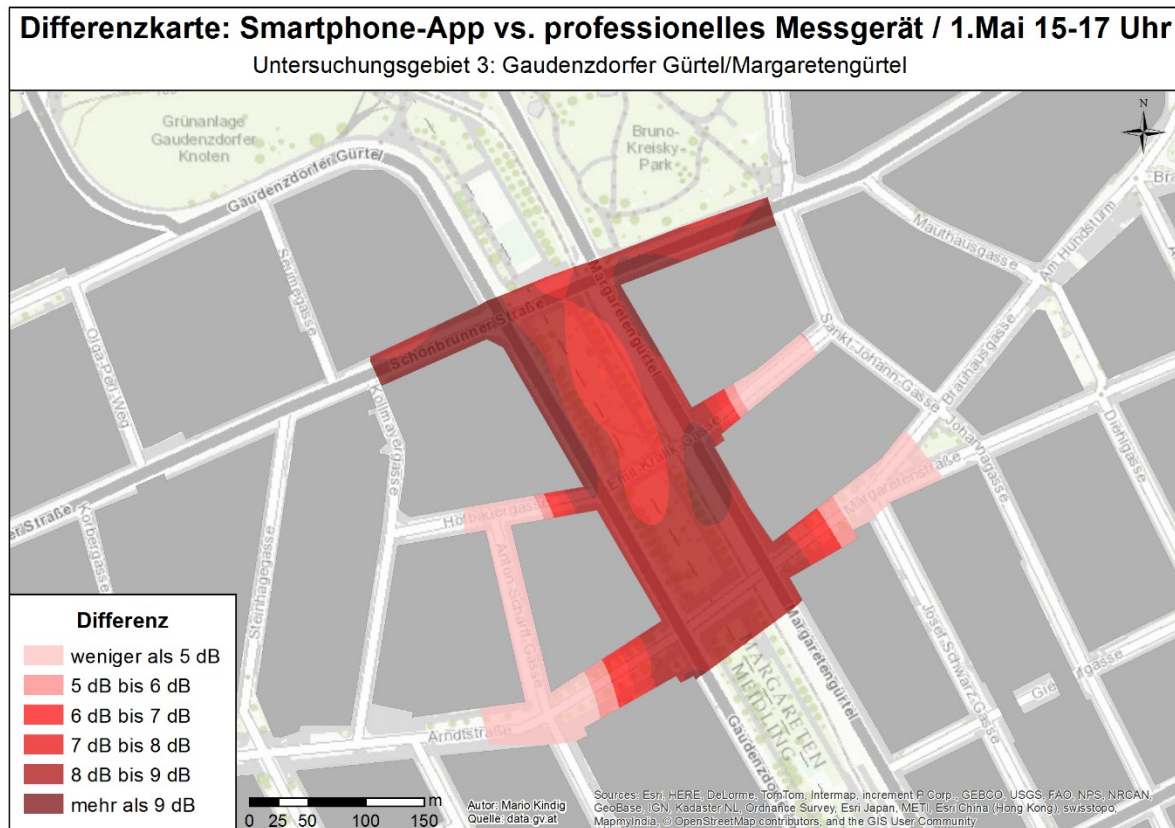


Abb. 68: Differenzkarte Smartphone-App vs. Professionelles Messgerät (DK-A-P)

Somit gibt es auch bei den folgenden selbst erstellten Lärmkarten wieder einige Unterschiede. Während die Lärmkarte mit den Messwerten der Smartphone-App (LK-A) vier verschiedene Lärmzonen ausweist, gibt es bei der Lärmkarte mit den Messwerten des professionellen Messgerätes (LK-P) fünf verschiedene vorkommende Lärmzonen. Zudem sind die ausgewiesenen Lärmzonen in der Lärmkarte mit den Messwerten der Smartphone-App (LK-A) alle mindestens um eine Zone niedriger.

