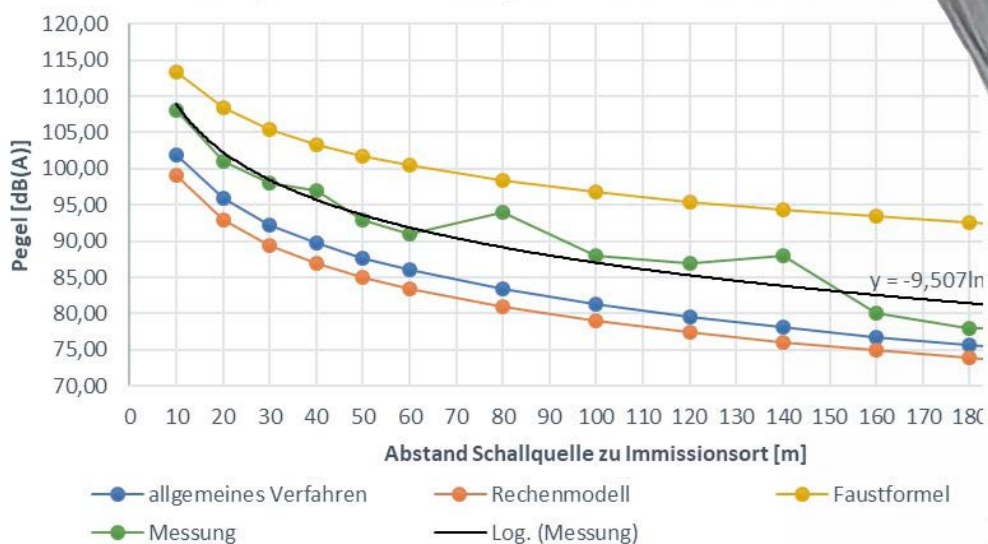




Warnung über Smarte Laternen

Technisch-wissenschaftliche Evaluation von Probemeldungen

Vergleich Messung mit Rechenmodellen



Warnung über Smarte Laternen

Technisch-wissenschaftliche Evaluation von Probemeldungen

Bericht

**zur technisch-wissenschaftlichen Evaluation eines auditiven Warnmittels
über „Smarte Laternen“ in Kaiserslautern**



Autor: Prof. Dr. Wolfgang Render
unter Mitarbeit von Alexander Welker und Feriha Acar

Bildquelle: Hochschule Kaiserslautern / BBK

Bericht 3 von 3
Stand: März 2022

Vorwort BBK

Großbrände, Unglücke in der Industrie oder schwere Stürme – derartige Ereignisse können unmittelbar Gefahren für die Menschen bedeuten. In einem von der EU zu 75 % kofinanzierten Projekt „Warnung der Bevölkerung“ werden gemeinsam mit Bund und Ländern Ideen sowie Vorhaben entwickelt und umgesetzt. Im Vordergrund stehen Überlegungen, wie Menschen in Deutschland vor Gefahren noch besser informiert und effektiver gewarnt werden können. Um die rechtzeitige Warnung vor derartigen Ereignissen sicher zu stellen, erprobten das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), das Innenministerium des Landes Rheinland-Pfalz und die Stadt Kaiserslautern in einem Pilotprojekt sogenannte „Smarte Laternen“ als ein neues Warnmittel.

Das Pilotprojekt ist Teil dieses von der EU geförderten Bund-Länder-Projektes. Weitere Beteiligte sind die Integrierte Leitstelle Kaiserslautern als auslösende Stelle, das Referat Tiefbau der Stadt Kaiserslautern als Eigentümerin der Laternen, die städtische Digitalisierungsgesellschaft KL.digital GmbH, als Verantwortliche für die technische Umsetzung sowie der Sirenenhersteller Helin. Die Evaluierungen wurden begleitet von der Hochschule Kaiserslautern und Team HF-Human Factors Forschung Beratung Training.

Smarte Laternen sind Straßenlaternen, die durch an die Laternen angebrachte Techniken weitere Funktionen aufweisen. Das können zum Beispiel Internethotspots sein, an die Laternen montierte Displays, die freie Parkplätze in der Umgebung anzeigen oder Lautsprecher für die Bekanntgabe von Informationen. Im Stadtgebiet von Kaiserslautern wurden vier bestehende Straßenlaternen mit einem modifiziertem Warntechnikgerät, bestehend aus einer kleinen Sirene mit integriertem Lautsprecher, ausgestattet und getestet. Dadurch sind diese Laternen als Warnmittel in der Lage, bei einer Gefahr Sirenensignale auszugeben und darüber hinaus in Form einer Lautsprecherdurchsage Handlungsempfehlungen zu verbreiten. Hintergrund ist die Idee, die Bevölkerungswarnung in Gegenden verbessern zu können, in denen keine Sirenen vorhanden sind oder in denen beispielsweise auf Grund innerstädtischer Lärmverordnungen keine klassischen Sirenen aufgestellt werden können.

Um ein ganzheitliches Bild davon zu gewinnen, wie effektiv die Warnung der Bevölkerung mittels einer Smarten Laterne ist, wurde die Wirksamkeit des Warnmittels evaluiert. Hierfür wurde die Warneffektivität sowohl hinsichtlich ihrer technischen als auch ihrer sozialwissenschaftlichen Wirksamkeit bewertet. Die Erfahrungen mit den neuen Laternen wurden unter anderem mittels einer Befragung und einer Bevölkerungsbeobachtung ausgewertet.

Die umfangreichen Ergebnisse mit unterschiedlichen Aspekten sind in drei Publikationen veröffentlicht. Die vorliegende Publikation (Bericht 3 von 3) betrachtet den technisch - wissenschaftlichen Aspekt, welcher von der Hochschule Kaiserslautern erarbeitet wurde.

Weitere Berichte des Pilotprojektes Warnung über Smarte Laternen sind in den nachfolgenden Publikationen enthalten:

Bericht 1 von 3: Erprobung eines akustischen Warnmittels mit Sprachausgabe in Kaiserslautern

Bericht 2 von 3: Sozialwissenschaftliche Evaluation von Probemeldungen

Informationen zum Projekt „Smarte Laternen Rheinland-Pfalz/Kaiserslautern“ finden Sie unter:

www.kaiserslautern.de

Weitere Informationen zum Thema Warnung der Bevölkerung erhalten Sie auf der Webseite des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK):

<https://www.bbk.bund.de>

und auf der Projektwebsite des ISF Bund-Länder-Projektes „Warnung der Bevölkerung“:

<https://warnung-der-bevoelkerung.de>

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	i
Tabellenverzeichnis	iii
1. Forschungsprojekt in Kaiserslautern.....	1
1.1. Warn- und Informationstechniken	1
1.1.1. Aufgaben & Gründe für Warnmittel.....	1
1.1.2. Smarte Laternen.....	2
1.2. Forschungsprojekt in Kaiserslautern	3
1.3. Analyse der Bebauung in Kaiserslautern.....	4
1.3.1. Baunutzungsverordnung	4
1.3.2. Stadtgebiet Kaiserslautern	6
1.3.3. Stadtteil Innenstadt Nord/Kaisersberg	6
1.3.4. Stadtteil Innenstadt Ost	11
1.3.5. Stadtteil Innenstadt Südwest	15
1.3.6. Ergebnisse im Stadtgebiet Innenstadt West/Kotten	19
1.3.7. Ergebnisse im Stadtgebiet Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung	21
1.3.8. Ergebnisse im Stadtgebiet Betzenberg.....	24
1.3.9. Ergebnisse im Stadtgebiet Grübentälchen/Volkspark	27
1.3.10. Ergebnisse im Stadtgebiet Kaiserslautern West.....	30
1.3.11. Ergebnisse im Stadtgebiet Lämmchensberg/Universitätswohnstadt	33
2. Ergebnis Analyse der Bebauung in Kaiserslautern	36
2.1. Übersicht zu den Stadtteilen.....	36
2.2. Standortempfehlung für Warnmittel	37
3. Physikalische Grundlagen der Schallausbreitung	38
3.1. Erläuterungen "Schall"	38
3.2. Schallquellen.....	38
3.3. Medium	39
3.4. Schallwellenarten	39
3.5. Schallgeschwindigkeit.....	40
3.6. Frequenz.....	40
3.7. Schalldruckpegel.....	40
3.8. Hören – Wahrnehmung und Wirkung	42
3.9. Dämpfung des Schalls	44
4. Schallausbreitung im Freien	45
4.1. Regelwerk Schall	45
4.2. Norm DIN ISO 9613-2.....	47
4.3. Berechnungsmodell nach Norm DIN ISO 9613-2	49

4.3.1.	Grundlegende Formeln der DIN ISO 9613-2	49
4.3.2.	Dämpfungsfaktoren der DIN ISO 9613-2	50
4.4.	Vereinfachtes Berechnungsmodell	54
4.5.	Strahlermodell	54
4.6.	Berechnungsmodell „Faustformel“	55
4.7.	Auswahl Rechenmodelle für das Forschungsprojekt.....	56
4.7.1.	Rechenmodell nach DIN ISO 9613-2	56
4.7.2.	Anwendbarkeit der Rechenmodelle/Faustformel	57
4.7.3.	Schlussfolgerung und Perspektive	57
5.	Schalltechnische Messungen der Pretests.....	58
5.1.	Messkonzept der Pretests	58
5.2.	Rahmenbedingungen des Pretests.....	63
5.2.1.	Witterungsbedingungen.....	63
5.2.2.	Schallquelle und Messinstrumente.....	64
5.2.3.	Warnmittelaufbau beim Pretest	65
5.3.	Messdaten.....	66
5.3.1.	Grundgeräuschpegel.....	66
5.3.2.	Warnung mit Martinshorn.....	67
5.3.3.	Warnung mit dem Dauerton.....	68
5.3.4.	Ausgabe der Sprachdurchsage	69
5.4.	Beurteilung der Messungen der Pretests.....	70
5.5.	Auswertung der Rechenmodelle	74
5.5.1.	Erläuterungen zu den Rechenmodellen.....	74
5.5.2.	DIN ISO 9613-2.....	75
5.5.3.	Vereinfachte Rechenmodelle	77
5.5.4.	Faustformel	78
5.6.	Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse bei Dauerton.....	78
5.7.	Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse bei Sprache	80
5.8.	Vergleich Berechnungs- und Messergebnisse	82
5.9.	Erkenntnisse der Schallausbreitung	84
5.10.	Ausblick auf die Erprobung.....	85
6.	Schalltechnische Messungen der Erprobung.....	86
6.1.	Aufstellorte der Warnmittel.....	86
6.2.	Klimatische Bedingungen am Testtag	89
6.3.	Messdurchführung und -ergebnisse.....	89
6.3.1.	Standort 1 Rathausplatz	89
6.3.2.	Standort 2 Fackelstraße.....	90

6.3.3. Standort 3 Steinstraße.....	95
6.4. Erkenntnisse aus den Messergebnissen	98
7. Zusammenfassung und Fazit	100
Quellenverzeichnis.....	102
Richtlinienverzeichnis.....	104
Glossar	105
Anhänge.....	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fotos Pilotprojekt Smarte Laternen im Fauthweg.....	2
Abbildung 2: Legende der verwendeten Markierungen bei der Analyse und Darstellung der Ergebnisse	5
Abbildung 3: Darstellung Art der Bebauung mit Geschossigkeit.....	5
Abbildung 4: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Nord/Kaisersberg.....	6
Abbildung 5: Offene Bauweise – Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften.....	7
Abbildung 6: Offene Bauweise – Reihenhäuser	8
Abbildung 7: Offene Bauweise – Mehrfamilienhäuser.....	8
Abbildung 8: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung	9
Abbildung 9: Offene und geschlossene Bebauung – Lagerhallen, Industriegebäude, soziale Einrichtungen, Kirchen, Gewerbe.....	9
Abbildung 10: Gesamtübersicht Stadtteil Innenstadt Nord/Kaisersberg.....	10
Abbildung 11: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Ost.....	11
Abbildung 12: Offene Bebauung – Mehrfamilienhäuser.....	12
Abbildung 13: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung.....	13
Abbildung 14: Offene und geschlossene Bebauung – Lagerhallen, Industriegebäude, soziale Einrichtungen, Kirchen, Gewerbe.....	13
Abbildung 15: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung.....	14
Abbildung 16: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Südwest.....	15
Abbildung 17: Offene Bebauung – Mehrfamilienhäuser.....	16
Abbildung 18: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung.....	17
Abbildung 19: Offen und geschlossene Bebauung – Lagerhallen, Industriegebäude, soziale Einrichtungen, Kirchen, Gewerbe.....	17
Abbildung 20: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung.....	18
Abbildung 21: Lage des Stadtgebietes Innenstadt West/Kotten.....	19
Abbildung 22: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	20
Abbildung 23: Lage des Stadtgebietes Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung	21
Abbildung 24: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	23
Abbildung 25: Lage des Stadtgebietes Betzenberg	24
Abbildung 26: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	26
Abbildung 27: Lage des Stadtgebietes Grübentälchen/Volkspark	27
Abbildung 28: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	29
Abbildung 29: Lage des Stadtgebietes Kaiserslautern West.....	30
Abbildung 30: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	32
Abbildung 31: Lage des Stadtgebietes Lämmchensberg/Universitätswohnstadt.....	33
Abbildung 32: Gesamtdarstellung der Bebauung.....	35
Abbildung 33: Frequenzen des Schalls	40
Abbildung 34: Beispiele für Lärmereignisse mit dem dazugehörigen Schalldruckpegel in db.....	41
Abbildung 35: Frequenzbewertungskurven A und C	41
Abbildung 36: Hörvermögen Mensch in Abhängigkeit zur Frequenz	43
Abbildung 37: Regelwerk Emission, Transmission und Immission.....	46

Abbildung 38: Bodendämpfung in Abhängigkeit zu Höhe bzw. Entfernung	51
Abbildung 39: Bestimmung der gedämpften Längen d1 und d2 bei Dämpfung durch Bewuchs.....	53
Abbildung 40: Pegelstand in Abhängigkeit vom Abstand, ausgehend von 100 dB.....	54
Abbildung 41: Geometrische Zusammenhänge des Strahlermodells bei einfacher Biegung.....	55
Abbildung 42: Luftbild mit Messareal der Stadtbildpflege KL.....	59
Abbildung 43: Fotos der Messachsen des Betriebsgeländes der Stadtbildpflege.....	59
Abbildung 44: Luftbild der Messung Nr. 1	60
Abbildung 45: Luftbild der Messreihe bzw. Messungen Nr. 3 und 4.....	60
Abbildung 46: Luftbild der Messreihe bzw. Messung Nr. 5.....	61
Abbildung 47: Luftbild der Messung Nr. 1	62
Abbildung 48: Fotos des Hubfahrzeuges mit Warnmittel.....	65
Abbildung 49: Vergleich Messstelle 1 und 4 – Auswirkung der Höhe der Schallquelle auf den Pegelwert	71
Abbildung 50: Fotos vom Betriebsgelände Stadtbildpflege Kaiserslautern	71
Abbildung 51: Darstellung der Messergebnisse mit log. Trendlinie	72
Abbildung 52: Ablaufdiagramm der DIN - allgemeines Verfahren.....	76
Abbildung 53: Ablaufdiagramm des vereinfachten Rechenmodells	77
Abbildung 54: Ablaufdiagramm der Faustformel	78
Abbildung 55: Vergleich Messung mit verschiedenen Rechenmodellen in Diagrammform.....	82
Abbildung 56: Kreisdiagramm der Dämpfungsanteile der Messstelle 3/+100 in dB.....	84
Abbildung 57: Aufstellort Rathausvorplatz	87
Abbildung 58: Aufstellort Fackelstraße	88
Abbildung 59: Aufstellort St.-Martins-Platz.....	88
Abbildung 60: Messpunkte Standort 1	89
Abbildung 61: Messpunkte Standort 2.....	90
Abbildung 62: Messergebnisse Warnmittel Standort 2.1 Dauerton.....	91
Abbildung 63: Messergebnisse Warnmittel Standort 2.1 Sprachdurchsage.....	92
Abbildung 64: Diagramm der Messergebnisse Standort 2.1.....	93
Abbildung 65: Schallüberlagerung bei Auslösung beider Warnmittel	94
Abbildung 66: Messachsen Standort 3.....	95
Abbildung 67: Schalldruckpegel Dauerton bei 90 Prozent Leistung	96
Abbildung 68: Schallpegel Sprachdurchsage bei ca. 90 Prozent Leistungsstärke.....	96
Abbildung 69: Verständlichkeit Sprachdurchsage Standort 3	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Arten der Gefahren.....	1
Tabelle 2: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Nord/Kaisersberg.....	7
Tabelle 3: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Ost.....	12
Tabelle 4: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Südwest.....	16
Tabelle 5: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt West/Kotten.....	20
Tabelle 6: Analyse der Bebauung des Stadtteils Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung.....	22
Tabelle 7: Analyse der Bebauung des Stadtteils Betzenberg.....	25
Tabelle 8: Analyse der Bebauung des Stadtteils Grübentälchen/Volkspark.....	28
Tabelle 9: Analyse der Bebauung des Stadtteils Kaiserslautern West.....	31
Tabelle 10: Analyse der Bebauung des Stadtteils Lämmchensberg/Universitätswohnstadt.....	34
Tabelle 11: Übersicht Analyse der Bebauung in Kaiserslautern.....	36
Tabelle 12: Beispielhafte Schallereignisse mit Pegelwerten.....	44
Tabelle 13: Geschätzte Genauigkeit für Pegel LAT (DW).....	48
Tabelle 14: Luftkoeffizienten in Abhängigkeit von der relativen Feuchte, Temperatur und Frequenz.....	51
Tabelle 15: Kurzübersicht der unterschiedlichen Messreihen des Messkonzeptes.....	63
Tabelle 16: Witterungsbedingungen der Messreihen laut Wetterdienst.....	64
Tabelle 17: Darstellung des Regelwerks in Bezug auf zulässige Geräuschpegel.....	66
Tabelle 18: Schallpegelmessung mit dem Martinshorn.....	67
Tabelle 19: Messergebnisse Messreihe 1 mit Dauerton.....	68
Tabelle 20: Messergebnisse der Messreihe 1 mit Sprachdurchsage.....	69
Tabelle 21: Formel und Bestimmtheitsmaße der Trendlinien der Hauptachsen.....	73
Tabelle 22: Situation des Messtages am 25.02.2021.....	74
Tabelle 23: Differenzen der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung mit Dauerton.....	79
Tabelle 24: Durchschnittliche Pegeldifferenz der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung.....	79
Tabelle 25: Differenzen der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung der Sprachdurchsage.....	81
Tabelle 26: Durchschnittliche Pegeldifferenz der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung.....	81

1. Forschungsprojekt in Kaiserslautern

1.1. Warn- und Informationstechniken

Die Technik der Smart City lässt sich auch auf die Technologien der Warn- und Informationsanlagen übertragen. Dabei werden intelligente Innovationen genutzt, um diese Anlagen für die Gefahren des 21. Jahrhunderts zu optimieren. Insbesondere in einem Stadtgebiet muss man in bestimmten Situationen die Bevölkerung schnell warnen und informieren können. Aus diesem Grund gibt es unterschiedliche Arten von Warnsignaleinrichtungen, deren verschiedene Eigenschaften für die Bevölkerungswarnung genutzt werden können. Man spricht bei Warnsignaleinrichtungen auch von Warnmitteln.

Warnmittel sind sogenannte Endanwendungen oder auch Endgeräte, die zur Bevölkerungswarnung eingesetzt werden, also um Menschen vor einer Gefahrensituation zu warnen sowie Gefahreninformationen mitzuteilen.¹ In diesem Kapitel wird auf die Nutzung dieser neuen Technologie für Warnsituationen eingegangen.

1.1.1. Aufgaben & Gründe für Warnmittel

Die unterschiedlichen Warn- und Informationstechniken müssen im Notfall die Bevölkerung, d.h. eine große Anzahl an Personen in kürzester Zeit, erreichen. Die meisten Warneinrichtungen funktionieren über akustische oder optische Signale vor einer Gefahrensituation. Ein Beispiel eines solchen Warnmittels ist eine Sirene. Die zweite Funktion eines Warnmittels besteht darin, die Bevölkerung über Gefahren zu informieren und gegebenenfalls Handlungsanweisungen zu vermitteln.

Diese Funktion ist beispielsweise durch Rundfunk wie Radio und TV gewährleistet. Dabei wird die Bevölkerung allerdings erst zeitversetzt informiert. Im Idealfall erfüllt das Warnmittel beide Funktionen und warnt beziehungsweise informiert die Bevölkerung schon während der Gefahrensituation.

Warnungen können aus unterschiedlichen Gründen erforderlich sein. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) klassifiziert dafür unterschiedliche Arten von Gefahren. In der folgenden Tabelle werden Beispiele für wichtige Gefahren aufgeführt.²

Arten der Gefahren	
- Krankheitserreger	- Hochwasser
- Naturgefahren	- Waffengewalt
- Feuer	- Verkehrsstörung
- Unfall Chemiebetrieb	- Stromausfall
- Versorgungsausfälle	- Massenpanik
- Radioaktivität	- gefährliche Wetterlage

Tabelle 1: Arten der Gefahren

Der zweite Aspekt ist die Warnung vor einer akuten Gefahrensituation innerhalb eines spezifischen Gefahrenbereichs.³ Hierbei werden Warnmittel an verschiedenen Orten benötigt, um die Bevölkerung informieren zu können. Dabei ist der Standort des Warnmittels genauestens zu wählen, um eine

¹ Vgl. BBK 2019, S. 57.

² Vgl. Tiedecke 2020.

³ Vgl. BBK 2020.

umfassende und weitestgehend flächendeckende Warnung zu gewährleisten. Außerdem ist die Form des gewählten Warnmittels oder sogar der Warnmittelmix von entscheidender Bedeutung, denn die jeweiligen Warnmittel wirken verschieden und haben somit unterschiedliche Reaktionswirkung auf die Bevölkerung.