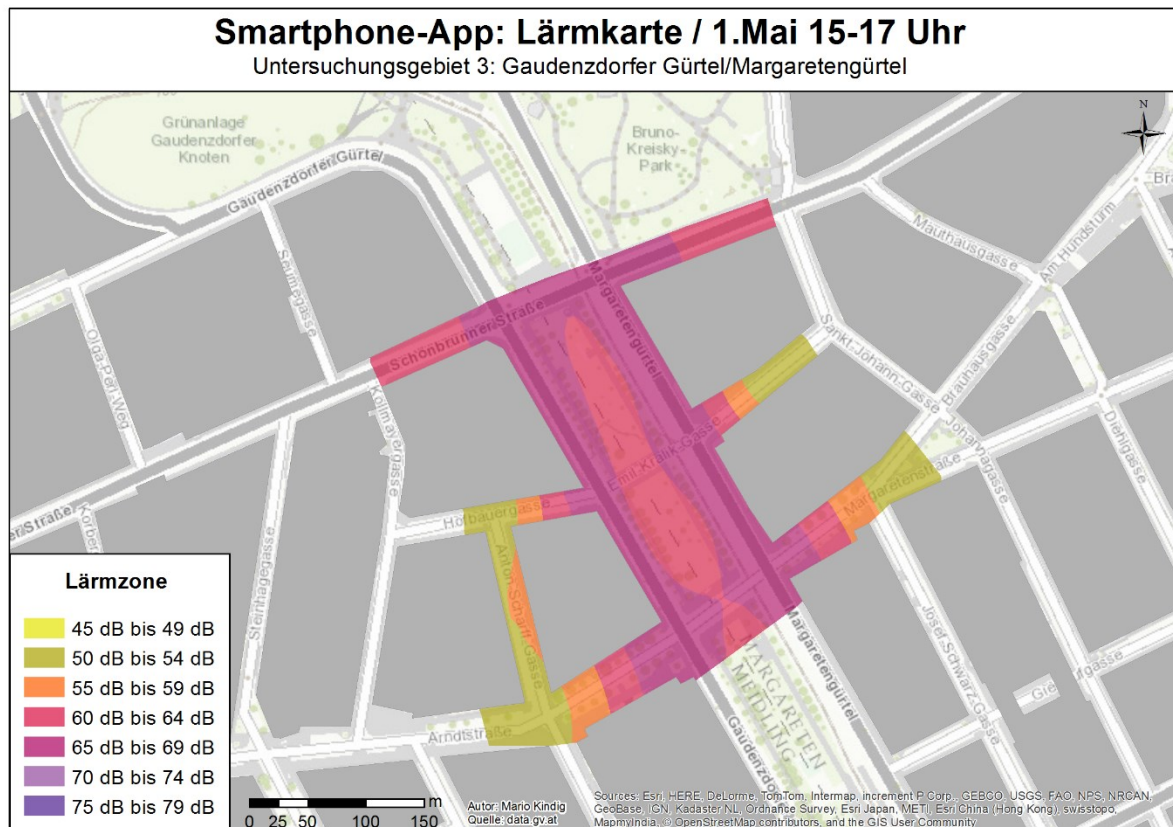


Abb. 69: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels Smartphone-App (LK-A)

Trotz allem werden bei dieser Lärmkarte (LK-A) die lauter und leiseren Zonen klar ersichtlich und auch die etwas ruhigere Zone in der Mitte des Gürtels wird extra ausgewiesen.

Bei der Lärmkarte, die auf den Messwerten des professionellen Messgerätes basiert (LK-P), ist diese ruhigere Zone ebenfalls gut erkennbar. Grundsätzlich ähneln sich beide Lärmkarten in Bezug auf die Verteilung der unterschiedlichen Lärmzonen, lediglich sind die ausgewiesenen Lärmzonen in der Lärmkarte der Messwerte des professionellen Messgerätes (LK-P) um mindestens eine Stufe höher. Beispielsweise gibt es hier keine grüne Lärmzone (50 dB bis 54 dB) mehr, dafür ist die höchste Lärmzone (75 dB bis 79 dB) in der Karte enthalten, im Vergleich zur vorherigen Karte (LK-A).