1.1.2. Smarte Laternen

Die Smart-City-Methode besteht aus dem Zusammenspiel von derzeit bereits genutzter Technik bis hin zu einer transformierten, innovativen Technik. Dabei sind kreative Lösungen für diverse Probleme nötig und es sollten alle erdenklichen Veränderungen in den Blick genommen werden, um etwaige Innovationen in bestehende Verhältnisse zu integrieren. So auch bei den sogenannten „Smarten Laternen“⁴, wo die vorhandene Infrastruktur durch innovative Lösungen optimiert wurde.

Bei den Smarten Laternen ist insbesondere die Platzierung der Anlage von essenzieller Bedeutung. Bei der Konzeptionierung einer intelligenten Anlage hat man sich entschlossen, die bestehende Infrastruktur zu nutzen. Dabei werden die Modifikationen an den bestehenden Straßenlaternen angebracht. Es gibt zwei verschiedene Modifikationen, die eine Straßenlaterne zu einer Smarten Laterne machen. Entweder wird sie durch eine intelligente Beleuchtungsanlage oder durch die Anbringung eines auditiven Warnmittels zu einer innovativen Warnmitteltechnik.

Bei der intelligenten Beleuchtungsanlage werden die visuellen Fähigkeiten der Straßenlaterne optimiert. Diese Anlagen wurden in einem Pilotprojekt auch in der Stadt Kaiserslautern im Fauthweg angebracht, wie in der folgenden Abbildung zu erkennen.



Abbildung 1: Fotos Pilotprojekt Smarte Laternen im Fauthweg

Quelle: eW-Redaktion 2019.

Dabei werden die Laternen auf LED-Technik umgerüstet und mit einer intelligenten Steuerung versehen, die Fehlfunktionen und Wartungsbedarf an die zuständige Stelle meldet. Durch eine bedarfsgerechte Ausleuchtung der Straße kommt obendrein ein ressourcenschonender Aspekt hinzu. Außerdem verfügen diese Smarten Laternen über Projektoren, welche bei potenziellen Gefahrensituationen mittels visueller Warnung verschiedene Hinweisbotschaften auf die Straße projizieren können.⁵ Diese Anlagen wurden im Rahmen des Projektes „Unser Lautern - herzlich digital“ realisiert und gelten nicht als klassisches Warnmittel, sondern eher als Komponente einer smarten und vernetzten Stadt.⁶

⁴ Der Begriff „Smarte Laternen“ wird in diesem Bericht als Eigenname verwendet und daher im Folgenden groß und ohne Anführungszeichen geschrieben.

⁵ Vgl. Nachrichten KL 2019.

⁶ Vgl. KL.digital 2021.

Des Weiteren können zu den Smarten Laternen auch die Straßenlaternen gehören, die durch eine zusätzliche akustische Warneinrichtung modifiziert werden. In einem vom BBK durchgeführten EU-geförderten Bund-Länder-Projekt des Inneren Sicherheitsfonds (ISF) wurden im Rahmen des Pilotprojektes „Smarte Laternen Rheinland-Pfalz“ Lautsprecheranlagen an Laternen angebracht, die von einer zentralen Stelle bedient werden. Die Modifikation besteht aus einem Lautsprecher, der einen Sirenton und eine Sprachdurchsage ausgeben kann. Die Straßenbeleuchtung der Stadt Kaiserslautern wird über ein Rundsteuersignal (RSS) angesteuert, d. h. an den Lichtmasten liegt nicht zwingend eine Dauerspannung zur Versorgung externer Geräte an. Die Lichtmasten werden nur während der Beleuchtungsphasen aktiv mit Spannung versorgt.

Die Sirenen sind mit einem internen Akkumulator ausgerüstet, der sicherstellt, dass unabhängig von einer anliegenden Spannungsversorgung Warnungen in Form von Sirenentönen und/oder Sprachdurchsagen ausgegeben werden können. Die Sirenen sind für ca. 36 Stunden ohne externe Spannungsversorgung betriebsbereit. Eine Umrüstung der Spannungsversorgung auf Dauerspannung ist wünschenswert, jedoch nicht zwingend notwendig. Damit wird deutlich, dass eine solche Innovation auch unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit eingeführt werden kann. Die Lautsprecheranlagen an den Smarten Laternen erfüllen auf diese Weise eine Warn- und Informationsfunktion, wobei sie mit der Höhe einer Straßenlaterne auch die Schallausbreitung der Durchsagen der Lautsprecheranlage gewährleisten. Dieses innovative akustische Warnmittel wird seitens des BBK als Bestandteil der neuen Generation der Bevölkerungswarnung beschrieben⁷, da es eine zeitgemäße Veränderung der akustischen Warnmittel darstellt und bestehende Formen der Infrastruktur dafür nutzt.

1.2. Forschungsprojekt in Kaiserslautern

Bei dem Pilotprojekt „Warnung der Bevölkerung - Smarte Laternen in Rheinland-Pfalz/Kaiserslautern“ des BBK und des Ministeriums des Inneren und für Sport Rheinland-Pfalz wird der Einsatz von „Smarten Laternen“ erprobt. Smarte Laternen sollen durch das Anbringen einer Lautsprecheranlage als auditives Warnmittel im Stadtgebiet genutzt werden. Für dieses Forschungsprojekt sollte seitens der Hochschule Kaiserslautern eine technische Evaluation zur Überprüfung der technischen Aspekte und deren Wirksamkeit zur Nutzung der akustischen Warnsignalanlage an Straßenlaternen für die Bevölkerungswarnung erfolgen.

Dabei wird ausgehend von einer Lautsprecheranlage, die an einem Laternenmast befestigt ist, ein Schallimpuls in Form eines Sirensignals und einer Sprachdurchsage ausgegeben, der in den jeweiligen Warnsituationen die Bevölkerung warnen und informieren soll. Die Lautsprecheranlage wird dabei in einer Höhe von 4,00 und 8,00 Metern installiert und auf ihre jeweilige Schallausbreitung geprüft. Mit diesem Warnmittel erfüllt man sowohl die Weckfunktion als auch die Informationsfunktion, sodass in kürzester Zeit die Bevölkerung über eine mögliche bestehende Gefahrensituation informiert werden kann. Die Auslösung dieses Warnmittels erfolgt durch die auslöseberechtigten Zivil- und Katastrophenschutzbehörden über das gemeinsam von Bund und Ländern genutzte Modulare Warnsystem (MoWaS), in diesem Fall über die zuständige Integrierte Leitstelle für Feuerwehr, Rettungsdienst und Katastrophenschutz in Kaiserslautern.

Diese innovative Idee ist ein Bestandteil der smarten Bevölkerungswarnung. Dabei nutzt man die Technik der heutigen Zeit wie z. B. Mobilfunk und moderne Beschallungstechnik. Diese Technikkomponenten werden dann in neue, kreative Techniklösungen umgewandelt. Dabei wird auch auf Nachhaltigkeit Wert gelegt. Durch die Mobilfunktechnik kann beispielsweise auf eine neue Verkabelung

⁷ Vgl. Feldmann; Hollstein 2020, S. 25.

verzichtet werden. Die Nutzung vorhandener Laternenmasten erspart außerdem die Aufstellung neuer Masten für die Installation der Lautsprecheranlagen.

Das akustische Warnmittel muss sich hierbei an die vorhandenen städtischen Bedingungen wie Bebauung, Begrünung, Infrastruktur und vorhandener Geräuschpegel anpassen. Besonders in den Stadtgebieten sind unterschiedliche Bebauungsarten und teilweise hohe Geräuschpegel, z. B. durch Straßenlärm, gegeben.

Bei der Schallausbreitung ergeben sich somit Abschirmungs- und Reflexionswirkungen durch die Bebauung, sodass die Gesamtbeurteilung des entstehenden Schalldruckpegels sehr schwierig ist. Neben dem Einfluss der Bebauung ist auch der Aspekt der unterschiedlichen Nebengeräusche zu beachten. Nebengeräusche werden in einem urbanen Umfeld durch etliche Lärmquellen erzeugt und nehmen Einfluss auf die Gesamtgeräuschkulisse. Alle vorgenannten Aspekte machen die Ermittlung der Schallwirkung der Warnmittel sehr umfangreich und weisen auf eine gewisse Ungenauigkeit bei der Ermittlung hin.

1.3. Analyse der Bebauung in Kaiserslautern

Die Analyse der Bebauung in Kaiserslautern orientiert sich an den Bebauungsarten gemäß der Baunutzungsverordnung (BauNVO). Zunächst werden hier die in der BauNVO definierten Bebauungsarten dargestellt. Die einzelnen Stadtteile der Stadt Kaiserslautern werden dann anhand der Pläne aus dem Baulandkataster der Stadt Kaiserslautern dargestellt. In diese Stadtteilpläne werden anschließend die Gebäudeanalysen und Gebäudedaten wie z. B. Bauweise, Nutzungsart und Geschosshöhen eingetragen. Die Analyse der Bebauung der Stadt Kaiserslautern basiert überwiegend auf der Bewertung von Luftaufnahmen aus Google Earth. Bei Unklarheiten wurden zudem Besichtigungen vor Ort durchgeführt.

1.3.1. Baunutzungsverordnung

Nach der Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (BauNVO) wird die Bauweise festgesetzt (§ 22 BauNVO). Laut BauNVO kann die Bauweise im Bebauungsplan als offene oder geschlossene Bauweise festgesetzt werden (§ 22 Absatz 1 BauNVO).

Demnach gilt nach § 22 Absatz 2 BauNVO, dass in der offenen Bauweise die Gebäude mit seitlichem Grenzabstand als Einzelhäuser, Doppelhäuser oder Hausgruppen errichtet werden. Ferner gilt, dass die Länge der in Satz 1 bezeichneten Hausformen höchstens 50 m betragen darf (§ 22 Absatz 2 BauNVO) und im Bebauungsplan Flächen festgesetzt werden, auf denen nur Einzelhäuser, nur Doppelhäuser, nur Hausgruppen oder nur zwei dieser Hausformen zulässig sind (§ 22 Absatz 2 BauNVO).

Für die geschlossene Bauweise gilt, dass die Gebäude ohne seitlichen Grenzabstand errichtet werden, es sei denn, dass die vorhandene Bebauung eine Abweichung erfordert (§ 22 Absatz 3 BauNVO).

Laut § 22 Absatz 4 BauNVO kann im Bebauungsplan eine von Absatz 1 abweichende Bauweise festgesetzt werden. Dabei kann auch festgesetzt werden, inwieweit an die vorderen, rückwärtigen und seitlichen Grundstücksgrenzen herangebaut werden darf oder muss.

Die Arten der Bebauung und Flächen werden in den Stadtteilplänen gemäß der folgenden Farbsymbolik dargestellt:







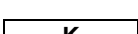

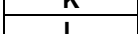

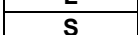

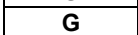

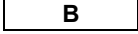
	offene Bauweise	Einfamilienhaus/Doppelhaushälfte
	offene Bauweise	Reihenhaus
	offene Bauweise	Mehrfamilienhaus
	geschlossene Bauweise	Blockbebauung
	Wohn- und Geschäftshaus	
	Garagen	
	K Kirchen	 freie Flächen
	L Lagerhallen	 Grünflächen
	S Schulen	 Parkflächen
	G Gewerbe	
	Ki Kindergarten	
	B Bürogebäude	

Abbildung 2: Legende der verwendeten Markierungen bei der Analyse und Darstellung der Ergebnisse

Quelle: Eigene Darstellung.

So werden beispielsweise Reihenhäuser bei einer offenen Bauweise gelb umrahmt. Kirchen, Lagerhallen, Schulen, Gewerbe, Kindergärten und Bürogebäude werden mit einer schwarzen Umrandung zusammengeführt und unter der Angabe von Abkürzungen gekennzeichnet. Als Geschosshöhe wird ungefähr einer Höhe von 2,5 – 3,0 Meter angesetzt. Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch einen Stadtteilplan mit den zuvor dargestellten Markierungen.

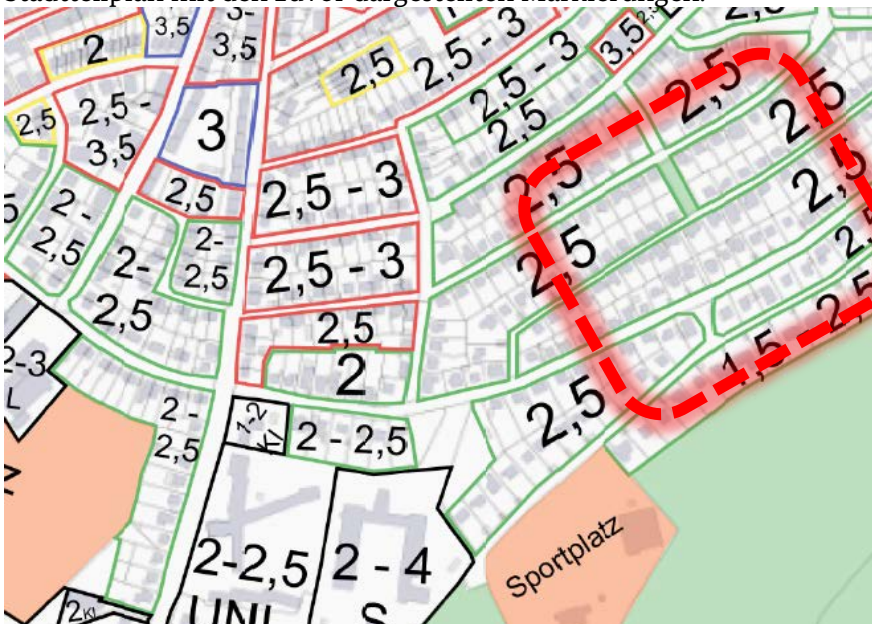


Abbildung 3: Darstellung Art der Bebauung mit Geschossigkeit

Quelle: In Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

In der rot markierten Fläche der Abbildung 3 ist z. B. folgende Bebauung zu erkennen:

- offene Bauweise (grüner Rahmen)
- Einfamilienhäuser bzw. Doppelhäuser
- Gebäudehöhe ca. 2,5 Geschosse (schwarze Zahl)

1.3.2. Stadtgebiet Kaiserslautern

Die Analyse der Bebauung der Stadt Kaiserslautern wird auf das innerstädtische Stadtgebiet beschränkt und umfasst damit folgende Stadtteile:

- Innenstadt Nord/Kaisersberg
- Innenstadt Ost
- Innenstadt Südwest
- Innenstadt West/Kotten
- Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung
- Betzenberg
- Grübentälchen/Volkspark
- Kaiserslautern West
- Lämmchensberg/Universitätswohnstadt

1.3.3. Stadtteil Innenstadt Nord/Kaisersberg

Die Innenstadt Nord/Kaisersberg befindet sich mit einer Fläche von 4,140 km² im Norden von Kaiserslautern und grenzt an die drei Ortsbezirke Erlenbach, Morlautern und Erzhütten/Wiesenthalerhof sowie an fünf weitere Kernstadtteile von Kaiserslautern (siehe Abbildung 4). In der Kernstadt Innenstadt Nord/Kaisersberg wohnen insgesamt ca. 9.017 Einwohner (Stand 30.06.2018).

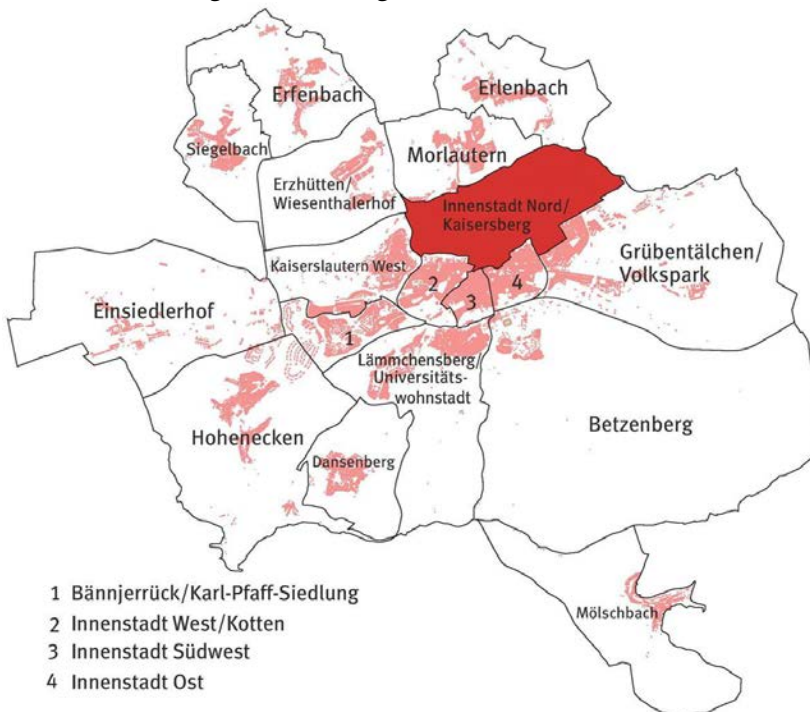


Abbildung 4: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Nord/Kaisersberg

Quelle: Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteile Innenstadt Nord/Kaisersberg wird nachfolgend in tabellarischer Form dargestellt. Es folgen dann die Stadtteilpläne mit den einzelnen Bebauungsarten.

	Stadtteil Innenstadt Nord/Kaisersberg			
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		4,140 km ²		
Einwohner		9.017		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 25 %	meist 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 10 %	meist 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 15 %	3 – 5	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen		2 – 5,5	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen		1 – 6	schwarze Markierung

Tabelle 2: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Nord/Kaisersberg

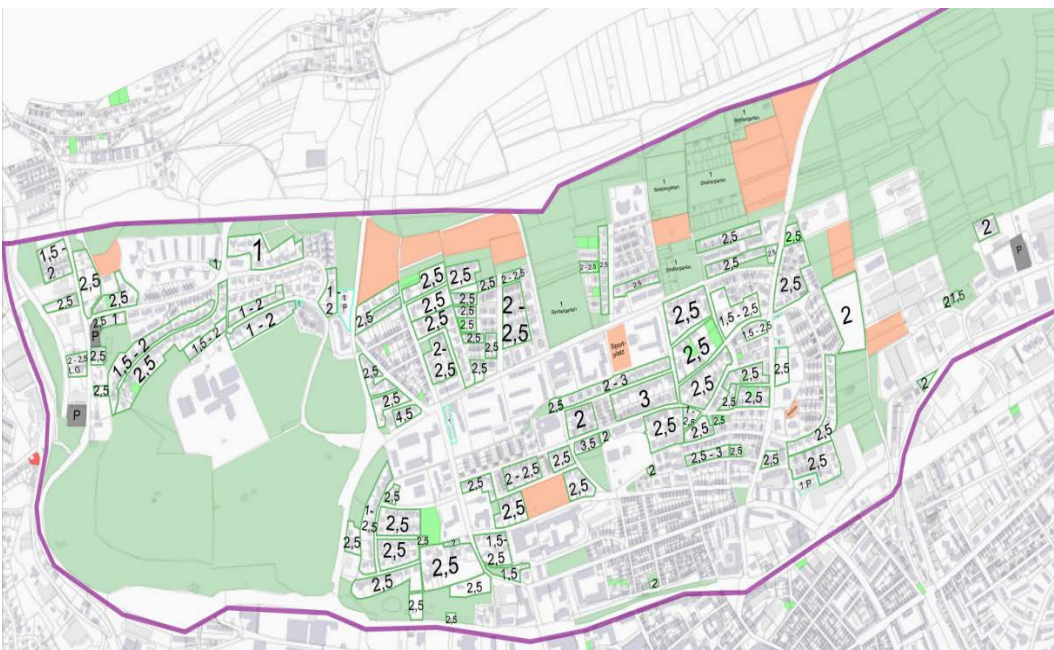


Abbildung 5: Offene Bauweise – Einfamilienhäuser, Doppelhaushälften

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

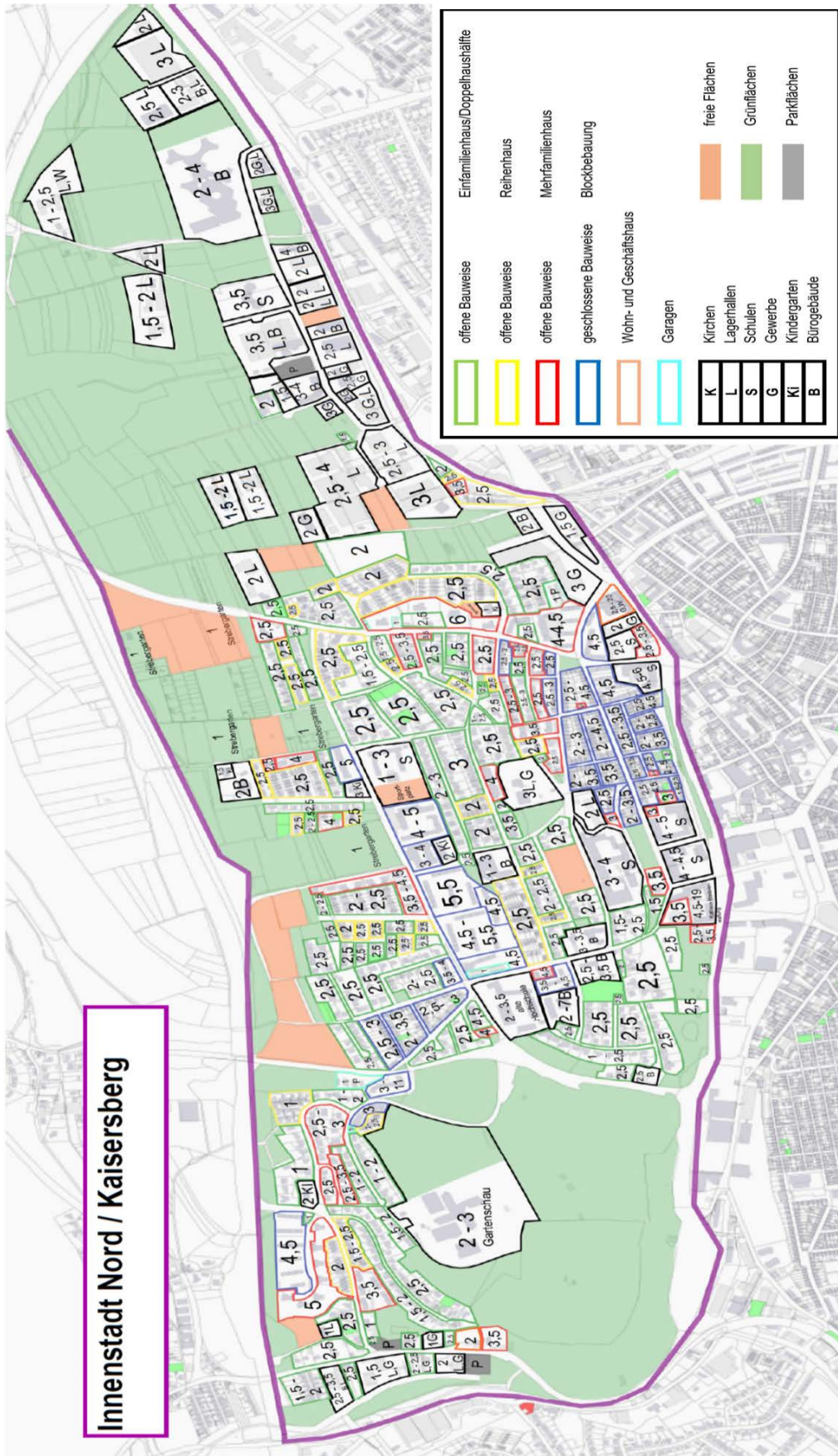


Abbildung 10: Gesamtübersicht Stadtteil Innenstadt Nord/Kaisersberg

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.4. Stadtteil Innenstadt Ost

In der Kernstadt Innenstadt Ost von Kaiserslautern leben mit 11.444 Personen die meisten Einwohner. Die Innenstadt Ost ist mit einer Fläche von 1,266 km² die flächenmäßig zweitkleinste Kernstadt. Die hohe Einwohnerzahl sowie die geringe Fläche des Stadtteils lassen auf eine sehr dichte und geschlossene Bebauung schließen. In Abbildung 11 ist die Lage des Stadtteils zu sehen.

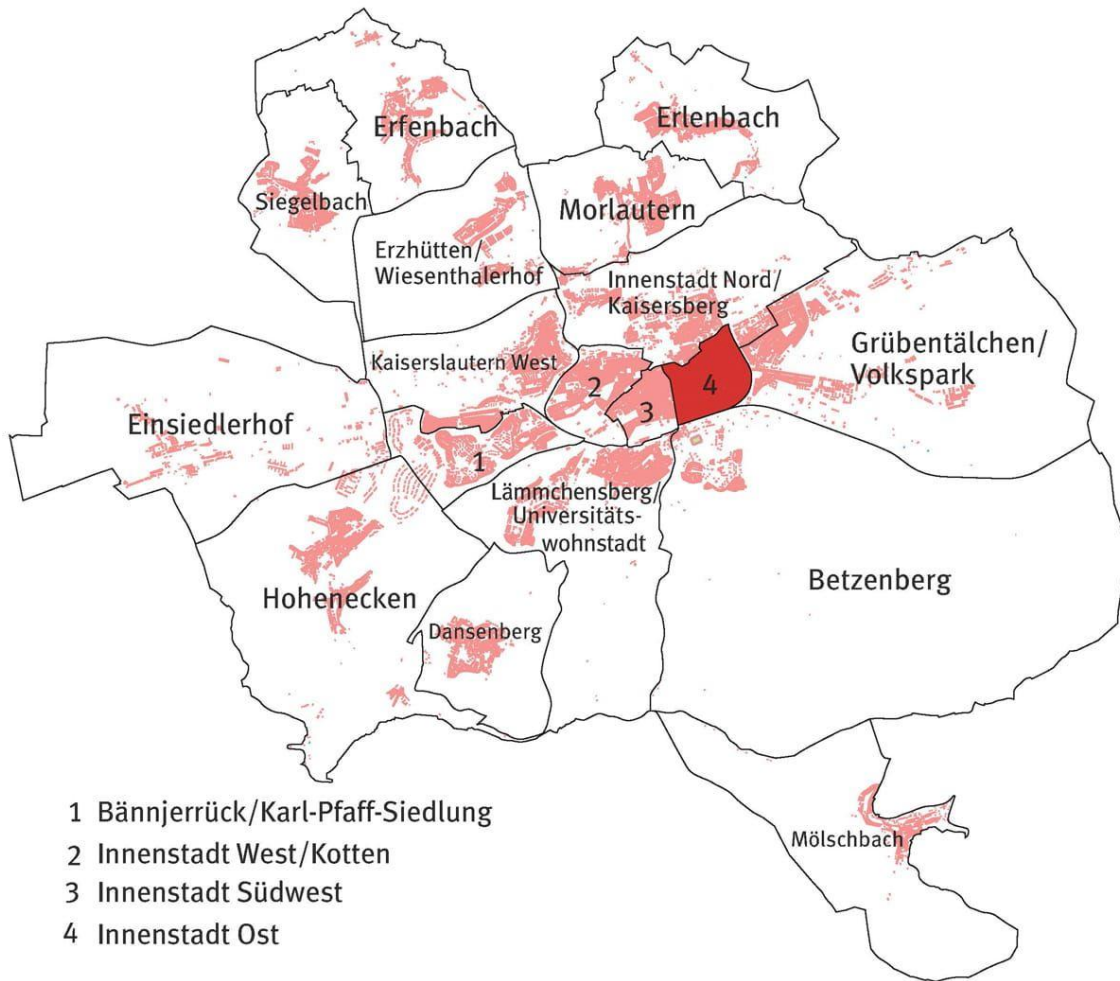


Abbildung 11: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Ost

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

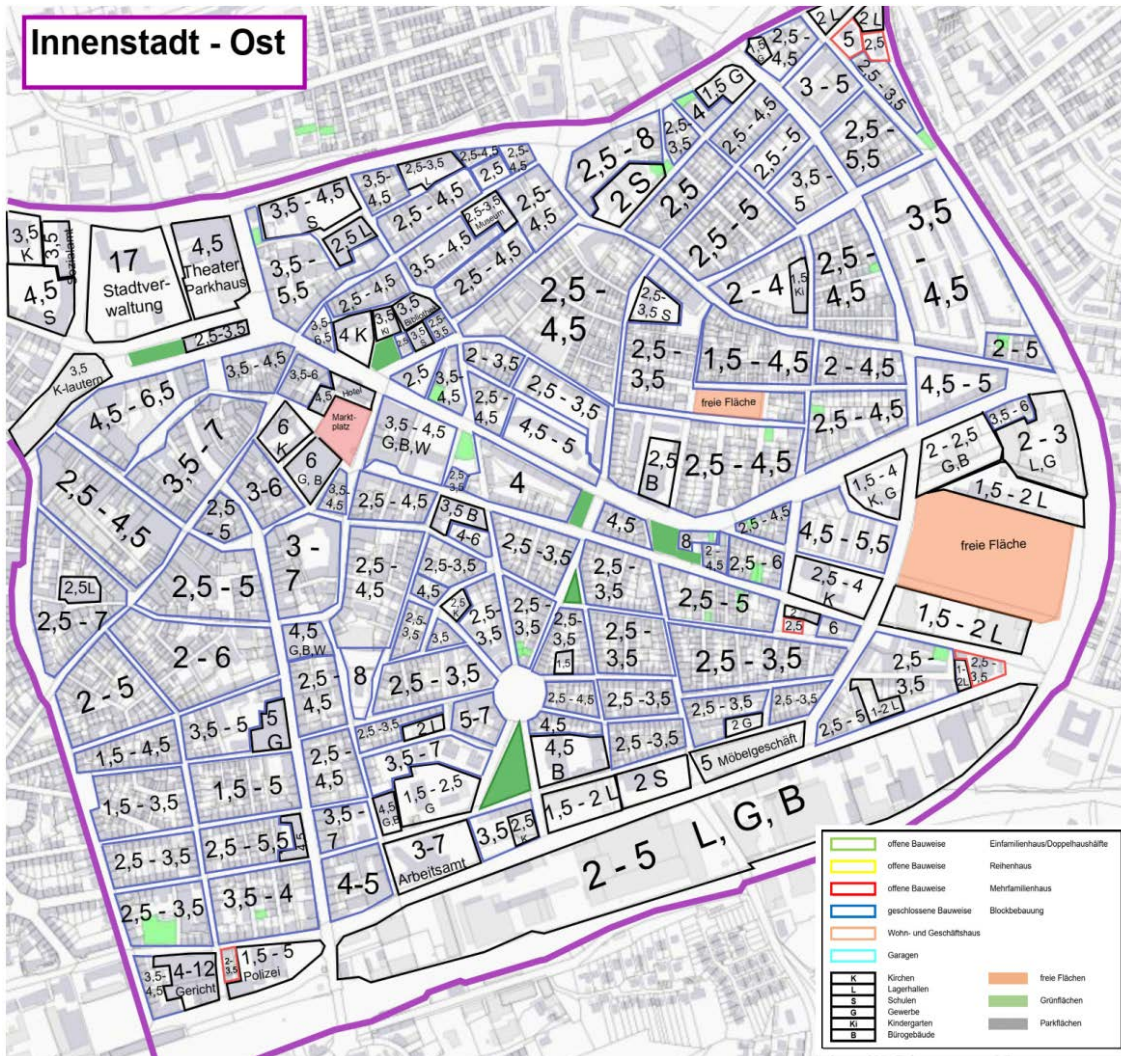


Abbildung 15: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.5. Stadtteil Innenstadt Südwest

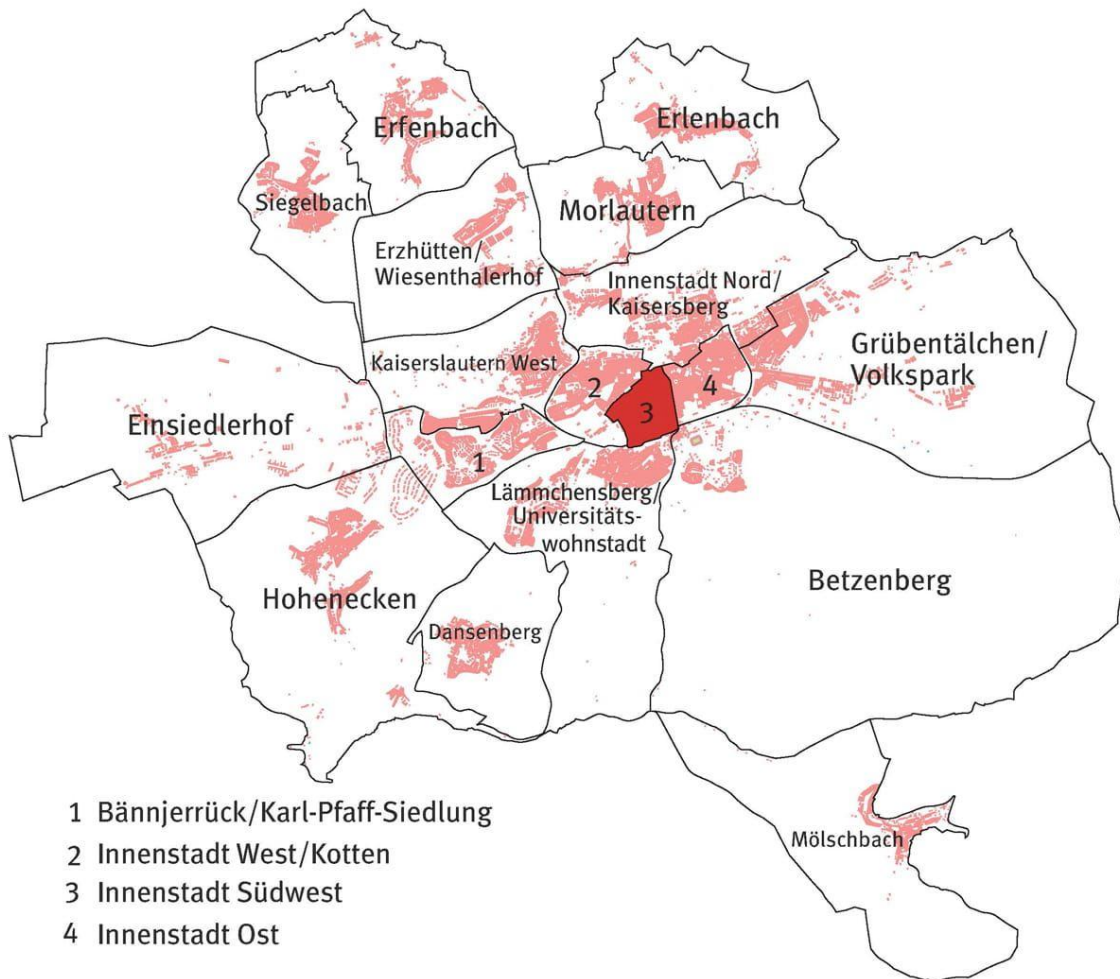


Abbildung 16: Lage des Stadtgebietes Innenstadt Südwest

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Mit einer Fläche von 0,875 km² hat der Stadtteil Innenstadt Südwest die kleinste Fläche der Stadtteile von Kaiserslautern. Die Einwohnerzahl beträgt 8.883 (Stand 30.06.2018). Die Innenstadt Südwest ist sehr dicht bebaut und besteht zu ca. 90 Prozent aus einer geschlossenen Bebauung.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Südwest wird nachfolgend in tabellarischer Form dargestellt. Es folgen dann die Stadtteilpläne mit den einzelnen Bebauungsarten.

	Stadtteil Innenstadt Südwest			
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweise
Fläche		0,875 km ²		
Einwohner		8.883		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser		nicht vorhanden		grüne Markierung
Reihenhäuser		nicht vorhanden		gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	gering	1,5 – 2,5	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 90 %	2,5 – 7	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 10 %	2,5 – 6	schwarze Markierung

Tabelle 4: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt Südwest

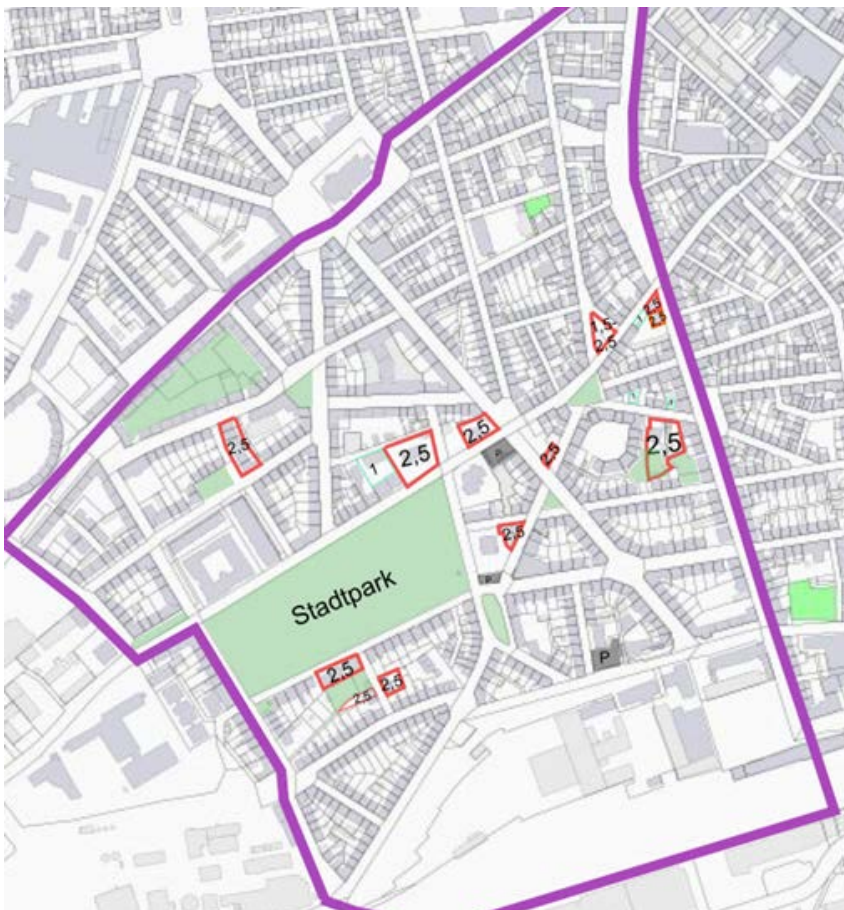


Abbildung 17: Offene Bebauung – Mehrfamilienhäuser

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Im Stadtgebiet Innenstadt Südwest befindet sich im Süden der Hauptbahnhof Kaiserslautern, ein Bahnhofsgebäude mit viergeschossigem Anbau. Vor der Bahnhofshalle befindet sich der Busbahnhof. Um den Busbahnhof herum sind verschiedene Gewerbegebäude mit drei Geschossen errichtet worden.

Westlich des Busbahnhofs findet man eine großflächige Lagerhalle mit zweieinhalb Geschossen. Der viel besuchte Stadtpark befindet sich im Westen des Stadtteils. Östlich des Stadtparks steht eine Kirche. Um den Stadtpark herum existiert eine geschlossene Bebauung für Gewerbenutzung.

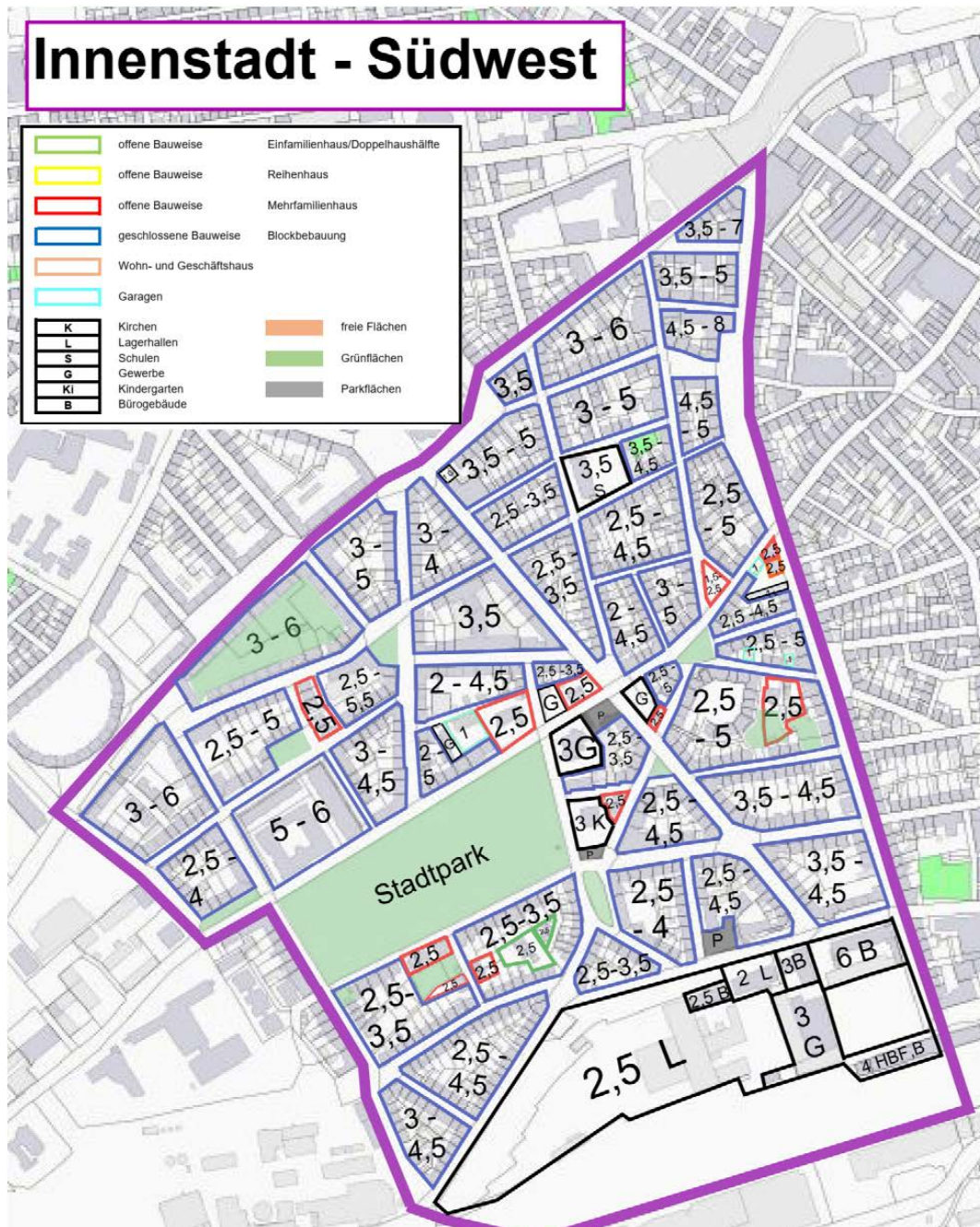


Abbildung 20: Geschlossene Bauweise – Blockbebauung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.6. Ergebnisse im Stadtgebiet Innenstadt West/Kotten

Die Innenstadt West/Kotten liegt mittig in Kaiserslautern (siehe Abbildung 21). Die Einwohnerzahl beträgt 10.935 Personen auf einer Fläche von 1,638 km² (Stand 30.06.2018). Daraus lässt sich eine dichte Bebauung der Kernstadt ableiten.