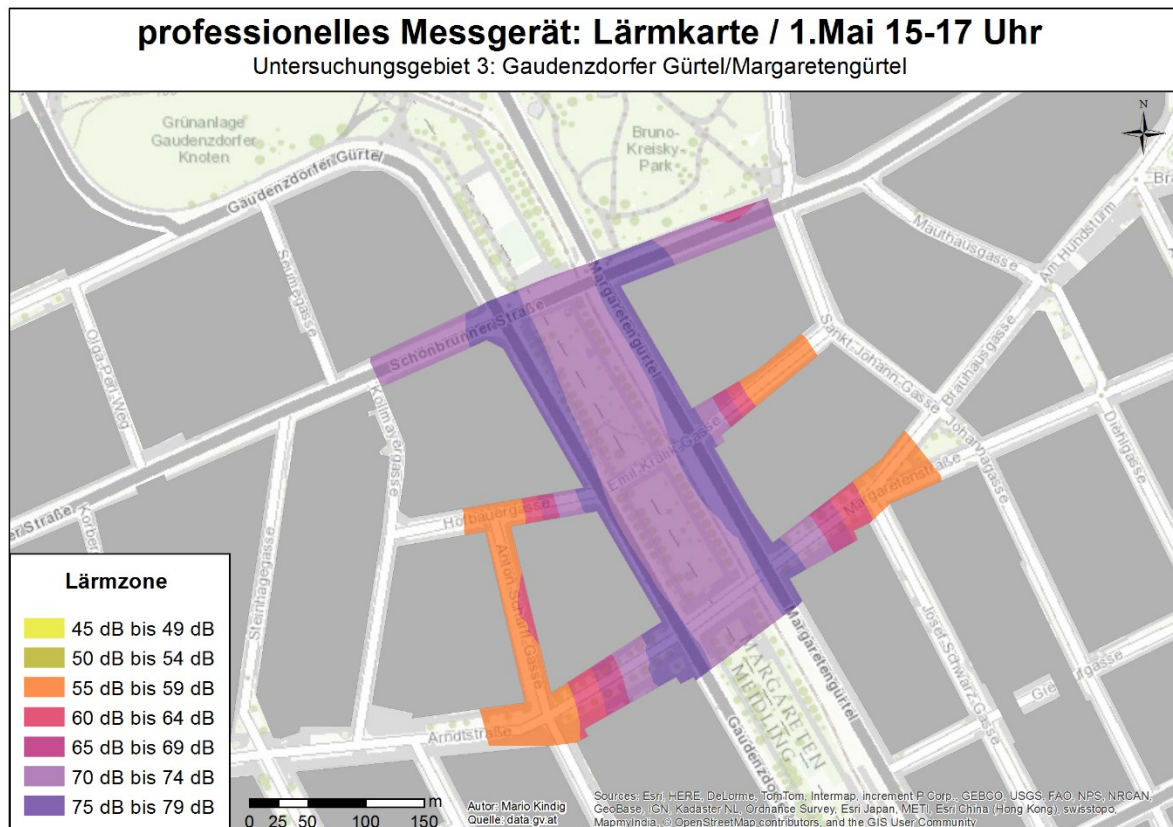


Abb. 70: Lärmkarte auf Basis der gemessenen Dezibel-Werte mittels professionellen Messgerät (LK-P)

Vergleicht man nun abschließend wieder diese zwei selbst erstellten Lärmkarten mit der offiziellen und berechneten Lärmkarte (LK-B) (siehe Abbildung 63), so kann man durchaus Ähnlichkeiten erkennen. Vor allem jene Lärmkarte, die auf die Dezibel-Werte des professionellen Messgerätes basiert (LK-P), ähnelt der berechneten Lärmkarte (LK-B). Aber auch die Lärmkarte mit den Messwerten der Smartphone-App (LK-A) hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der berechneten Lärmkarte (LK-B) in Bezug auf die Verteilung der unterschiedlichen Lärmzonen. Lediglich die schon zuvor angesprochenen zu niedrigen Messwerte und folglich auch zu niedrig ausgewiesenen Lärmzonen sind hier zwischen diesen beiden Lärmkarten unterschiedlich. Schlussendlich kann man sagen, dass für dieses Untersuchungsgebiet die selbst erstellten Lärmkarten und Lärmverteilungskarten durchaus gute Ergebnisse liefern und daher auch zufriedenstellend sind. Die Ergebnisse in diesem dritten Untersuchungsgebieten lieferten dabei, im Vergleich zu den anderen zwei Untersuchungsgebieten, die besten Resultate.



Abb. 71: offizielle (berechnete) Lärmkarte (LK-B) (Screenshot von <http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html>, Zugriff am 17.5.2014)

Betrachtet man nun die Ergebnisse zusammengefasst von allen Untersuchungsgebieten, werden die lauten und leisen Gebiete sowohl mit Hilfe der Smartphone-App, als auch mit Hilfe des professionellen Messgerätes deutlich ausgewiesen, wobei das professionelle Messgerät im Allgemeinen höhere Werte gemessen hat. Die Smartphone-App bzw. das verwendete Smartphone mit seinem Mikrofon registriert scheinbar nur in etwas „gedämpfter“ Form den Umgebungslärm und weist daher im Allgemeinen etwas niedrigerer Werte aus. Hierbei fällt jedoch auf, dass die Abweichungen der gemessenen Werte zwischen diesen beiden Messgeräten in den lauterer Bereichen der Untersuchungsgebiete größer sind, als in den leiseren Bereichen.

7. Zusammenfassung

7.1 Ergebnisse

Im Zuge dieser Masterarbeit wurde die Thematik behandelt, wie man mit relativ einfachen Mitteln mittels einer Crowdsourcing-Methode den Schall im Raum erfassen, aufbereiten und schließlich auch auf einer Karte visualisieren kann. Hierbei soll der Schall mit Hilfe eines Smartphones und einer speziellen App, die den Lärm messen kann, erfasst werden. Dabei soll auch geklärt werden, wie diese daraus erstellten Lärmkarten bezüglich ihrer Qualität zu bewerten sind.

Bei positiven Ergebnissen würden sich dabei neue Perspektiven für die Zukunft ergeben, wie beispielsweise ein Crowdsourcing-Ansatz, bei dem freiwillige Akteure mit ihren Smartphones den Umgebungslärm messen und diese Messdaten beispielsweise entweder gesammelt werden um sie später auf einer Karte visualisieren zu können, oder man mit diesen erhobenen Messdaten gleich selbst eine eigene Lärmkarte erstellt und diese fertigen Lärmkarten dann weitergeben, gesammelt und veröffentlicht werden. Bei einer großen Anzahl an freiwilligen Akteuren könnten auf diesen Weg viele Messdaten oder selbst erstellte Lärmkarten gesammelt werden, die ansonsten nur mit teuren Messungen zu bewerkstelligen wären.

Infolgedessen wurde versucht, im Rahmen dieser Masterarbeit folgende Forschungsfragen zu beantworten:

1. Welche Methode bietet sich an, um Lärmkarten zu erstellen, die auf tatsächlich durchgeführte Messungen basieren und nicht auf Berechnungen?
2. Eignen sich Smartphone-Apps zur Schallpegelmessung im Vergleich zu professionellen Schallpegelmessgeräten?
3. Sind Smartphone-Apps im Bereich Lärmkartierung eine sinnvolle Alternative?

1. Welche Methode bietet sich an, um Lärmkarten zu erstellen, die auf tatsächlich durchgeführte Messungen basieren und nicht auf Berechnungen?

Schallpegelmessungen sind heutzutage dank moderner Technologien, insbesondere der Smartphones, schon sehr einfach und unkompliziert durchzuführen. Es gibt eine Vielzahl von Smartphone-Apps, die es möglich machen, den Umgebungslärm zu messen und anzeigen zu lassen. Hierbei muss jedoch darauf geachtet werden, welche Qualität diese Messwerte haben, da nicht alle angebotenen Apps dieselbe Qualität haben. Im Zuge intensiver Recherchen und Rezensionen erwies sich die Smartphone-App „Noise Meter“ in der Version 2.4 als die beste und zuverlässigste App am Markt. Sie wurde deshalb auch für die Untersuchungen in dieser Masterarbeit für die Schallpegelmessungen ausgewählt. Um aber auch einen späteren Vergleich dieser Messwerte mit jene Messwerten eines professionellen Schallpegelmessgerätes durchzuführen, um die Qualität beurteilen zu können, wurde neben dieser Smartphone-App noch zusätzlich ein professionelles Messgerät für die Untersuchungen herangezogen. So sollen mögliche Unterschiede zwischen den Messwerten und folglich auch zwischen den erstellten Lärmkarten aufgezeigt und beurteilt werden.