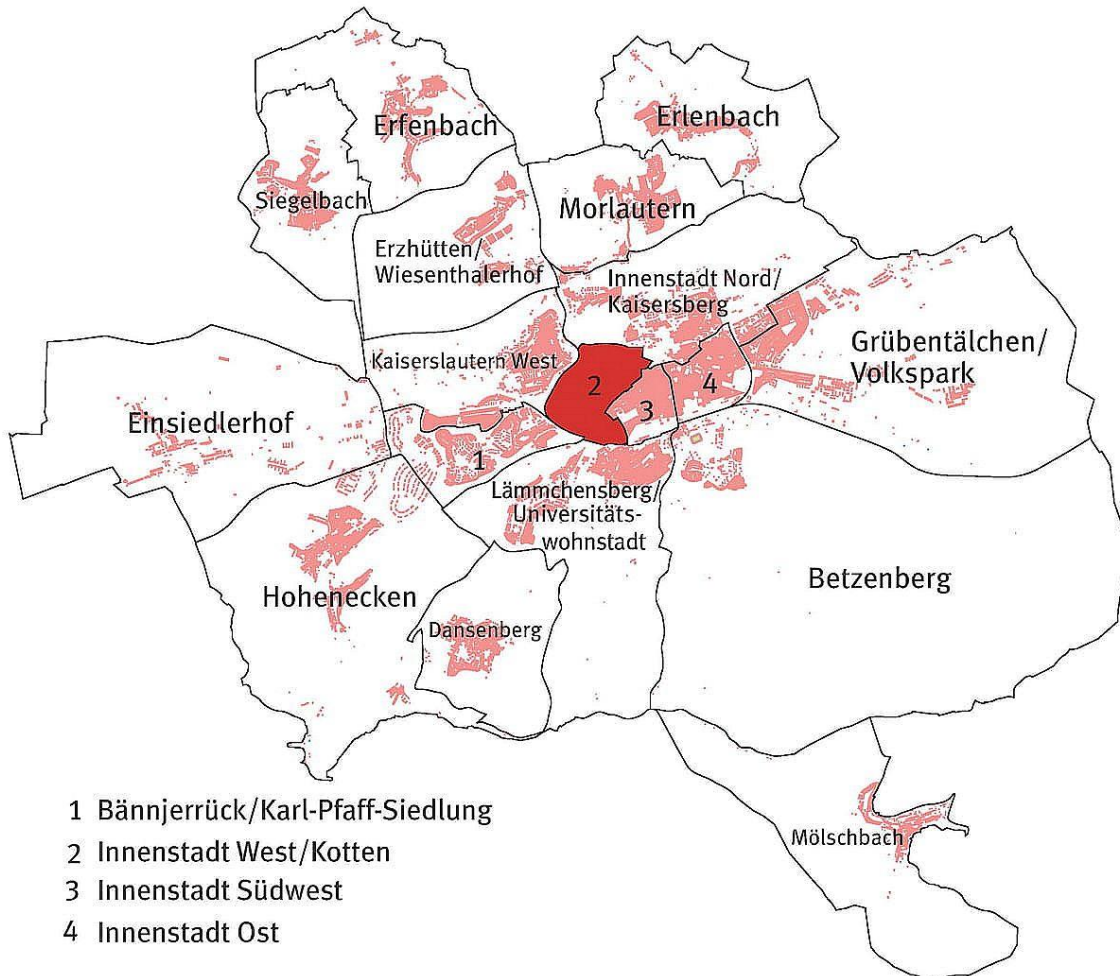


Abbildung 21: Lage des Stadtgebietes Innenstadt West/Kotten
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt West/Kotten wird nachfolgend in tabellarischer Form dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplanes mit den einzelnen Bebauungsarten.

Stadtteil Innenstadt West/Kotten				
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		1,638 km ²		
Einwohner		10.935		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	gering ca. 10 %	2,5 – 3,0	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	gering ca. 10 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 10 %	2,5 – 5,0	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 60 %	2,0 – 4,0	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 10 %		schwarze Markierung

Tabelle 5: Analyse der Bebauung des Stadtteils Innenstadt West/Kotten

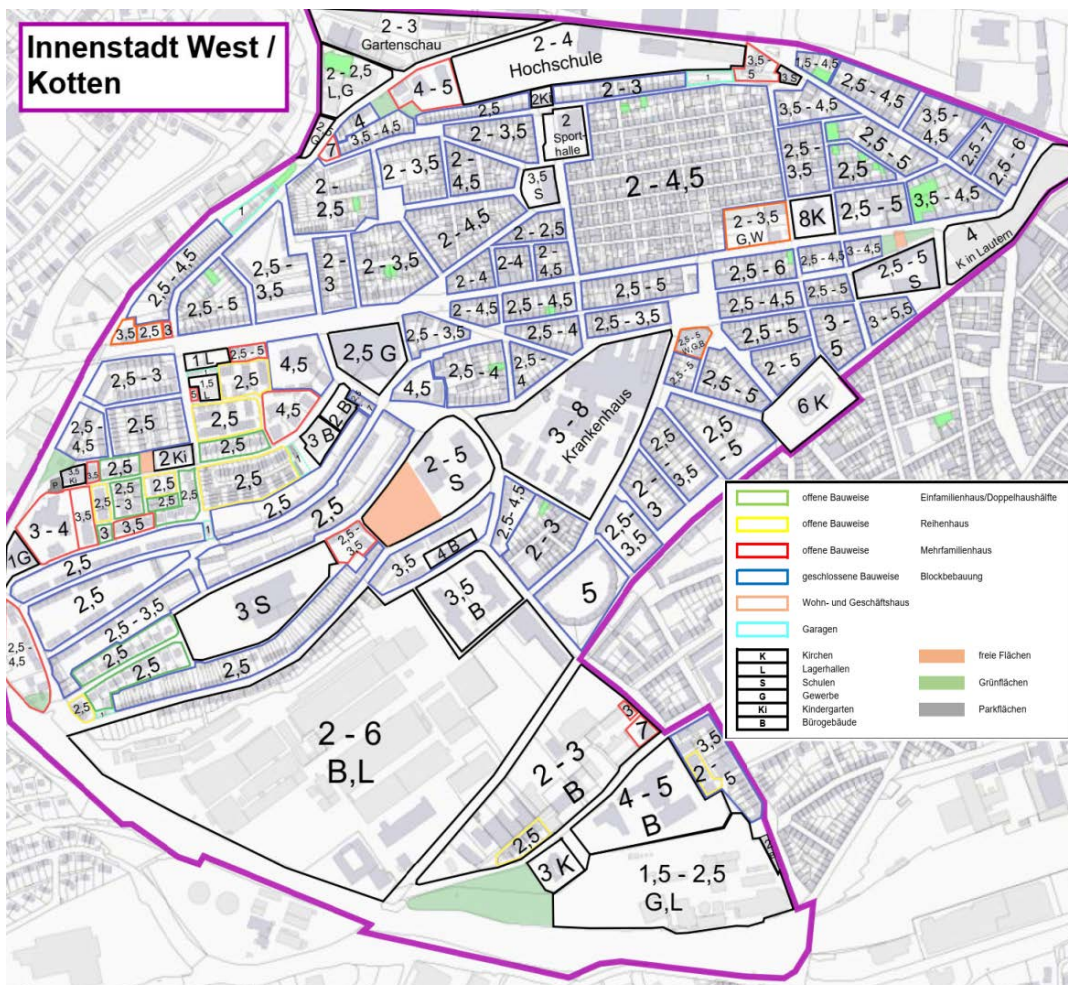


Abbildung 22: Gesamtdarstellung der Bebauung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.7. Ergebnisse im Stadtgebiet Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung

Der Stadtteil Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung liegt am westlichen Rand des Stadtkernes von Kaiserslautern (siehe Abbildung 23) und hat eine Fläche von 2,43 km². Die Einwohnerzahl beträgt 5.360 Personen (Stand 30.06.2018).

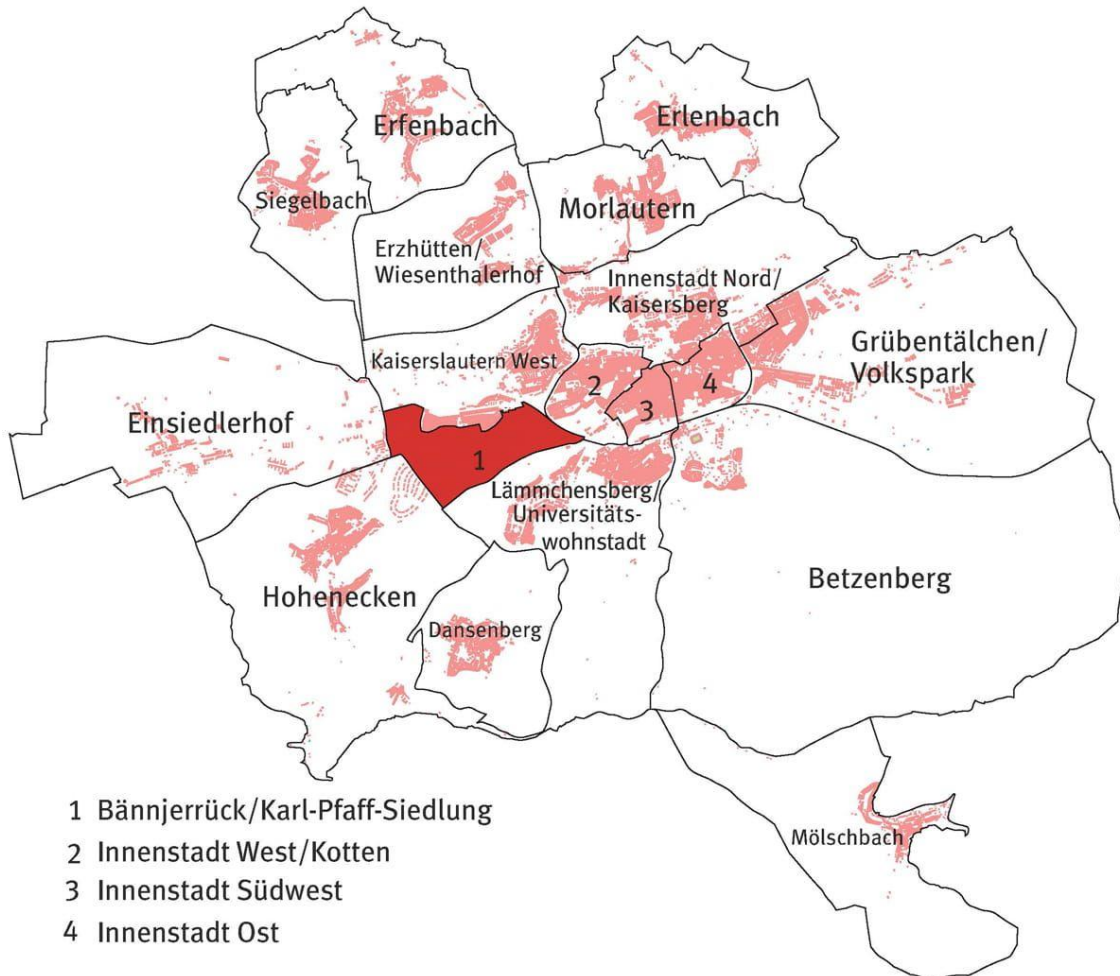


Abbildung 23: Lage des Stadtgebietes Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplanes mit den einzelnen Bebauungsarten.

	Stadtteil Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung			
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		2,43 km ²		
Einwohner		5.360		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 40 %	ca. 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 15 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 25 %	ca. 4,5	rote Markierung
Blockbebauung	nicht vorhanden			blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 20 %		schwarze Markierung

Tabelle 6: Analyse der Bebauung des Stadtteils Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung

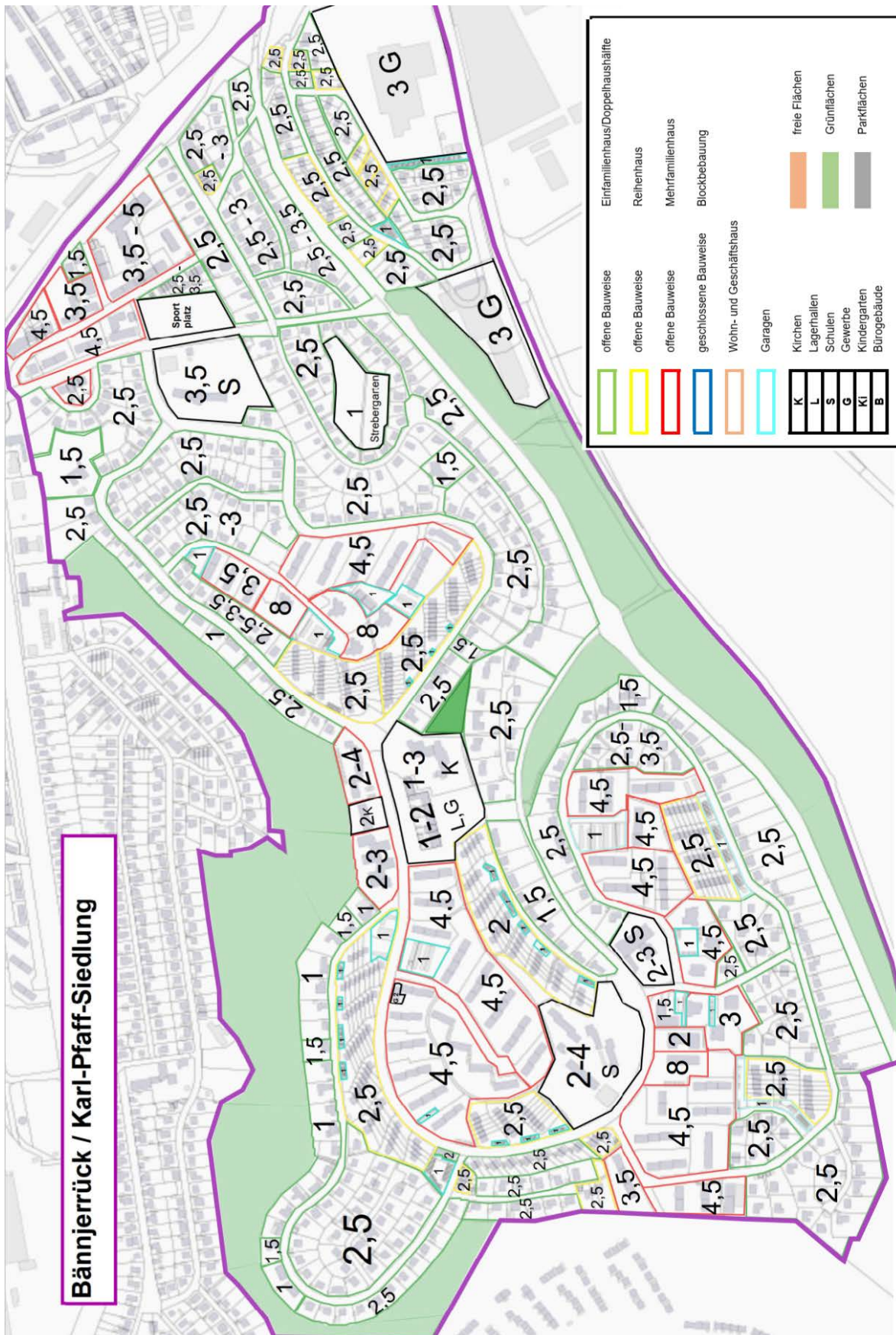


Abbildung 24: Gesamtdarstellung der Bebauung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.8. Ergebnisse im Stadtgebiet Betzenberg

Der Stadtteil Betzenberg liegt am südöstlichen Rand des Stadtkernes von Kaiserslautern (siehe Abbildung 25) und hat eine Fläche von 30,208 km². Die Einwohnerzahl beträgt 4.758 Personen (Stand 30.06.2018).

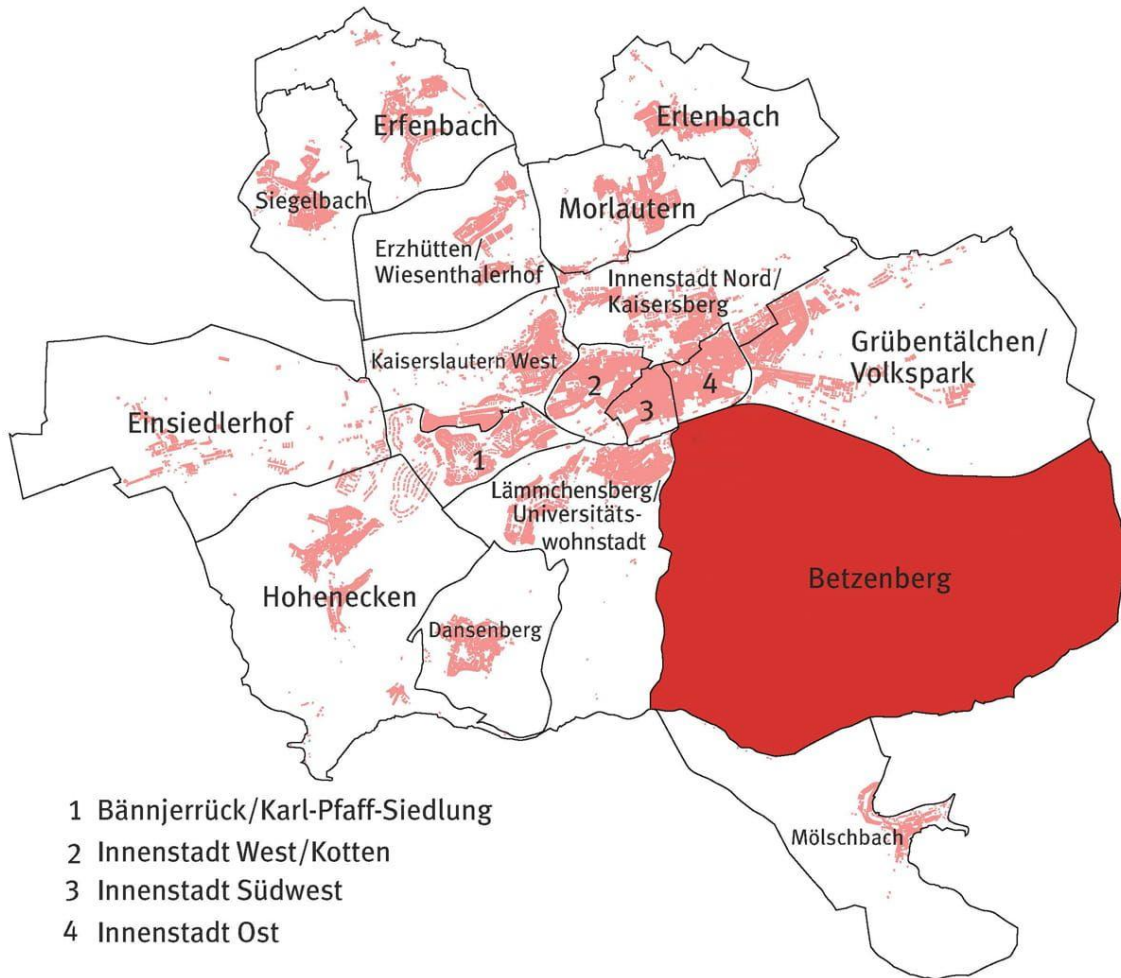


Abbildung 25: Lage des Stadtgebietes Betzenberg

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplans mit den einzelnen Bebauungsarten.

		Stadtteil Betzenberg		
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		30,208 km ²		
Einwohner		4.758		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 35 %	ca. 2,0 – 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 20 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 30 %	ca. 2,5 – 3,0	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 10 %	6,0 – 21,0	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 5 %		schwarze Markierung

Tabelle 7: Analyse der Bebauung des Stadtteils Betzenberg

1.3.9. Ergebnisse im Stadtgebiet Grübentälchen/Volkspark

Der Stadtteil Grübentälchen/Volkspark liegt am östlichen Rand des Stadtkernes von Kaiserslautern (siehe Abbildung 27) und hat eine Fläche von 17,485 km². Die Einwohnerzahl beträgt 9.889 Personen (Stand 30.06.2018).

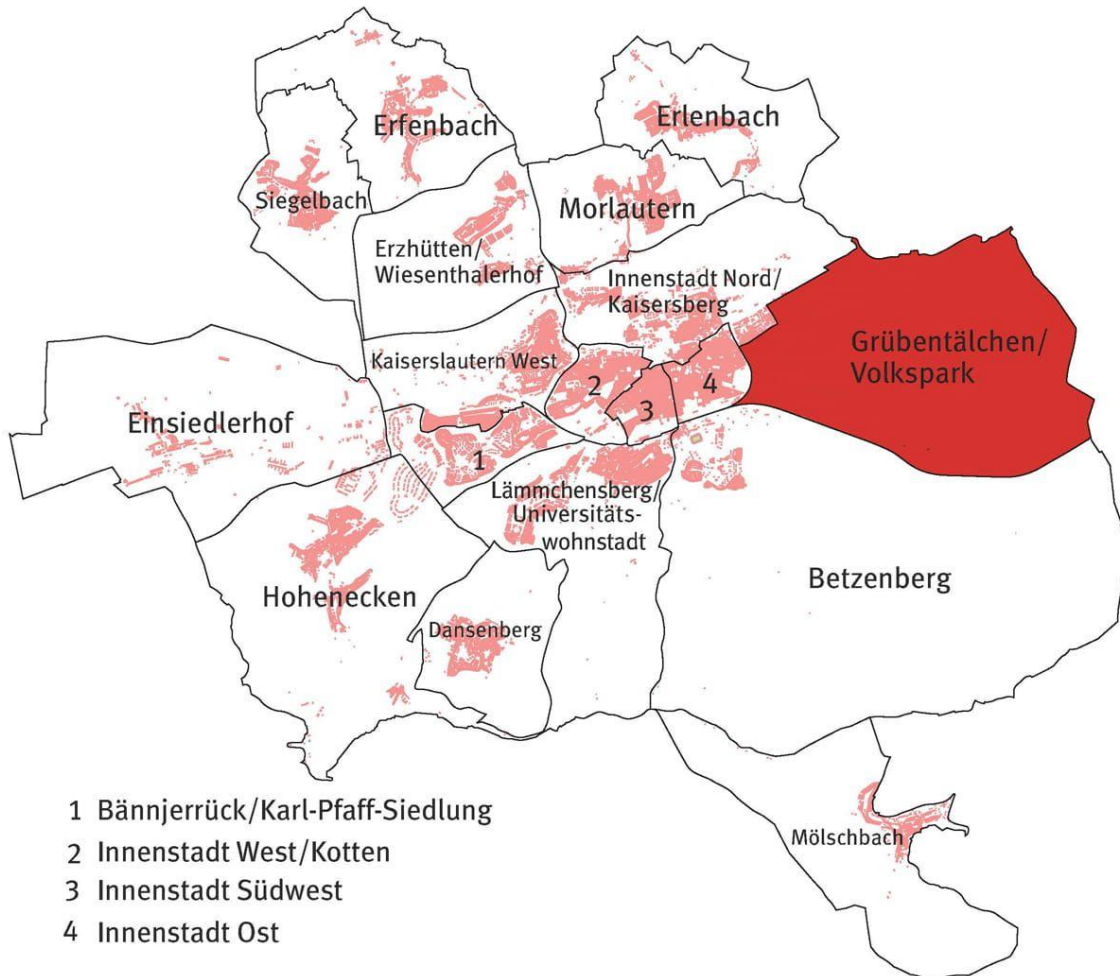


Abbildung 27: Lage des Stadtgebietes Grübentälchen/Volkspark
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplanes mit den einzelnen Bebauungsarten.

	Stadtteil Grübentälchen/Volkspark			
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		17,845 km ²		
Einwohner		9.889		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 20 %	ca. 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 5 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 15 %	ca. 2,5 – 3,0	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 25 %	3,5 – 4,5	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 35 %		schwarze Markierung

Tabelle 8: Analyse der Bebauung des Stadtteils Grübentälchen/Volkspark

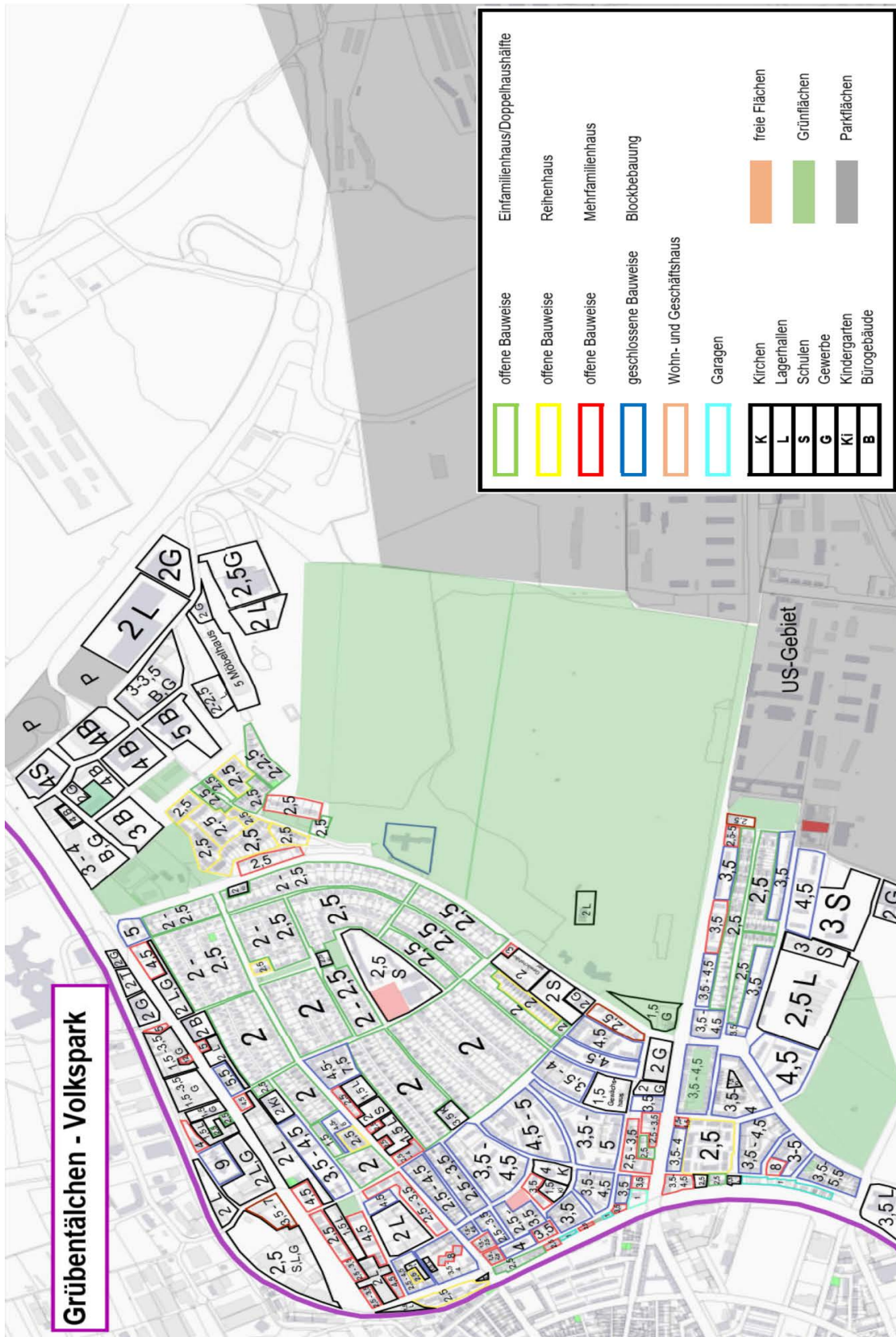


Abbildung 28: Gesamtdarstellung der Bebauung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

1.3.10. Ergebnisse im Stadtgebiet Kaiserslautern West

Der Stadtteil Kaiserslautern West liegt am westlichen Rand des Stadtkernes von Kaiserslautern (siehe Abbildung 29) und hat eine Fläche von 4,640 km². Die Einwohnerzahl beträgt 8.517 Personen (Stand 30.06.2018).

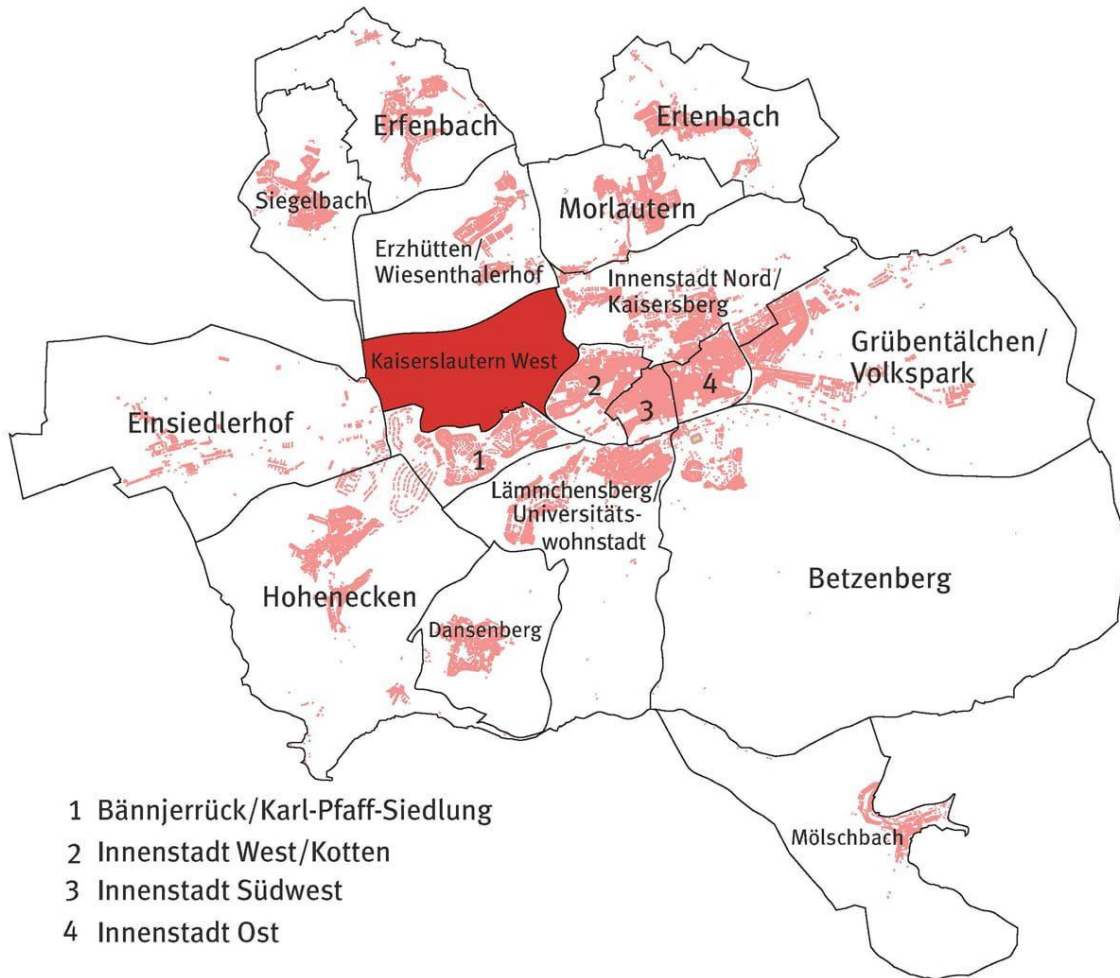


Abbildung 29: Lage des Stadtgebietes Kaiserslautern West

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplanes mit den einzelnen Bebauungsarten.

		Stadtteil Kaiserslautern West		
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		4,640 km ²		
Einwohner		8.517		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 25 %	ca. 1,5 – 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 5 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 10 %	ca. 2,5 – 14	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 10 %	2,5 – 8,5	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 50 %		schwarze Markierung

Tabelle 9: Analyse der Bebauung des Stadtteils Kaiserslautern West

1.3.11. Ergebnisse im Stadtgebiet Lämmchensberg/Universitätswohnstadt

Der Stadtteil Lämmchensberg/Universitätswohnstadt liegt am südlichen Rand des Stadtkernes von Kaiserslautern (siehe Abbildung 31) und hat eine Fläche von 9.297 km². Die Einwohnerzahl beträgt 11.048 Personen (Stand 30.06.2018).

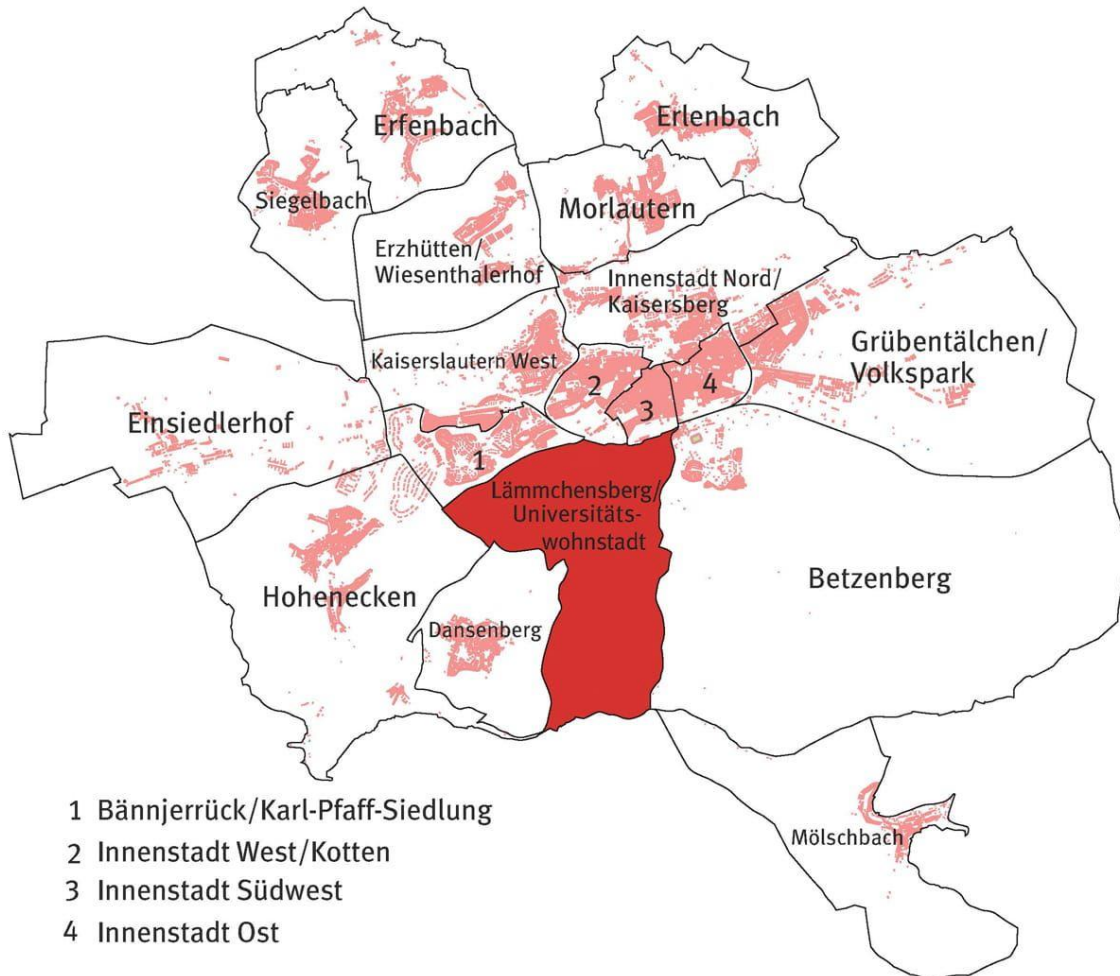


Abbildung 31: Lage des Stadtgebietes Lämmchensberg/Universitätswohnstadt

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Stadt Kaiserslautern o. A.

Die Analyse der Bebauung des Stadtteils ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Es folgt dann die Gesamtübersicht des Stadtteilplanes mit den einzelnen Bebauungsarten.

Stadtteil Lämmchensberg/Universitätswohnstadt				
	Bauweise	Anteil	Geschosse	Hinweis
Fläche		9,297 km ²		
Einwohner		11.048		Stand 30.06.2018
Einfamilien- / Doppelhäuser	offen	ca. 35 %	ca. 2,5	grüne Markierung
Reihenhäuser	offen	ca. 10 %	ca. 2,5	gelbe Markierung
Mehrfamilienhäuser	offen	ca. 20 %	ca. 2,5 – 12	rote Markierung
Blockbebauung	geschlossen	ca. 15 %	3,0 – 7,	blaue Markierung
Sonstige Bebauung	offen + geschlossen	ca. 20 %		schwarze Markierung

Tabelle 10: Analyse der Bebauung des Stadtteils Lämmchensberg/Universitätswohnstadt

2. Ergebnis Analyse der Bebauung in Kaiserslautern

2.1. Übersicht zu den Stadtteilen

In den vorherigen Kapiteln wurden die Bebauungen der einzelnen Stadtteile detailliert erläutert. Die nachfolgende Tabelle stellt die Einzelergebnisse zusammenfassend dar.

Stadtteil	Fläche	Einwohner	Gebäudeart (in %) ⁸				
			km ²	Personen	EFH/ DHH	RH	MFH
Innenstadt Nord/Kaisersberg	4,140	9.017	25	10	15		
Innenstadt Ost	1,266	11.444				85	15
Innenstadt Südwest	0,875	8.883				90	10
Innenstadt West/Kotten	1,638	10.935	10	10	10	60	10
Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung	2,429	5.360	40	15	25		20
Betzenberg	30,208	4.758	35	20	30	10	5
Grubentälchen/ Volkspark	17,845	9.889	20	5	15	25	35
Kaiserslautern West	4,640	8.517	25	5	10	10	50
Lämmchensberg/ Universitätswohnstadt	9,297	11.048	35	10	20	15	20

Tabelle 11: Übersicht Analyse der Bebauung in Kaiserslautern

Die Analyse der Bebauung verdeutlicht die unterschiedlichen Einwohnerdichten der einzelnen Stadtteile Kaiserslauterns. Die Stadtteile Innenstadt Ost und Innenstadt West/Kotten weisen die höchsten Einwohnerdichten auf. Dagegen sind die Stadtteile Betzenberg, Grubentälchen/Volkspark und Lämmchensberg/Universitätswohnstadt die Stadtteile mit den größten Flächen, jedoch relativ geringer Einwohnerzahl bezogen auf den Quadratkilometer.

⁸ EFH Einfamilienhaus / DHH Doppelhaushälfte / RH Reihenhaus / MFH Mehrfamilienhaus / Block Blockbebauung mit überwiegender Wohnnutzung

2.2. Standortempfehlung für Warnmittel

Auf Basis der Analyse der Bebauung des Stadtbereiches Kaiserslautern können abschließend mögliche Standortempfehlungen für die Evaluation der Warnmittel abgeleitet werden.

Aus technischer Sicht sollen für die einzelnen Standorte der Warnmittel folgende Kriterien erfüllt sein:

- Hohe Einwohnerdichte
- Messung der Schallausbreitung bei unterschiedlichen Bebauungsarten
- Bewertung der Schallbeeinflussung durch lärmintensive Schallquellen wie z. B. Straßenverkehr, Bahnverkehr usw.

Für die technisch-wissenschaftliche Evaluation der Warnmittel stehen vier Warnmittel zur Verfügung. Mit dieser Prämisse und unter Beachtung der zuvor genannten Kriterien bieten sich folgende Standorte zur Aufstellung der Warnmittel an:

- Innenstadt West/Kotten:
 - o dichte, überwiegend geschlossene Bebauung in mehrgeschossiger Bauweise
 - o hohe Bevölkerungsdichte
 - o geschlossene Bebauung mit „Straßenschluchten“
- Innenstadt Ost:
 - o dichte Bebauung in mehrgeschossiger Bauweise
 - o typisch innerstädtischer Bereich mit Fußgängerzone, Theater, Einzelhandel
 - o hohe Bevölkerungsdichte
 - o geschlossene Bebauung mit „Straßenschluchten“
- Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung:
 - o Bebauung mit Einfamilienhäusern
 - o offene Bebauung

Die technische Evaluation soll gleichzeitig mit der sozialwissenschaftlichen Evaluation durchgeführt werden. Daher sollte zum Zeitpunkt der Evaluation eine möglichst hohe Anzahl an Passantinnen und Passanten zur Befragung im Rahmen der sozial-wissenschaftlichen Evaluation zur Verfügung stehen. Vor diesem Hintergrund scheidet der Stadtteil Bännjerrück/Karl-Pfaff-Siedlung aus, da dort nicht mit einer hohen Personenfrequenz während der Evaluation zu rechnen ist.

3. Physikalische Grundlagen der Schallausbreitung

Für die Betrachtung des Forschungsprojektes in der Stadt Kaiserslautern werden im folgenden Kapitel die theoretischen Grundlagen des Themengebietes Schall ausgearbeitet. Hierfür wird auf die grundlegenden physikalischen Aspekte in Bezug auf den Schall und die Schallausbreitung eingegangen.

3.1. Erläuterungen “Schall“

Als **Schall** bezeichnet man im Allgemeinen alle äußeren Einflüsse, die man mit dem menschlichen Gehör wahrnehmen kann. Der Schall wirkt dabei als mechanische Schwingung, welche durch verschiedene Medien geleitet wird. Dabei gibt es nur einen bestimmten Frequenzbereich, nämlich von 16 bis 20.000 Hertz, den das menschliche Gehör wahrnehmen kann.⁹

Für die Entstehung des Schalls wird eine Schallquelle benötigt. Diese muss in der Lage sein, ein Medium in Schwingung zu versetzen. Dieser Vorgang wird auch „ein Medium anregen“ genannt. Das Medium, also die Umgebungssituation, kann dabei in den drei Aggregatzuständen fest, flüssig oder gasförmig vorkommen. Die Art des Mediums und seine Beschaffenheit haben, ebenso wie die Schallquelle selber, große Auswirkung auf die Wirkung des Schalls auf den Menschen. Durch das Anregen des Mediums werden die jeweiligen Teilchen in der direkten Umgebung in eine wellenartige Bewegung versetzt. Diese fortlaufende Bewegung der Teilchen sorgt für eine Schallwelle, die sich im Medium fortbewegt.

Man spricht bei dieser fortlaufenden Bewegung auch von einer Schallausbreitung. Dabei nehmen die Frequenz und die Wellenlänge Einfluss auf die endgültige Wirkung des Schalls. Bei der Schallausbreitung kommt es durch verschiedene Aspekte zu einer Dämpfung der Lautstärke des Schalls. Dabei kann die Wirkung des Schalls durch die Entfernung oder beispielsweise durch die Absorptionswirkung des Mediums verringert werden. Die Welle gelangt schließlich an den menschlichen Gehörgang und der Reiz wird vom Gehirn verarbeitet.¹⁰

3.2. Schallquellen

Die Schallquelle ist der Ursprung der Schallwelle. Unabhängig von jedem Medium werden von der Schallquelle Teilchen in Bewegung gebracht. Diese Anregung setzt sich je nach Wellenlänge beziehungsweise Frequenz fort und sorgt für die mechanische Schwingung in einem Medium. Alle Dinge, die Teilchen verdrängen können, sind in der Lage, eine Schallquelle zu sein. Dies kann beispielsweise ein Stein bei der Verdrängung von Wassermolekülen oder beim Sprechen die Verdrängung von Luftmolekülen durch die Stimmbänder sein.