Bei Schallpegelmessungen ist neben der Auswahl der Messgeräte auch die Wahl einer Messmethode sehr wichtig und diese sollte für spätere Vergleiche immer gleich bleiben. Im Zuge dieser Arbeit wurden die Messungen an den ausgewählten, möglichst gleichverteilten Messpunkten in den Untersuchungsgebieten jeweils immer eine Minute lang durchgeführt, um einen Mittelwert der schwankenden Pegel für diesen Messzeitraum zu ermitteln. Die Entscheidung für die Messdauer von einer Minute beruht darauf, da sowohl die Smartphone-App, als auch das professionelle Messgerät, den energieäquivalenten Dauerschallpegel, der die auftretenden und schwankenden Pegel im jeweiligen Messzeitraum mittelt, für den Zeitraum von einer Minute berechnen können. Zudem wird für Schallpegelmessungen meist der energieäquivalente Dauerschallpegel herangezogen. Bei Schallpegelmessungen spielt zudem auch die Wetterlage eine besondere Rolle. So sollten Messungen nur bei guter

Wetterlage, sprich kein Regen oder Schnee und kein bzw. nur schwacher Wind, stattfinden, da sonst die Messergebnisse verfälscht werden.

Hat man die Messungen an den jeweiligen Standorten durchgeführt, gibt es die Möglichkeit, diese Messpunkte mittels „ArcGIS“ zu digitalisieren und die dazugehörigen erhobenen Messwerte als Attributdaten einzutragen. Um die Lärmverteilung in einem Untersuchungsgebiet anschaulich darzustellen, erweist sich neben der punktuellen Darstellung auch eine flächenhafte Darstellung als sinnvoll. Hierbei bieten sich räumliche Interpolationen an, die in „ArcGIS“ relativ leicht und unkompliziert zu erstellen sind. Da es aber eine Vielzahl von unterschiedlichen Interpolationsverfahren gibt, die alle unterschiedliche Eigenschaften und Berechnungsmethoden aufweisen, muss an dieser Stelle zunächst noch geklärt werden, welches Verfahren für am geeignetsten erscheint und somit auch die besten Ergebnisse liefert, die auch die tatsächliche Realität so gut es geht widerspiegelt. Im Zuge von Voruntersuchungen und Testläufen erwies sich die „Spline“-Interpolation als diejenige mit den nachvollziehbarsten und besten Ergebnissen. Sie produzierte zum Beispiel deutlich ästhetischere Ergebnisse, als die Interpolation mittels IDW.

Wurden diese räumlichen Interpolationen durchgeführt, kann man Wertebereiche definieren und zusätzlich noch einen geeigneten Farbverlauf, abhängig von den Messwertbereichen, erstellen um die Lärmverteilung anschaulich zu präsentieren und folglich laute und leise Gebiete auszuweisen. Zusätzlich bietet „ArcGIS“ noch die Möglichkeit, weitere Kartenelemente wie beispielsweise eine Legende, Maßstab, Kartenrand, etc. einzufügen. Sind alle diese Arbeitsschritte erledigt, hat man als Resultat schlussendlich eine selbst erstellte Lärmkarte, die einerseits auf selbst durchgeführte Lärmmessungen basiert und andererseits mittels der Software „ArcGIS“ umgesetzt wurde. Man muss an dieser Stelle jedoch immer betonen, dass es sich bei den Lärmmessungen nur um eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Messungen handelt und es selbstverständlich zu zeitlichen Schwankungen des Lärms kommen kann, insbesondere wenn der Straßenverkehr zu- oder abnimmt.