Es gibt unterschiedliche Arten von Schallquellen. Eine Schallquelle wird beispielsweise als **Punktschallquelle** bezeichnet, wenn die ausgesendeten Schallwellen von einem Punkt ausgehen. Bei dieser Quelle breitet sich der Schall in konzentrisch-kugelförmigen Wellen aus. Allerdings ist diese Betrachtung nur unter idealen, homogenen Randbedingungen möglich.¹¹ Bei der konzentrisch-kugelförmigen Schallausbreitung sollte es zu keiner Reflexion oder Absorption des Schalls kommen. Für Betrachtungen im Freien ist dies jedoch nicht vollkommen gegeben, dennoch nimmt man diese Bedingung näherungsweise an.¹² Für das Forschungsprojekt in der Stadt Kaiserslautern wird eine Lautsprecheranlage verwendet, die so eine Punktschallquelle darstellt.

⁹ Vgl. Reinhard 2009, S. 33.

¹⁰ Vgl. Zünd 2020.

¹¹ Vgl. Willems 2017, S. 540.

¹² Vgl. Henn 2008, S. 215.

Eine **Linienquelle** bezeichnet eine Schallquelle, die nicht von einem direkten Punkt, sondern von einer länglichen Quelle ausgeht. Dadurch ergibt sich nicht eine kugelförmige Ausbreitung, sondern eine Schallwelle, die sich wie eine zylindrische Oberfläche ausbreitet. Ein Beispiel für eine solche Linienquelle ist eine vielbefahrene Straße oder Bahntrasse, wobei dort die Schalleistung nicht durchgehend gleich ist.¹³

3.3. Medium

Das Medium ist die direkte Umgebungssituation der Schallquelle. Der Zustand des Mediums kann dabei die Aggregatzustände fest, flüssig oder gasförmig annehmen. Je nach Umgebungssituation ist der Aggregatzustand vorgegeben. Eine wichtigere Unterteilung der Ausbreitungsmedien ist die nach Festkörpern und Fluiden, also nach festen und flüssigen Stoffen. Man spricht von einem akustischen Ausbreitungsmedium. Der Schall benötigt eine solche Substanz, um sich ausbreiten zu können.¹⁴

Man benötigt somit bewegliche Teilchen, die in der Lage sind, angeregt zu werden. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass eine Schallausbreitung im Raum ohne Materie, also im Vakuum, nicht möglich ist. Bei der Ausbreitung des Schalls gibt es große Unterschiede zwischen den verschiedenen Zuständen des Mediums und deren Beschaffenheit. Diese haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Schallgeschwindigkeit und somit auf die Wellenlänge.

3.4. Schallwellenarten

Beim Schall entsteht eine wellenartige, sich fortbewegende mechanische Schwingung. Dabei kann es zu verschiedenen Schallwellenarten kommen. Man unterscheidet die Arten der Schallwellen nach ihrem jeweiligen Ausbreitungsmedium. Neben Luftschall und Wasserschall gibt es auch den Körperschall.

Der **Luftschall** wird dabei von Menschen am meisten wahrgenommen, da man die meiste Schallübertragung über das Medium Luft wahrnimmt. Für den Menschen gibt es nur einen bestimmten hörbaren Frequenzbereich.¹⁵ Der Luftschall breitet sich als Luftschallenergie in kugelförmiger Anordnung von der Schallquelle in der Luft aus.¹⁶ Die mechanische Schwingung gelangt entweder direkt zum Empfänger oder über Umwege, z. B. infolge einer Reflexion. Je nach Art und Häufigkeit der Reflexion nimmt die Schalleistung ab.

Der Schall im Medium Wasser wird als **Wasserschall** bezeichnet. Bei der Übertragung von Wasserschall werden Wassermoleküle durch die mechanische Schwingung der Schallquelle verdrängt und geben den Schall an weitere Wasserteilchen weiter. Ebenso wie beim Luftschall breitet sich die Schwingung je nach Wellenlänge und Frequenz weiter aus.

Beim **Körperschall** erfolgen die mechanischen Schwingungen über ein festes Medium. Dieser Schall wird durch den Menschen ausschließlich taktil wahrgenommen. Allerdings wird der Körperschall von der Oberfläche des schwingenden Festkörpers in Luftschall umgewandelt, der dann wieder für den Menschen hörbar ist. Dabei verhält sich die durch den Körperschall schwingende Oberfläche wie eine bewegliche Membran. Das Schwingen des Festkörpers führt wiederum dazu, dass die Luft zum Schwingen gebracht wird und ein Luftschall entsteht.¹⁷

¹³ Herrmann 2004.

¹⁴ Vgl. Bernhard 2018.

¹⁵ Vgl. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2018, S. 27).

¹⁶ Vgl. Blöser 2018.

¹⁷ Vgl. Zünd 2020.

3.5. Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit beschreibt die Geschwindigkeit, mit der sich eine mechanische Schwingung, also die Schallwelle, in einem Medium ausbreitet. Diese ist abhängig vom jeweiligen Medium.¹⁸ Die Einheit der Schallgeschwindigkeit ist Meter pro Sekunde (m/s). Die Schallgeschwindigkeit ist im Medium Luft allgemein abhängig von Elastizität, Dichte und Temperatur. Für das Forschungsprojekt in Kaiserslautern ist das Ausbreitungsmedium bei der Betrachtung der Schallausbreitung die Luft.¹⁹

3.6. Frequenz

Die Frequenz gibt in der Akustik die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an. Daher spricht man auch von der Schwingungszahl. Dabei ist die Frequenz der Kehrwert der Periodendauer und wird in der SI-Einheit Hertz ($\text{Hz} = T^{-1}$) angegeben. Je nach Anzahl der Schwingungen und Intensität des Schalldruckes wirkt sich der ausgehende Schall unterschiedlich auf den Menschen aus.²⁰ Bei einer Frequenz im hörbaren Bereich kann es unter anderem zu einem reinen Ton, zu Geräuschen oder zu Klängen kommen²¹. Grundsätzlich wird der Frequenzbereich in für das menschliche Ohr als „wahrnehmbar“ und „unhörbar“ eingeteilt. Der für das menschliche Gehör wahrnehmbare Frequenzbereich liegt bei 16 bis 20.000 Hertz.

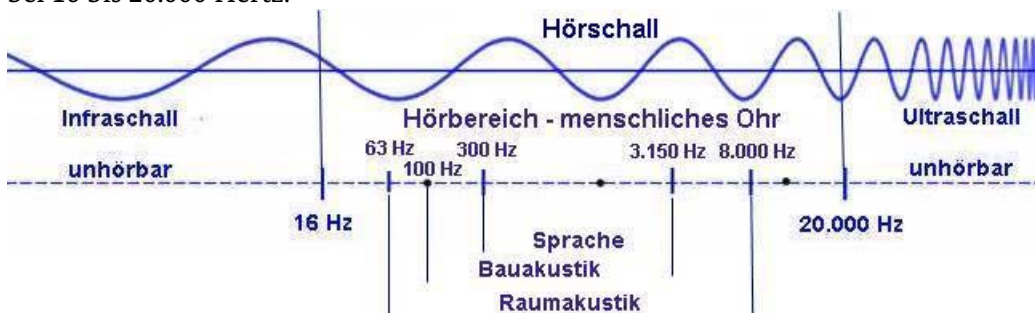


Abbildung 33: Frequenzen des Schalls

Quelle: Bosy o.D.

Zu den nicht hörbaren Schallfrequenzen gehören der Infraschall und der Ultraschall. Dabei ist der Ultraschall die obere Grenze des Frequenzbereiches, den das menschliche Ohr noch wahrnimmt. Diese Grenze verschiebt sich mit zunehmenden Lebensjahren hin zu tieferen Frequenzen.²² Bei der Betrachtung der menschlichen Sprache geht man laut Abbildung 33 von einem Frequenzbereich von ca. 300 bis 3.150 Hertz aus.

3.7. Schalldruckpegel

Der Schall breitet sich als mechanische Schwingung aus und überträgt damit eine Druckschwankung. Dabei ist der Schalldruck die vom Gehör wahrgenommene physikalische Größe. Der Schalldruckpegel wird als physikalische Größe des Schalldruckes in Pascal in der SI-Einheit Dezibel (dB) deklariert. Er ist eine logarithmische Funktion, die in Abhängigkeit von dem Schalldruck der Bezugsgröße definiert wird²³. Die Bezugsgröße stellt den Wert dar, der als Hörschwelle bezeichnet wird. Mit dem Schalldruck der Hörschwelle und einer Formel kann der Schalldruckpegel in dB bei einem gesuchten Schalldruck

¹⁸ Vgl. Willems 2012, S. 47.

¹⁹ Bei + 20 ° C.

²⁰ Vgl. Willems 2012, S. 44.

²¹ Vgl. Willems 2017, S. 430.

²² Vgl. Henn 2008, S. 183.

²³ Vgl. Willems 2012, S. 47.

ermittelt werden. Dabei haben verschiedene Lärmereignisse unterschiedliche Schalldrücke. Die Schmerzgrenze des menschlichen Gehörs liegt bei einem Schalldruckpegel von 120 dB.

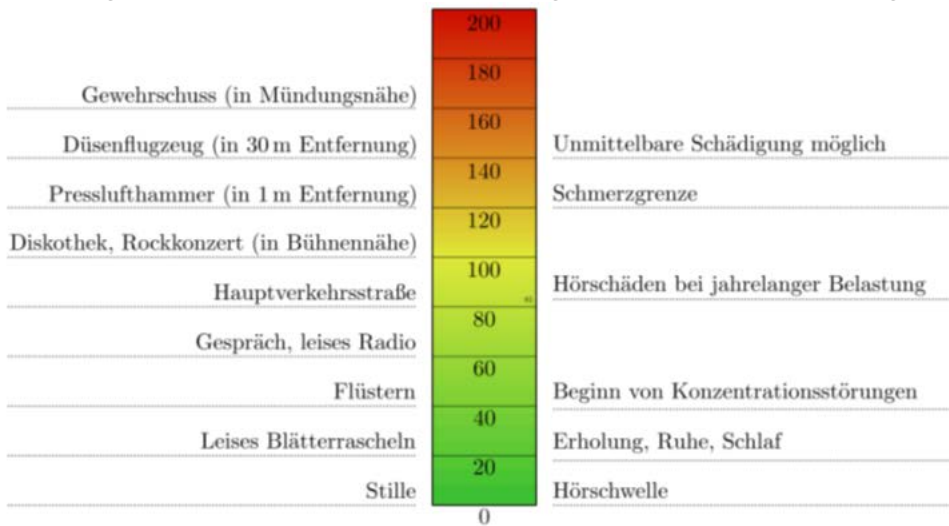


Abbildung 34: Beispiele für Lärmereignisse mit dem dazugehörigen Schalldruckpegel in db

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an die Städtebauliche Lärmfibel, 2018, S.38.

Dieselben Pegelwerte können durchaus unterschiedlich vom Menschen wahrgenommen werden. Das liegt daran, dass der Mensch Töne mit gleichem Schalldruck bei verschiedenen Frequenzen unterschiedlich laut empfindet. Mittelhohe Töne mit dem gleichen Schalldruck werden lauter empfunden als vergleichsweise tiefe oder sehr hohe Töne.²⁴ Daher werden diese Lautstärkeempfindungen mit einer Frequenzbewertungskurve abgeändert, um eine auf den Gehörgang zugeschnittene Pegelgröße zu erhalten. Man spricht dabei von bewertetem Schalldruckpegel. Nach DIN EN ISO 16032 differenziert man zwischen den Kurven A und C.²⁵

Die in der Praxis relevante A-bewertete Kurve beschränkt sich auf die Lautstärke im Bereich des schmerzfreen Hörens, um die Schallpegel auf die Empfindung des menschlichen Gehörganges darzustellen. Der Schallpegel wird dann in der Einheit dB (A) ausgedrückt.²⁶ Wie in Abbildung 35 zu sehen, wird zur Vereinfachung die Kurve in Abhängigkeit von der Frequenz und den jeweiligen Schallpegelkorrekturen angegeben.

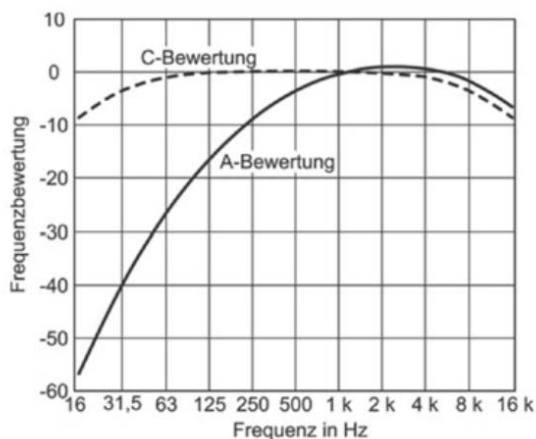


Abbildung 35: Frequenzbewertungskurven A und C

Quelle: Willems 2017, S. 437.

²⁴ Vgl. Willems 2017, S. 437.

²⁵ Verweis DIN EN ISO 16032: 2004-12.

²⁶ Vgl. Willems 2012, S. 47.

3.8. Hören – Wahrnehmung und Wirkung

Unter dem Begriff Hören versteht man die Sinneserfassung von Schall. Für das Forschungsprojekt in Kaiserslautern ist dies auf die Wirkung des Luftschalls begrenzt worden. Beim Medium Luft muss eine Anregung erfolgen, um die Schwingung der Luftmoleküle zu gewährleisten. Diese wirken je nach Anregung unterschiedlich. Es kann zu einem Ton mit einer beliebigen Frequenz kommen und je nach Frequenzbereich wirkt der Ton dann höher oder tiefer. Der für das menschliche Gehör wahrnehmbare Frequenzbereich ist dabei vergleichsweise gering. Dieser liegt im Frequenzbereich von 16 bis 20.000 Hertz und wird auch Hörfläche genannt.²⁷ Hierbei geht man von einem gesunden Gehörgang aus. Insbesondere das Gehör von älteren Menschen nimmt im Laufe der Zeit sehr hohe beziehungsweise tiefe Töne nicht mehr richtig verständlich wahr. So liegt die durchschnittliche Hörgrenze bei 60-Jährigen bei ca. 5.000 Hertz. Der Verlust von 20.000 auf 5.000 Hertz klingt nach sehr viel, allerdings betrifft dieser Frequenzbereich nur einen geringen Teil der Sprachverständlichkeit. Der Frequenzbereich von 50 bis 5.000 Hertz ist im Gegensatz dazu von großer Bedeutung für die Sprachverständlichkeit des Menschen.²⁸

Für die Betrachtung der Wirkung des Schalls ist auch die Lautstärke von enormer Bedeutung. Die Lautstärke wird mittels des Schalldruckpegels in der SI-Einheit dB angegeben. Dabei gilt, je höher der Druck, desto höher der entstehende Schalldruckpegel. Die Schmerzgrenze liegt dann je nach Frequenz bei etwa 120 dB. Die Hörschwelle, also die Schwelle, ab der ein gesundes menschliches Ohr den Schall wahrnimmt, liegt bei 0 dB. Die Hörschwelle von älteren Menschen steigt an, so dass sie leise Töne nicht ausreichend hören können.

In Abbildung 36 ist das Hörvermögen eines gesunden Menschen dargestellt. Dabei befinden sich die Hörschwelle und die Schmerzgrenze je nach Frequenz des Schalls bei unterschiedlichen Pegeln. Außerdem wird in dieser Darstellung die Wirkung der jeweiligen Frequenzen in Bezug auf den Pegel beachtet. Das bedeutet, dass man einen Ton mit 80 dB bei 300 Hertz anders empfindet als einen Ton mit 80 dB bei einer Frequenz von 1.000 Hertz. Es gehen somit die Empfindlichkeiten der jeweiligen Frequenzen in die Darstellung ein. Aus der Abbildung wird auch deutlich, dass der Schalldruck in Abhängigkeit zu verschiedenen Frequenzen stark schwankt. Im Frequenzbereich zwischen 2.000 Hz und 5.000 Hertz ist der Schalldruck für das menschliche Hören am geringsten.²⁹ Somit erhält man mit Frequenzen in diesem Bereich die beste Schallwirkung bei vergleichsweise geringem Schalldruckpegel.

²⁷ Vgl. Willems 2017, S. 435.

²⁸ Vgl. Henn 2008, S.185.

²⁹ Vgl. Willems 2017, S. 435.

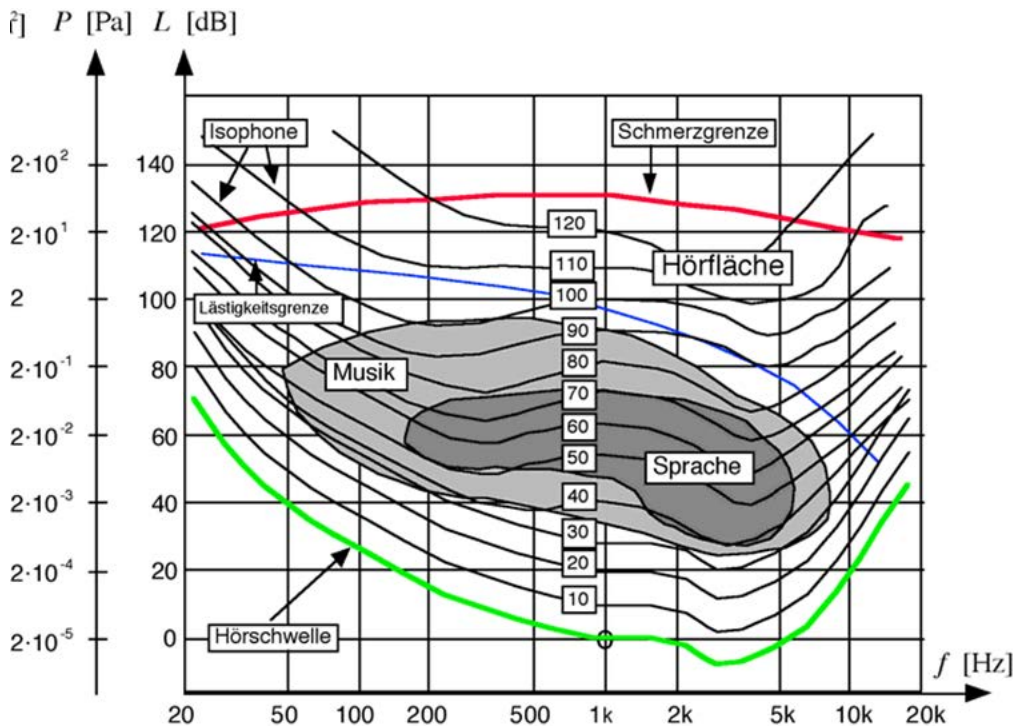


Abbildung 36: Hörvermögen Mensch in Abhängigkeit zur Frequenz

Quelle: Sigal 2005.

Bei dem am Ohr ankommenden Schall unterscheidet man zwischen Nutzschall und Störschall. Dabei ist das Gehirn in der Lage, Informationen zu filtern und nur die Schallanteile von bestimmten Schallquellen wahrzunehmen. Das Gehör stellt sich auf eine einzige Schallquelle ein und extrahiert den Störschall. Der Schallanteil, auf den sich das Gehirn konzentriert, wird dann lauter wahrgenommen als die Störanteile. Dieses Phänomen wird auch als Cocktail-Party-Effekt bezeichnet. Dabei werden die störenden Schallanteile vom Gehirn dennoch verarbeitet und nach der jeweiligen Bedeutung ausgewertet. Im Falle einer unmittelbaren Gefahr ist der Mensch in der Lage, auf diese angemessen zu reagieren. Dabei spielen verschiedene Schallquellen eine Rolle, insbesondere die Klänge von Lautsprecheranlagen werden schnell wahrgenommen. Dieser Umstand ist wichtig für das Forschungsprojekt in Kaiserslautern.

Die Schallausbreitung im Freien durch eine Lautsprecheranlage kann von den Empfängern schnell wahrgenommen und direkt zugeordnet werden. Bei den typischen Geräuschen einer Lautsprecheranlage sollte eine ausreichende Aufmerksamkeit der Menschen gewährleistet sein, da es sich bei den Geräuschen aus einer Lautsprecheranlage bzw. einer Sirene um Töne handelt, die sehr untypisch im Alltag der meisten Menschen sind. Diese werden deutlich anders wahrgenommen und ein Großteil der Menschen verhält sich dann auch gemäß den Anweisungen des Warnmittels.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Bevölkerungsreaktion infolge eines bestimmten Lärmereignisses. Diese Reaktion ist jedoch immer abhängig von der individuellen Disposition und von der akuten Situation. Menschen, die aufgrund ihres Alters oder durch Erkrankung an Hörschäden leiden, ist eine geringere Reaktion auf bestimmte Lärmereignisse zuzuschreiben. Somit können auch mit dem lautesten Warnmittel nicht alle Menschen gleichmäßig gewarnt bzw. informiert werden. Die Bevölkerungsreaktion kann je nach Pegelwert unterschiedlich dargestellt werden. Mit einem Pegelwert von > 65 dB erreicht man bis zu 70 Prozent der Bevölkerung. In der folgenden Tabelle sind verschiedene Umgebungsgeräuschssituationen mit den jeweiligen Pegelwerten in dB (A) aufgeführt. Des Weiteren sind anteilig

die Bevölkerungsreaktionen dargestellt, also der Wert, bei dem ein gewisser prozentualer Anteil der Bevölkerung auf ein Schallereignis aufmerksam wird.

Pegelwert [dB (A)]	Schallereignis
> 120	Gehörschäden
> 110	Konzert
80 – 90	Lkw-Verkehr
70 – 85	Pkw-Verkehr
ab 65	Bevölkerungsreaktion (60 bis 70 %)
55 – 60	Zimmerlautstärke
40 – 50	Normale Unterhaltung
ab 45	Bevölkerungsreaktion (20 %)
20 – 30	Sehr ruhiges Zimmer

Tabelle 12: Beispielhafte Schallereignisse mit Pegelwerten

Quelle: Willems 2017, S. 435.

3.9. Dämpfung des Schalls

Die Schallausbreitung im Freien wird durch verschiedene Faktoren in ihrer Wirkung beeinflusst. Der Begriff Schalldämpfung beschreibt dabei eine Behinderung der Schallausbreitung von entstehenden Schallereignissen durch Absorption von Luftschall. Dabei wird die Schallenergie einer Schallquelle durch die Dämpfung in Bezug auf den Schalldruckpegel beeinflusst.³⁰

Der größte Faktor der Beeinflussung des Schalls ist durch den Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger definiert. Mit jedem Meter Abstand wird auch der Pegel geringer. Dabei werden die kugelförmige Ausbreitung des Schalls berücksichtigt sowie die dadurch wirkende Dämpfung des Pegels am Immissionsort. Ein weiterer Dämpfungsfaktor ist die Luftabsorption, also die Dämpfung infolge von Luftmolekülen. Diese sind abhängig von der Temperatur und der relativen Luftfeuchte.

Des Weiteren wird der Luftschall durch dämpfende oder schallbegünstigende Bodeneffekte beeinflusst. Bei porösem Boden kommt es zu einer Absorption des Schalls, auf hartem Boden wirkt der Boden als Reflexionsfläche und leitet den Schall weiter.

Ein weiterer Faktor ist die Beeinflussung durch Hindernisse, die eine Abschirmwirkung darstellen. Hier kommt es zu einer Dämpfung des Schalls. Dazu gehört auch der Aspekt von schallabsorbierenden Baustoffen, die häufig im Stadtgebiet verwendet werden, um die Schallausbreitung zu minimieren. Weitere spezielle Faktoren sind die Dämpfung durch Gebiete mit Bewuchs oder Industrieanlagen. In diesen Fällen kommt es auch zu Absorptionseffekten des Schallweges aufgrund der Beschaffenheit dieser Gebiete.

Der Schall wird auch durch den Wind beeinflusst. Bei Gegenwind stellt sich eine niedrigere Schallausbreitung im Freien ein als bei einer Situation, bei der der Wind in Schallausbreitungsrichtung wirkt. Je stärker der Wind weht, desto größer sind die Wirkungen auf den entstehenden Schall.³¹

³⁰ Vgl. Reinhard 2009, S.35.

³¹ Vgl. Henn 2008, S. 230.

4. Schallausbreitung im Freien

Für das Forschungsprojekt in Kaiserslautern ist der Einsatz von Warnmitteln in Form von „Smarten Laternen“ geplant. Im Rahmen einer technischen Evaluation soll analysiert werden, wie sich der Schalldruckpegel der Warnungen im Freien ausbreitet.

Zur Ermittlung der Schallausbreitung im Freien werden verschiedene Rechenmodelle angesetzt, die nachfolgend anhand der dargestellten Richtlinien, Normen und angewendeten Rechenverfahren erläutert werden.

4.1. Regelwerk Schall

Es gibt bei der Betrachtung von Schall mehrere Aspekte hinsichtlich des Regelwerkes zu berücksichtigen. Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) ist eine Unterscheidung geregelt. Zunächst gibt es die Emission, also den ausgehenden Lärm. Bei der Transmission handelt es sich um die Schallausbreitung. Bei der Immission geht es um die einwirkende Schallbelastung auf Menschen und Tiere. Für all diese Teilaspekte gibt es Normen und Richtlinien.³²

Die meisten Normen und Richtlinien des Schalls beziehen sich auf den Schallschutz und somit auf die Auswirkungen der Lärmimmissionen. Hierbei werden Grenzwerte gesetzt, die in verschiedenen Gebieten eingehalten werden müssen. Dafür gibt es unterschiedliche Regelungen wie beispielsweise Normen oder die „Technische Anleitung zum Schutz von Lärm“ (TA Lärm).³³ Bei einer innerstädtischen Lautsprecheranlage, die bei einem Gefahrenereignis möglichst viele Menschen informieren muss, sind diese einzuhaltenden Werte nicht von Bedeutung.

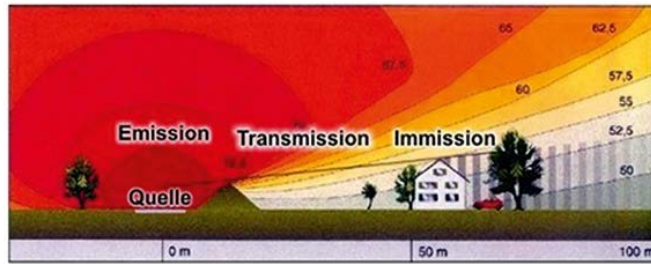
Neben der Immission gibt es auch die Emission, also den von der jeweiligen Schallquelle ausgehenden Lärm. Dabei werden insbesondere die Arten der Schallquellen aufgeführt und deren direkte Lärmausbreitung mithilfe von Grenz- oder Richtwerten eingedämmt. Diese beziehen sich allerdings nur auf Lärm am maschinenbestückten Arbeitsplatz.

Die Normen und Richtlinien der Transmission beinhalten die Ermittlung der Schallausbreitung im Freien. Diese Betrachtung ist wichtig für lärmtechnische Gutachten von geplanten Windkraftanlagen oder Industrieanlagen, die hinsichtlich ihrer Lärmbelastigung für Bestandsbauten geprüft werden müssen.

In der folgenden Abbildung erkennt man die Normen und Richtlinien für den Schall, aufgeteilt in Emission, Transmission und Immission.

³² Vgl. Bundes-Immissionsschutzgesetz Deutschland 2018.

³³ Verweis TA Lärm 2017.



Emission: DIN 45635	Ausbreitung: DIN ISO 9613-2	Immission: DIN 45641	Situation
Abstrahlung: DIN EN 12354-1	Abschirmung: VDI 2720	Wertung: TA Lärm	
Aktiv: DIN EN 11690 VDI 3720/2		Passiv: DIN 4109 VDI 2719 VDI 4100	Minderung
16. BImSchV RLS-90, Schall 03 18. BImSchV DIN 18005			

Abbildung 37: Regelwerk Emission, Transmission und Immission
 Quelle: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau 2018.

Abbildung 37 ist Bestandteil der Lärmfibel. Diese gibt Hinweise für die Bauleitplanung und zeigt auf, wie Lärm vermieden werden kann. Für die Teilbereiche Emission, Transmission und Immission sind unterschiedliche Normen und Richtlinien aufgeführt, die einen Beitrag zur Minderung des Lärmes leisten können.³⁴

Bei der Schallausbreitung der Warnsignaleinrichtung müssen so viele Leute wie möglich informiert werden. Daher muss der ausgehende Schall laut sein und es ist zu klären, wie die Schallausbreitung durch die Umgebungsverhältnisse eingeschränkt werden könnte. Für diese Analysen sind daher die Normen und Richtlinien der Transmission relevant.

Die DIN ISO 9613-2 ist die vereinheitlichte Norm für die Ermittlung der Schallausbreitung. Dabei wird das erzeugte Schallereignis unter Berücksichtigung verschiedener Dämpfungsfaktoren in einem bestimmten Abstand ermittelt. Diese Norm bildet unter anderem die Grundlage für die Berechnungen in dieser Ausarbeitung.

Neben den Regelwerken gibt es auch Faustformeln oder allgemeingültige Rechenmodelle für die Schallausbreitung im Freien. Diese Rechenmodelle ermöglichen überschlägige Ausbreitungsprognosen für Schall. Sie liefern allerdings Ergebnisse, die nicht so genau wie die Berechnungen nach der Norm sind, da beispielweise verschiedene Dämpfungsfaktoren nicht in die Ermittlung der Schallausbreitung einfließen. Derartige Ergebnisse stellen Faustwerte dar, die gegebenenfalls als Näherungswerte angesehen werden können.

³⁴ Vgl. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau 2018, S. 31.

4.2. Norm DIN ISO 9613-2

Im Folgenden wird die im Jahr 1999 publizierte Norm DIN ISO 9613-2 „Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien; Teil 2: Allgemeines Verfahren“ betrachtet. Mithilfe dieser Norm wird ein Rechenverfahren dargestellt, das der Genauigkeitsklasse II zugeordnet wird.³⁵

Die Norm zeigt ein Verfahren zur Berechnung der Dämpfungseinflüsse bei der Ausbreitung des Schalls im Freien auf. Sie ermöglicht es, den Lärmpegel von Geräuschimmissionen, der durch Umgebungs-dämpfungen beeinflusst wird, in bestimmten Abständen vorausberechnen. Das Rechenverfahren kann man auch als Prognoseverfahren bezeichnen, da hierbei die mögliche Schallimmission ermittelt wird. Dafür werden die verschiedenen Dämpfungsfaktoren ermittelt, die sich durch geometrische Ausbreitung, Luftabsorption, Bodeneffekte, Abschirmung und andere Effekte ergeben.

Als „andere Effekte“ bezeichnet die Norm die Dämpfung durch Bebauung, Industriegelände und Bewuchs. Die Emissionsquelle bzw. Schallquelle kann dabei beweglich oder feststehend sein. Außerdem gilt die Norm nur für Schallquellen, die bodennah sind. Das Rechenverfahren bezieht sich speziell auf Oktavbänder mit Bandmittenfrequenzen von 63 bis 8.000 Hertz. Mithilfe einer in der Norm dargestellten Umrechnung lassen sich diese auch als A-bewertete Schallpegel angeben. Die Anwendbarkeit der Norm DIN ISO 9613-2 beschränkt sich auf Schallquellen aus Straßenverkehr, Industrielärm, Bautätigkeiten und andere bodennahe Schallquellen. Sie lässt sich dabei insbesondere auf die meisten Schallmessungen von Straßen- und Schienenverkehr, Bautätigkeiten und Schallquellen aus dem Industriebereich anwenden.³⁶

Bei der Ermittlung der Schallausbreitung im Freien wird nach Kapitel 9 der Norm eine schallausbreitungsgünstige Witterungsbedingung vorausgesetzt. Diese zeichnet sich durch mäßige Windgeschwindigkeiten von 1 m/s bis zu 5 m/s, die in einer Höhe von 3 bis zu 11 Metern vom Boden ermittelt werden, aus. Die Windrichtung wird in der Norm innerhalb eines Windrichtungswinkels von +/- 45° in Richtung der hauptsächlichen Schallausbreitung angenommen. Man spricht dabei von leichtem Mitwind, der für die rechnerische Ermittlung vorausgesetzt wird.³⁷

Bei der Anwendung in der Praxis soll mit dem Rechenverfahren aufgezeigt werden, welche Schallpegel sich durch potenziell neue Schallquellen in der Umgebung einstellen können. Dabei wird es für neu entstehende, lärmintensive Bebauung verwendet, um die Lärmereignisse an der Bestandsbebauung zu ermitteln. Des Weiteren wird das Verfahren für die Lärmprognose für neugeplante Straßen in der Nähe von Bebauung verwendet. Außerdem werden mithilfe einer Modifikation der Norm auch Schallimmissionsgutachten für geplante Windkraftanlagen erstellt.

Bei der Betrachtung der DIN ISO 9613-2 „Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien; Teil 2: Allgemeines Verfahren“ handelt es sich um eine Rechnung, die einen prognostizierten Schallpegel ermittelt. Dabei gibt es mehrere Faktoren, die gerade bei der Schallausbreitung im Freien zwischen Schallquelle und Immissionsort die Genauigkeit beeinflussen.³⁸ Im Grunde hängt die Genauigkeit der Prognose in gewissem Maß von der Genauigkeit der Eingabeparameter ab.³⁹ Es werden nach DIN ISO 9613-2 viele verschiedene Parameter eingegeben, die möglichst zuverlässig bestimmt werden müssen.

³⁵ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 9, Genauigkeit.

³⁶ Vgl. Willems 2019, S. 541.

³⁷ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 5, Witterungsbedingungen.

³⁸ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 9, Genauigkeit.

³⁹ Vgl. Willems 2019, S. 541.

Zum einen sind die Ermittlungen der verschiedenen Dämpfungen von entscheidender Bedeutung. Bei einigen, z. B. der Dämpfung durch die Bebauung, werden Näherungswerte angenommen, die sich in der Realität als abweichend darstellen können. Zum anderen sind die Dämpfungsfaktoren der Bodendämpfung laut Norm nur auf nahezu flaches Gelände beschränkt. Dadurch wird die Ermittlung der Schallausbreitung im Freien für topografisch schwierigeres Gelände ungenauer und eine realistische Beurteilung erschwert. Für alle Geländeformen, die nicht nahezu flach sind, kommt es bei der Ermittlung mit dem Normverfahren von Beginn an zu abweichenden Ergebnissen im Vergleich zur Realität.⁴⁰

Diese Ungenauigkeit der DIN ISO 9613-2 verschärft sich auch bei Nichteinhaltung der Grundvoraussetzungen der Norm. Dabei geht man von einer Mitwindrichtung in die Schallausbreitungsrichtung aus. Bei einer Änderung dieser Windrichtung ändern sich auch die Voraussetzungen der Schallausbreitung und führen gegebenenfalls zu einem höheren Immissionspegel. Dies macht eine Berechnung während eines Feldversuches schwierig, da man die potenziellen Ergebnisse immer nur in Windrichtung ermitteln kann. Dadurch kann man seine Ergebnisse vor Ort nicht eindeutig mit der Berechnung in alle Richtungen überprüfen. Das Gleiche gilt für eine plötzliche Veränderung der Windgeschwindigkeit. Ein Vergleich mit einer Messung im Feldversuch wird dadurch nahezu unmöglich. Und auch ganz allgemein herrschen nicht ständig die vorgegebenen Randbedingungen der Norm. In der Realität kann es zu anderen Windrichtungen beziehungsweise Windgeschwindigkeiten kommen, so dass die mit der Norm ermittelten Werte unrealistisch sind. Der Aspekt einer plötzlichen Veränderung der Windrichtungen oder der Windgeschwindigkeiten wird in der DIN ISO 9613-2 also nicht berücksichtigt.⁴¹

Eine physikalisch exaktere und präzisere Berechnung der Schallausbreitung im Freien ist mithilfe dieser Norm aus dem Jahr 1999 nur bedingt bzw. mit Abweichungen zur Realität möglich. Unter allen erdenklichen Einflussfaktoren gibt es Größen, die in der Realität abweichen und dadurch das Ergebnis der Rechnung verfälschen können. Außerdem werden in der Norm Witterungsbedingungen vorgegeben, die eine Ermittlung des Schalls bei abweichenden Wetterbedingungen nicht möglich machen. In der folgenden Tabelle werden die Genauigkeiten der Verfahren aufgeführt. Dabei werden die Dämpfungsfaktoren Reflexion und Abschirmung nicht beachtet, die wettertechnischen Randbedingungen entsprechend der Vorgaben der Norm müssen gegeben sein.

Höhe h	Abstand	
	0 < d < 100 m	100 m < d < 1000 m
0 < h < 5 m	± 3 dB	± 3 dB
5 m < h < 30 m	± 1 dB	± 3 dB
h – mittlere Höhe von Quelle zu Empfänger		
d – Abstand zw. Quelle und Empfänger		

Tabelle 13: Geschätzte Genauigkeit für Pegel LAT (DW)

Quelle: DIN ISO 9613-2:1999, Abschnitt 9: Genauigkeiten, Tabelle 5.

Bei dem Rechenverfahren der Genauigkeitsklasse II kann man davon ausgehen, dass es Abweichungen von etwa +/- 2 Prozent Standardabweichung zu den Ergebnissen in der Realität geben kann. Dennoch sind die Abweichungen zwischen Rechenergebnissen nach Norm und Schallmessungen vor Ort überwiegend durch situative Veränderungen bei Witterungs-, Boden- und Bebauungsverhältnissen zu erklären.

⁴⁰ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7, Dämpfungsfaktoren.

⁴¹ Verweis DIN ISO 9613-2: 1999, Abschnitt 9, Genauigkeit.

4.3. Berechnungsmodell nach Norm DIN ISO 9613-2

Die folgende rechnerische Erläuterung der DIN ISO 9613-2: „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2. Allgemeines Berechnungsverfahren“⁴² bezieht sich ausschließlich auf das konkrete Beispiel des Forschungsprojektes in der Stadt Kaiserslautern. Dazu wird als Schallquelle eine Warnsignaleinrichtung, hier eine Sirene mit zusätzlicher Sprachdurchsage, im Außenbereich verwendet. Diese stellt eine Punktschallquelle dar. Außerdem wird vereinfacht von einer festen Frequenz der Lautsprecheranlage ausgegangen. Diese Anlagen sollen im Innenstadtbereich der Stadt Kaiserslautern angebracht werden. Dafür müssen alle für die Dämpfungen relevanten Faktoren betrachtet und für die Ermittlung herangezogen werden.

Das Grundprinzip der Ermittlung der Schallausbreitung im Freien nach der Norm besteht darin, dass der Schalldruckpegel in dB am Emissionsort bekannt ist. Anhand der Umgebungssituation und deren dämpfender Wirkung wird ermittelt, wie sich der Schalldruckpegel an einer Stelle im definierten Abstand einstellt wird.

Das Rechenverfahren der Norm besteht aus den grundlegenden Formeln und insbesondere aus den verschiedenen Dämpfungsfaktoren. In den folgenden Kapiteln wird auf die rechnerische Ermittlung mit Hilfe des Verfahrens eingegangen.

4.3.1. Grundlegende Formeln der DIN ISO 9613-2

Die grundlegende Formel bei der Ermittlung der Schallausbreitung im Freien nach DIN ISO 9613-2 ermittelt den Dauerschalldruckpegel L_{fT} (DW) nach den Oktavbandmittelfrequenzen.

$$L_{fT} \text{ (DW)} = L_W + D_C + A$$

L_{fT} (DW) Oktavband-Schalleistungspegel der Punktschallquelle [dB]

D_C Richtungskorrektur [dB]

A Oktavbanddämpfung [dB]

Bei dem Oktavbandmittelfrequenz-Dauerschalldruckpegel handelt es sich um den ankommenden Schall an einem bestimmten Immissionsort. Dabei müssen die Randbedingungen der Messung nach der DIN ISO 9613-2 eingehalten werden. Die Richtwirkungskorrektur D_C gibt an, um wie viel der erzeugte Schalldruckpegel von der Schallquelle abweicht, wenn der Schall in eine ungünstige Richtung wirken sollte. Für die vorliegende Punktschallquelle, also die Warnsignaleinrichtung, wird $D_C = 0$ dB angesetzt, da es sich um eine „ungerichtete, ins Freie abstrahlende Punktschallquelle“ handelt.⁴³ Die Oktavbanddämpfung A beinhaltet alle Dämpfungsfaktoren, die nach DIN ISO 9613-2 betrachtet werden sollen: geometrische Ausbreitung, Luftabsorption, Bodeneffekte, Reflexion, Abschirmung und die Effekte von Bebauung, Bewuchs und Industriegelände.

Für den Dauerschalldruckpegel L_{AT} (DW) wird der Dauerschalldruckpegel des Oktavbandes L_{fT} (DW) benötigt. Die Ermittlung wird durch eine Umrechnung getätigt. Diese erfolgt für jedes Oktavband, also für jeden Frequenzbereich, und zwar durch das Aufaddieren der Punktschallquelle.⁴⁴

⁴² Verweis DIN ISO 9613-2 1999.

⁴³ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 6, Grundlegende Gleichung.

⁴⁴ Verweis DIN EN 60651 1994, Abschnitt 3, Schallpegelmesser-Begriffe.

Der äquivalente Oktavband-Dauerschalldruckpegel in dB bezieht sich auf jedes einzelne Frequenzband von 63 bis zu 8.000 Hertz. Der eingehende Wert des Schalldruckpegels ist eine nach der DIN EN 60651 genormte Größe, welche nach der A-Bewertung erfolgt ist.⁴⁵ Es wird von einer kurzzeitigen Einwirkungsdauer ausgegangen. Bei der Ermittlung einer Schallquelle mit nur einem Frequenzbereich entfällt diese Überlagerung der verschiedenen Frequenzbereiche und der Pegel des äquivalenten Oktavband-Dauerschalldruckpegels stellt sich auch beim Dauerschalldruckpegel ein. Bei nur einem Frequenzwert ergibt sich somit infolge dieser Gleichung auch der gleiche Schalldruckpegel für den Dauerschalldruckpegel.

Neben dem äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel $L_{AT}(DW)$ gibt es auch den äquivalenten A-bewerteten Langzeit-Mittelungspegel⁴⁶, der sich auf eine Langzeit-Einwirkungsdauer bezieht. Diese Einwirkung beschränkt sich auf mehrere Monate bis hin zu einem Jahr. In diesem ungenau definierten Zeitraum könnten theoretisch viele verschiedene Witterungsbedingungen auftreten. Diese können sich je nach Situation verschlechternd oder begünstigend auf die Schallausbreitung auswirken. Daher wird zur Bestimmung eines Langzeitverhaltens ein meteorologischer Korrekturwert in Bezug auf die kurzzeitige Einwirkungsdauer ermittelt. Dieser Korrekturwert bezieht die Auswirkungen der Schwankungen in die Berechnung der Langzeitwirkung mit ein. Er wird über die verschiedenen Höhen der Punktschallquelle, den Immissionsort und den projizierten Abstand zwischen Quelle und Immissionsort ermittelt.⁴⁷

$$L_{AT}(LT) = L_{AT}(DW) - C_{met}$$

$$C_{met} = 0$$

4.3.2. Dämpfungsfaktoren der DIN ISO 9613-2

In der Norm DIN ISO 9613-2 werden in Abschnitt 7 die Berechnungen der verschiedenen Dämpfungsfaktoren aufgezeigt.⁴⁸ Die Oktavdämpfung A ermittelt sich aus den unterschiedlichen Dämpfungsfaktoren. Alle Faktoren werden in der Einheit dB angegeben. Die unterschiedlichen Dämpfungen werden nachfolgend beschrieben.