2. Eignen sich Smartphone-Apps zur Schallpegelmessung im Vergleich zu professionellen Schallpegelmessgeräten?

Im Zuge der Untersuchungen in dieser Arbeit wurde aber neben der Erstellung von Lärmkarten auch die Qualität der Ergebnisse der selbst gemessenen Schallpegelwerte mittels Smartphone-App beurteilt. Hierbei hat sich gezeigt, dass in allen drei Untersuchungsgebieten die gemessenen Schallpegel mittels Smartphone-App deutlich niedriger waren (ca. 7 dB bis 8 dB niedriger), im Vergleich zu den gemessenen Messwerten mittels einem professionellen Schallpegelmessgerät. Dabei waren diese Differenzen bei den Messwerten in den lauterer Bereichen in den Untersuchungsgebieten deutlich höher, als in den etwas ruhigeren Bereichen. An dieser Stelle muss man jedoch betonen, dass die Messwerte mittels Smartphone-App auch von der verwendeten Hardware, insbesondere des Mikrofons des Smartphones, abhängig sind und es so auch zu Schwankungen dieser Messwerte zwischen verschiedenen Smartphones kommen kann. Aufgrund der unterschiedlichen gemessenen Schallpegel zwischen dem professionellen Messgerät und der Smartphone-App unterscheiden sich auch die darauf aufbauenden Lärmkarten. So weisen die erstellten Lärmkarten, die auf die Messwerte der Smartphone-App basieren, im Allgemeinen zu niedrige Lärmzonen auf. Dies wird vor allem dann ersichtlich, wenn man die selbst erstellten Lärmkarten mit der offiziellen Lärmkarte, die auf Berechnungen basiert, auf „www.lärminfo.at“ vergleicht. Die Lärmkarten, die auf die Messwerte des professionellen Messgerätes basieren, haben in Bezug auf die ausgewiesenen Lärmzonen hingegen durchaus eine Ähnlichkeit mit den berechneten Lärmkarten. Trotz der Unterschiede hinsichtlich der Lärmzonen, zeigen aber auch die Lärmkarten, die auf die Messwerte der Smartphone-App basieren, relativ gut und anschaulich die Verteilung der lauten und leisen Gebiete. Da aber die Messwerte der Smartphone-App teilweise doch deutlich geringer sind als jene Messwerte des professionellen Messgerätes, dienen Smartphone-Apps zurzeit wohl eher noch rein als Überblick und ersten Anhaltspunkt über den vorherrschenden Umgebungslärm. Genauere Aussagen über den Umgebungslärm werden erst durch die Messwerte von professionellen Messgeräten möglich. Wichtige Faktoren für gute Ergebnisse bei den

Messungen sind jedenfalls gute Wetterlage (kein Regen/Schnee, kein oder nur schwacher Wind), die Auswahl eines guten, modernen und zuverlässigen Smartphones und dazugehöriger Lärmmessungs-App, eine geeignete Messmethode, die Auswahl eines geeigneten räumlichen Interpolationsverfahrens und die richtige Klassenbildung der Messwerte bei der Visualisierung der Ergebnisse.

3. Sind Smartphone-Apps im Bereich Lärmkartierung eine sinnvolle Alternative?

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass man durchaus die Ergebnisse der Messungen mittels Smartphone für einen groben Überblick der Verteilung des Umgebungslärms verwenden kann. Jedoch sind diese Messwerte auch abhängig vom verwendeten Smartphone, was bei einer größeren Anzahl von freiwilligen Akteuren mit unterschiedlichen Smartphones bedeutet, dass Messwerte unterschiedlichster Qualität gesammelt werden und folglich Vergleiche kaum zulässig wären. Ein weiteres Problem ist die Tatsache, dass die Messungen immer aktiv vom Akteur durchzuführen sind, da passive Messungen (beispielsweise misst das Smartphone ununterbrochen den Umgebungslärm) sicherlich verfälschte Ergebnisse liefern würde. Zum Beispiel wenn man ein Smartphone in der Hosentasche hat und den Lärm misst, erhält man vermutlich andere Messwerte als wenn man das Smartphone in der Hand hält, da hier die Schallwellen ungestört auf das Mikrofon treffen können. Ein weiteres Problem entsteht bei der richtigen Verortung der Messwerte. Die Akteure müssten so immer GPS am Smartphone eingeschaltet haben, damit die Messwerte korrekt verortet werden. Dies wiederum würde zu verringerten Akkuleistungen führen und somit im Desinteresse der jeweiligen Akteure liegen. Schlussendlich muss man sagen, dass es wohl auch in Zukunft sinnvoller ist, Lärmkarten zu erstellen, die auf Berechnungen basieren, da es bei Lärmmessungen mit Smartphones zu viele Faktoren zu berücksichtigen gibt, die insgesamt nur sehr schwer zu bewerkstelligen sind. Jedoch können selbst erhobene Messdaten und selbst erstellte Lärmkarten durchaus als Anhaltspunkte verwendet werden und den Umgebungslärm in einem bestimmten Gebiet überblickshalber darstellen. So hätte man zusätzlich noch eine zweite Referenz,

nämlich neben einer berechneten Lärmkarte auch eine, die auf tatsächlich durchgeführte Messungen beruht. Generell sollte man dieses Thema jedoch nicht komplett abhaken, da hier sicher noch einiges an Forschungsbedarf nötig ist und sicher auch noch einiges an Potenzial versteckt ist. Vor allem hinsichtlich der Technik neuer Smartphones besteht hier noch enormes Entwicklungspotenzial, vor allem dann, wenn die eingebauten Mikrofone ähnlich gute Eigenschaften haben, wie jene Mikrofone in den professionellen Schallpegelmessgeräten. Wenn man in Zukunft die zuvor angeführten (technischen) Problemstellungen lösen kann, könnte eine Crowdsourcing-Methode im Bereich Lärmkartierung aber durchaus Sinn machen. Man müsste hierfür lediglich eine Plattform erstellen, wo die Akteure ihre selbst gemessenen Werte abspeichern können und wo diese gesammelten Daten anschließend voll automatisch weiter bearbeitet, verortet, interpoliert und visualisiert werden.

8. Literatur

BACK A., GRONAU N. und TOCHTERMANN K. (2012³): Web 2.0 und Social Media in der Unternehmenspraxis. Grundlagen, Anwendungen und Methoden mit zahlreichen Fallstudien. - München.

BRÜEL und Kjær (Hrsg.) (2000): Umweltlärm. - o.O.

DANIEL H. (1997): Physik 1. Mechanik – Wellen – Wärme. - Berlin.

DICKREITER M., DITTEL V., HOEG W. und WÖHR M. (2008⁷): Handbuch der Tonstudioteknik. - München. (=Band 1).

DOBRINSKI P., KRAKAU G. und VOGEL A. (2010¹²): Physik für Ingenieure. - Wiesbaden.

EISENHARDT T. (2008): Mensch und Umwelt. Die Wirkungen der Umwelt auf den Menschen. - Frankfurt am Main.

FIGURA L. (2004): Lebensmittelphysik. Physikalische Kenngrößen – Messung und Anwendung. - Berlin u.a.

GASSNER E., WINKELBRANDT A. und BERNOTAT D. (2010⁵): UVP. Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltverträglichkeitsprüfung. - München u.a.

GIANCOLI D. (2010³): Physik. Lehr- und Übungsbuch. - München.

GÜNTHER B., HANSEN K. und VEIT I. (2008⁸): Technische Akustik – Ausgewählte Kapitel. Grundlagen, aktuelle Probleme und Messtechnik. - Renningen.

HAKE G., GRÜNREICH D. und MENG L. (2002⁸): Kartographie. – Berlin und New York.

HELLBRÜCK J. und FISCHER M. (1999): Umweltpsychologie. Ein Lehrbuch. - Göttingen u.a.

HETTLER U. (2010): Social Media Marketing. Marketing mit Blogs, Sozialen Netzwerken und weiteren Anwendungen des Web 2.0. - München.

KIPPENHAHN K. (2011): Ich glaub', ich hör' nicht recht. Schwerhörigkeit, Tinnitus & Co. - Stuttgart.

KLOEPFER M., GRIEFAHN B., KANIOWSKI A.M., KLEPPER G., LINGNER S., STEINEBACH G., WEYER H.B. und WYSK P. (2006): Leben mit Lärm?. Risikobeurteilung und Regulation des Umgebungslärms im Verkehrsbereich. - Berlin u.a.
(=Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung Band 28).

KUTTRUFF H. (2007): Acoustics. An Introduction. - Abingdon.

KUYPERS F. (2012³): Physik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. - Weinheim.
(=Band 2).

Lebensministerium (Hrsg.) (2009²): Handbuch Umgebungslärm. Minderung und Ruhevorsorge. - Wien.

LANG J. (1994): Umweltinformation Lärm: Technischer Teil. - Wien.

LEIMEISTER J. und ZOGAJ S. (2013): Arbeitspapier 287. Neue Arbeitsorganisation durch Crowdsourcing. - Düsseldorf.

LOHMEYER G., BERGMANN H. und POST M. (2005⁵): Praktische Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen. - Wiesbaden.

MEERWEIN G., RODECK B. und MAHNKE F.H. (2007⁴): Farbe - Kommunikation im Raum. - Basel u.a.

ÖAL-Richtlinie Nr. 36 Blatt 2 (2009): Erstellung von Lärmkarten und Konfliktzonenplänen und Planung von Lärminderungsmaßnahmen. Anforderungen an die Lärmkartierung im Anwendungsbereich der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG. - Wien.

PAPSDORF C. (2009): Wie Surfen zur Arbeit wird. Crowdsourcing im Web 2.0. - Frankfurt/Main.

PELZER C., WENZLAFF K. und EISFELD-RESCHKE J. (2012): Crowdsourcing Report 2012. Neue Digitale Arbeitswelten. - Berlin.

PFLEGER S., (2010): Aus dem Physiksaal. Grundlagen und Experimente der klassischen Schulphysik. – Norderstedt.

RIHA A. (2011): Ein Vergleich räumlicher Interpolationsmethoden für Grundstückspreise im Bauland. – Masterthesis, Universität Salzburg, Salzburg.

RVS 04.02.11 der Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (2006): Lärmschutz. – Wien.

SCHARLACH H. (2002): Lärmkarten – Kartographische Grundlagen und audiovisuelle Realisierung. – Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Bochum.

SCHMIDT F. und SCHAIBLE H.-G. (Hrsg.) (2006⁵): Neuro- und Sinnesphysiologie. - Heidelberg.

STEINEBACH G., GUHATHAKURTA S. und HAGEN H. (2009): Visualizing Sustainable Planning. - Berlin und Heidelberg.

Umgebungslärmrichtlinie des europäischen Parlaments und des Rates (2002): Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. - o.O.

WEINZIERL S. (2008): Handbuch der Audiotechnik. - Berlin und Heidelberg.

WERNER T. und MALANOWSKI N. (2011): Crowdsourcing. Kurzstudie. - Düsseldorf.

Internetquellen:

www.laerminfo.at (Zugriff am 6.3.2014)

www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/laerm/umgebungs-laerm/laermkarten/ (Zugriff am 6.3.2014)

www.t3n.de/magazin/mobile-crowdsourcing-schwarmintelligenz-handynutzer-229492/ (Zugriff am 15.3.2014)

http://www.kommune21.de/meldung_14187 (Zugriff am 15.3.2014)

<http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000078000000/> (Zugriff am 9.5.2014)

<http://www.laerminfo.at/karten/strassenverkehr/strasse/24h.html> (Zugriff am 21.5.2014)

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Mario Kindig

Nationalität: Österreich

Ausbildung

2012 – 2014: Master-Studium „Kartographie & Geoinformation“ an der Universität Wien

2008 – 2011: Bachelor-Studium „Geographie & Regionalforschung“ an der Universität Wien
Abschluss: Bachelor of Arts

2007 – 2008: Bachelor-Studium „Bauingenieurwesen & Baumanagement“ an der FH Campus Wien

1998 – 2006: Bundesrealgymnasium 14 Linzerstrasse
Abschluss: Matura

1994 – 1998: Volksschule Haebergasse

Beruflicher Werdegang

Feb. 2013 – laufend: Teilzeitbeschäftigung als GIS-Fachpraktikant im GIS-Management bei Firma UPC Austria

Juli 2011 – Aug. 2011: Praktikum bei der Wiener Gebietsbetreuung 14. & 15. Bezirk

Juli 2006 – Jan. 2007: Präsenzdienst beim Bundesheer

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, 2014

Datum

Unterschrift