Mit der **Schallpegeldämpfung der geometrischen Ausbreitung** wird die kugelförmige Schallausbreitung von der Punktschallquelle in den freien Emissionsort betrachtet.⁴⁹ Hierfür wird der Abstand zwischen der Schallquelle und dem Immissionsort benötigt. Es ergibt sich eine Pegelminderung in Abhängigkeit zum Abstand zwischen der Schallquelle und dem Immissionsort. Je weiter der Abstand, desto größer ist die Pegelminderung.

Der Abstand hat den größten Einfluss auf die Dämpfung der Schallausbreitung. Insbesondere bei relativ kleinen Abständen spielt die Dämpfung durch den Abstand die wichtigste Rolle, da andere Dämpfungsaspekte noch nicht die Gesamtdämpfung beeinflussen.

Durch die Reibung zwischen den Luftmolekülen und der Schallenergie in der Luft wird dem Schall Energie entzogen. Diese Dämpfung wird als **Dämpfung durch Luftabsorption** bezeichnet. Die Luftabsorption ist in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort und vom Absorptionskoeffizienten der Luft zu betrachten. Für den Absorptionskoeffizienten gibt die Norm Beispielwerte in Abhängigkeit von Temperatur, relativer Luftfeuchte und der jeweiligen Frequenz an. Dabei wird der Wert der Dämpfung des Schalldruckpegels in dB pro Meter angegeben.

⁴⁵ Verweis DIN EN 60651 1994, Abschnitt 3, Schallpegelmesser-Begriffe.

⁴⁶ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 6, Grundlegende Gleichung.

⁴⁷ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7, Dämpfung.

⁴⁸ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7, Dämpfung.

⁴⁹ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7.1, Dämpfung geometrische Ausrichtung.

Temperatur °C	rel. Luftfeuchte %	Luftdämpfungskoeffizient [dB/km]							
		Bandmittenfrequenz [Hz]							
		63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

Tabelle 14: Luftkoeffizienten in Abhängigkeit von der relativen Feuchte, Temperatur und Frequenz

Quelle: DIN ISO 9613-2:1999 Abschnitt 7.1.

Bei der **Bodendämpfung** handelt es sich um die Überlagerung des sich ausbreitenden Schalls mit der Reflexion des Schalls vom Boden. Die Schallwirkung aus den Bodeneffekten bewirkt eine Dämpfung des sich ausbreitenden Schalls. Somit müssen die Einflüsse aus der Bodendämpfung miteinbezogen werden. Die Dämpfung durch die Bodeneffekte lässt sich mithilfe von zwei in der Norm beschriebenen Verfahren (Allgemeines und Alternatives Verfahren) berechnen. Für beide Verfahren müssen jeweils unterschiedliche Bedingungen erfüllt sein. Das **Allgemeine Verfahren** nach Abschnitt 7.3.1 der DIN ISO 9613-2 gilt nur, wenn für das Gelände entweder ein annähernd flacher Boden vorhanden ist oder man von einem konstanten Gefälle ausgehen kann.⁵⁰ Dabei werden die Bereiche von der Schallquelle bis zum Immissionsort in quellennahe Bereiche, Bereich am Immissionsort und den Mittelbereich unterteilt. Die jeweiligen Bereiche sind von den Höhen beziehungsweise Abständen der Schallquelle und dem Immissionsort abhängig.

Bandmittenfrequenz Hz	A_s oder $A_r^{(1)}$ dB	A_m dB
63	-1,5	$-3q^{(2)}$
125	$-1,5 + G \cdot a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1,5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1,5 + G \cdot c'(h)$	
1 000	$-1,5 + G \cdot d'(h)$	
2 000	$-1,5(1 - G)$	
4 000	$-1,5(1 - G)$	
8 000	$-1,5(1 - G)$	

Abbildung 38: Bodendämpfung in Abhängigkeit zu Höhe bzw. Entfernung

Quelle: DIN ISO 9613-2: 1999, Abschnitt 7.3.1., Allgemeines Verfahren.

⁵⁰ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7.3.1, Allgemeines Verfahren.

Das **Alternative Verfahren** nach Abschnitt 7.3.2 der DIN ISO 9613-2 kann angewendet werden, wenn die folgenden drei Bedingungen erfüllt sind⁵¹:

- Am Immissionsort ist ausschließlich der A-bewertete Schalldruckpegel von Interesse.
- Der Schall breitet sich über porösen oder gemischten, jedoch überwiegend porösen Boden aus.
- Der Schall ist kein reiner Ton.

Sind diese drei Bedingungen erfüllt, kann der Bodeneffekt nach dem alternativen, vereinfachten Verfahren ermittelt werden.

Die **Dämpfung durch Abschirmung** laut Abschnitt 7.4 der DIN ISO 9613-2 kann in bestimmten Fällen mit in die Dämpfungsberechnung aufgenommen werden, wenn die Schallausbreitung vom Emissionsort zum Immissionsort durch ein abschirmend wirkendes Hindernis beeinflusst wird. Das Hindernis wirkt als Schallschirm und verhindert die direkte Schallübertragung zum Immissionsort.⁵² Es kann dabei zu einer einfachen oder einer Doppelbeugung kommen, die der Schall überwinden muss. Das Hindernis kann unter anderem ein Gebäude, ein Wall oder auch eine Schallschutzwand sein.

Diese Dämpfung durch Abschirmung stellt sich unter folgenden Bedingungen ein:

- Die flächenbezogene Masse beträgt mindestens 10 kg/m².
- Das Hindernis weist eine geschlossene Oberfläche ohne Lücken auf.
- Die Horizontalabmessung des Schallschirmes senkrecht zur Verbindungslinie zwischen Schallquelle und Empfänger ist größer als die Wellenlänge des Schallsignales.

Sind diese Voraussetzungen erfüllt, lässt sich die Dämpfungswirkung der Abschirmung aufgrund eines Hindernisses folgendermaßen bemessen:

$$A_{\text{bar}} = D_Z > 0$$

Die **zusätzlichen Dämpfungsarten** umfassen verschiedene Dämpfungseffekte, die nicht mit den Dämpfungsfaktoren ermittelt werden können. Diese werden im Anhang A der DIN ISO 9613-2 aufgeführt.

- Dämpfung durch Bewuchs
- Dämpfung durch Industriegelände
- Dämpfung durch Bebauung

Voraussetzung für die zusätzlichen Dämpfungswerte ist ein Mitwindausbreitungsweg, der näherungsweise durch einen Kreisbogen mit einem Radius von 5 Kilometern betrachtet werden kann.

Die Dämpfungseinwirkung durch **Bewuchs** kann nur ermittelt werden, wenn die Sicht zwischen Schallquelle und Immissionsort komplett durch Bäume, Sträucher oder Gewächs blockiert ist.⁵³ Es darf also kein Durchblick möglich sein. Bei der Ermittlung der Dämpfung durch Bewuchs wird davon ausgegangen, dass der Schallweg sich durch den Bewuchs zu sehr abdämpft, so dass sich der Schall besser über dem Bewuchs ausbreitet. Dazu wird ein Kreisbogen von einem Radius von fünf Kilometern angenommen. Dabei sind Teilweglängen wichtig, da der Schall noch durch den Bewuchs gedämpft wird.

⁵¹ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7.3.2, Alternatives Verfahren.

⁵² Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 7.4, Abschirmung.

⁵³ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.1, Bewuchs.

In der folgenden Abbildung erkennt man die Schallausbreitung durch die Dämpfung von Bewuchs.



Abbildung 39: Bestimmung der gedämpften Längen d_1 und d_2 bei Dämpfung durch Bewuchs

Quelle: Willems 2019, S.28.

Die Dämpfung durch **Industriegelände** befasst sich mit der Dämpfung aufgrund von Streuungen an Installationen auf Industriegeländen.⁵⁴ Die Dämpfung ist sehr situationsabhängig, da es hier auf die Gegebenheiten der Bebauung ankommt. Aus diesem Grund wird in der Norm auch eine Messung auf dem jeweiligen Gelände empfohlen. Für die Ermittlung der Dämpfung wird ein Ausbreitungsweg des Schalls mit einem Radius von fünf Kilometern angenommen. Die Teilwegstrecke, die auf dem Industriegelände gedämpft wird, ist die Länge, die mithilfe der Tabelle A. 2 der Norm die Dämpfung durch das Industriegelände angibt.

Die Einflüsse aus der **Dämpfung durch Bebauung** wird in der DIN ISO 9613-2 im Anhang A. 3 thematisiert. Es werden die Dämpfungen durch Häuser betrachtet. Dabei geht man entweder von einem mit Häusern bebauten Gebiet bei der Schallquelle oder beim Immissionsort aus. Bei der Ermittlung der Dämpfung durch Bebauung muss man sowohl die Abschirmung durch Häuser als auch die Reflexion des Schalls durch die Nachbarbebauung berücksichtigen.⁵⁵

Die Abschirmung wirkt sich negativ, die Reflexion dagegen positiv auf die Schallwirkung aus. Dadurch bildet sich eine sehr komplexe Ausgangssituation, welche ermittelt und mit einer Formel gelöst werden muss. Die Berechnung der Dämpfung durch Bebauung in der DIN ISO 9613-2 bezieht diese zwei Faktoren zwar ein, allerdings sind die Auswirkungen der Dämpfung sehr situationsabhängig.

Die Dämpfung durch die Bebauung ist sehr eng an die Bodendämpfung geknüpft. Dabei kann es dazu kommen, dass beide Werte ermittelt werden, allerdings nicht beide in die grundlegende Gleichung einfließen. Die Norm fordert, dass der größere Wert in die Berechnung miteinbezogen wird, wenn beide Dämpfungen ermittelt wurden und auch in der Realität beachtet werden müssen. Diese normative Vorgabe führt dazu, dass der entscheidende Wert der Dämpfungsberechnung die Bebauungsdichte wird. Bei einer niedrigen Bebauungsdichte dominiert die Dämpfung durch Bodeneffekte, bei einer dichten Bebauung ist dagegen der Wert für die Dämpfung durch Bebauung größer.⁵⁶

In der allgemeinen Betrachtung der Dämpfung durch Bebauung kommt es im jeweiligen Einzelfall auf jedes einzelne Gebäude an, das eine Reflexion oder Abschirmung darstellen könnte, um das Ergebnis der Schallausbreitung realistisch ermitteln zu können. Aus diesem Grund wird in der Norm darauf hingewiesen, dass bei zu umfangreicher Bebauung und dadurch entstehender Mehrfachreflexion die Genauigkeit der allgemeinen Berechnung leidet. Es kommt durch die komplexe Anordnung der diversen Gebäude zu einer nicht mehr mit einer Formel abbildbaren Situation, die nicht ohne größere Abweichungen ermittelt werden kann. In diesem Fall sagt die Norm, dass es eine sinnvollere Alternative ist, den Dämpfungseffekt der Bebauung vor Ort oder in einem Modell zu bemessen, um realistischere Einschätzungen über die Schallausbreitung zu erhalten.⁵⁷

⁵⁴ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.3, Industriegelände.

⁵⁵ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.3, Bebauung.

⁵⁶ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.3.5, Bebauung.

⁵⁷ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.3.1, Bebauung.

4.4. Vereinfachtes Berechnungsmodell

Für das vereinfachte Modell wird lediglich der Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort benötigt. Die Berechnung der Schallausbreitung erfolgt dabei ohne die Betrachtung von Hindernissen. Der Schalldruckpegel der Schallquelle muss hingegen bekannt sein. Dabei geht man von einer ins Freie wirkenden Punktschallquelle aus. Mit der Ermittlung nach diesem vereinfachten Rechenmodell bezieht man die Dämpfung der Schallquelle aufgrund der Verbreitung der kreisförmigen Schallwellen mit ein. Weitere Dämpfungsfaktoren werden nicht berücksichtigt. Durch die logarithmische Funktion ergibt sich eine sehr starke Minderung der Schallquelle, die mit zunehmender Distanz immer geringer wird. In der nachfolgenden Grafik wird diese Minderung am Beispiel einer 100-dB-Punktschallquelle aufgezeigt.

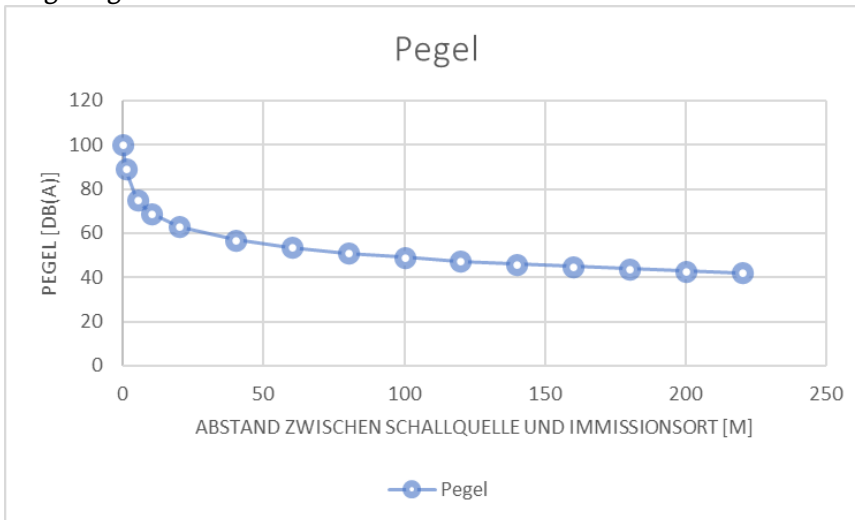


Abbildung 40: Pegelstand in Abhängigkeit vom Abstand, ausgehend von 100 dB

Quelle: Eigene Darstellung.

4.5. Strahlermodell

Für die Betrachtung des innerstädtischen Gebietes der Stadt Kaiserslautern ist insbesondere die mögliche Absorptionswirkung durch die dichte Bebauung mit in Betracht zu ziehen. Es ergibt sich ein **Schallschatten**, der die Auswirkung des Schalls am Immissionsort mindert. Durch die vereinfachte Ermittlung der Abschirmung ergibt sich eine Pegelminderung für den gewählten Immissionsort, die vom Pegel der Schallquelle subtrahiert werden muss. Dieses Verfahren wird in der fachbezogenen Literatur nach dem sogenannten vereinfachten „Strahlermodell“ berechnet.⁵⁸ Es werden dabei keine weiteren Dämpfungsfaktoren in Betracht gezogen.

Für diese Pegelminderung ist der Schirmwert z von entscheidender Bedeutung. Dabei wird der Umweg ermittelt, den der Schall benötigt, um das Hindernis zu überwinden. Zur Ermittlung des Umweges benötigt man den direkten Weg von der Schallquelle zum Immissionsort durch das Hindernis. Dadurch kann der Umweg über den direkten Weg von der Schallquelle zum Endpunkt des Hindernisses und der direkte Weg von diesem Hindernis zum Immissionsort ermittelt werden. Dies geschieht über die geometrischen Zusammenhänge der gegebenen Abstände.⁵⁹ Es kann zu einer einfachen Biegung oder zur Mehrfachbiegung kommen. Die Mehrfachbiegung tritt bei mehrfachen Biegungswegen des Schalls auf, also beispielsweise bei einem Haus.

⁵⁸ Vgl. Henn 2008, S. 222.

⁵⁹ Vgl. Deutsche Gesellschaft für Akustik 2006, S. 6.

Bei der einfachen Biegung kommt es hingegen nur zur einmaligen Biegung des Schallweges. In der folgenden Abbildung erkennt man die geometrischen Zusammenhänge für die Ermittlung des Schirmwertes z bei einer einfachen Biegung.

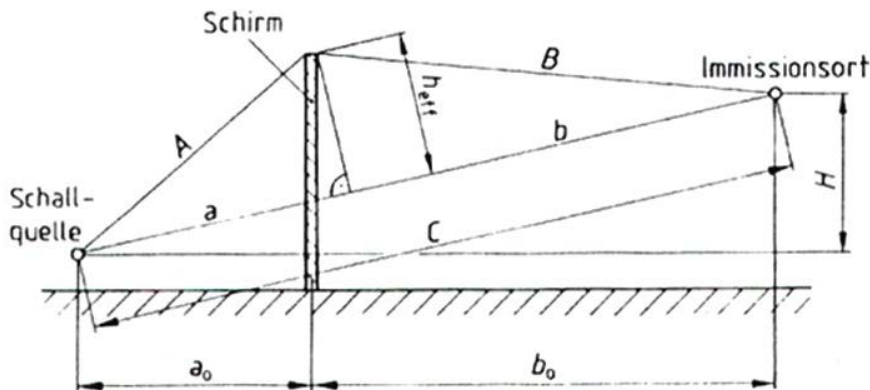


Abbildung 41: Geometrische Zusammenhänge des Strahlermodells bei einfacher Biegung
Quelle: Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau 2018.

Durch die Eingabe des Pegels an der Schallquelle und die Pegelminderung ergibt sich der zu erwartende Pegelstand beim Schallempfänger. Mit dieser Ermittlung nach dem Strahlermodell lässt sich die Schallausbreitung in Bezug auf ein Hindernis schnell berechnen.

4.6. Berechnungsmodell „Faustformel“

In der einschlägigen Literatur zur Schallausbreitung im Freien gibt es neben den aufgeführten Normen und vereinfachten Rechenmodellen einen Hinweis auf eine Faustformel. Die Faustformel erhebt keinen Anspruch auf eine absolute Genauigkeit und will lediglich eine grobe Abschätzung der Schallpegelwerte mithilfe einer einfachen Formel ermöglichen.⁶⁰

„Je Entfernungsverdopplung entsteht eine Pegelminderung von 5 dB“

Diese Aussage wird bei der logarithmischen Funktion berücksichtigt und in Form einer logarithmischen Kurve eingepflegt, wobei die ermittelte Pegelminderung noch vom Schalldruckpegel am Immissionsort abgezogen wird. Laut Faustformel ergibt sich im Bereich der Schallquelle eine sehr starke Minderung, die mit zunehmender Distanz immer geringer wird. Die Genauigkeit einer solchen Faustformel lässt sich mit den Messergebnissen abgleichen. Es ist davon auszugehen, dass die Abweichungen zu den Ergebnissen der Berechnungsverfahren durchaus bedeutend sein können.

⁶⁰ Vgl. Schweizer 2021.

4.7. Auswahl Rechenmodelle für das Forschungsprojekt

In den vorangegangenen Kapiteln wurde aufgezeigt, welche Rechenmodelle zur Ermittlung der Schallausbreitung im Freien zur Verfügung stehen. Hierbei wurde insbesondere der Einfluss der innerstädtischen Gegebenheiten dargelegt. Die erläuterten Rechenmodelle werden nachfolgend auf Eignung für das konkrete Forschungsprojekt analysiert.

4.7.1. Rechenmodell nach DIN ISO 9613-2

Die DIN ISO 9613-2 ist eine internationale Norm für die Ermittlung der Schallausbreitung unter Berücksichtigung von Dämpfungswirkungen im Freien. Sie definiert dementsprechend ein Rechenverfahren zur Ermittlung der Schallausbreitung. Es gilt zu prüfen, ob auch die Schallausbreitung durch Lautsprecheranlagen, wie sie in diesem Forschungsprojekt verwendet werden, durch diese Norm abgedeckt ist.

Bei der Norm wird in Abschnitt 9 eine **Grundungenaugigkeit** für das Rechenverfahren angegeben⁶¹, bei der der Wert für die Schallausbreitung von den real gemessenen Werten abweichen kann. Mit dem Rechenmodell der Norm wird versucht, die physikalischen Zusammenhänge in verschiedenen Formeln anzugeben. Dabei kommt es häufig nur zu Näherungswerten, die von der realen Situation abweichen können. Durch diese Abweichung kommt es schon bei exakter Angabe der Eingabewerte zu abweichenden Resultaten.

Des Weiteren kommt es zu einigen Problemen bei der Anwendung der Norm, denn diese gilt nur bei **vorgegebenen Witterungsbedingungen**. Es sollte dabei in einer Höhe von 3 bis 11 Metern eine Windgeschwindigkeit von 0 bis maximal 5 Meter pro Sekunde herrschen.⁶² Außerdem soll nach Norm die Schallausbreitung in Windrichtung wirken. Bei schalltechnischen Messungen sind jedoch die Witterungsbedingungen nicht planbar. Somit können die Ergebnisse des normativen Berechnungsverfahrens nur bedingt mit den Messergebnissen verglichen werden.

Die Grundvorgabe der Norm besteht darin, die **jeweiligen Dämpfungsfaktoren** zu ermitteln und diese dann von dem Schalldruckpegel an der Schallquelle in Abzug zu bringen. Dabei sind insbesondere die Dämpfungen in Stadtgebieten nur sehr grob abschätzbar. Es gibt beispielsweise mit der Dämpfung durch Bebauung einen auf der Grundlage von Bebauungsdichte und Fassadendichte zu ermittelnden prozentualen Faktor. Diese Faktoren können in der Realität jedoch abweichen.

Ein wichtiger Aspekt bei der Ermittlung der Schallausbreitung nach der Norm ist der **Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort**. Diese Abstände sind bei der Anwendung für das Forschungsprojekt eher gering, da es sich beim Forschungsprojekt lediglich um Entfernungen bis ca. 200 Meter handelt. Diese im Vergleich zur Norm eher geringen Abstände führen zu einem Problem bei der Betrachtung der Dämpfungsfaktoren, denn insbesondere die Dämpfungen der Luftabsorption und der Bodeneffekte zeigen sich erst ab einer Entfernung von mehr als 200 Meter.⁶³ Dies bedeutet, dass die verschiedenen Dämpfungsfaktoren bei geringeren Entfernungen im normativen Berechnungsverfahren kaum Einfluss nehmen werden.

Ein weiterer Nachteil des Berechnungsverfahrens nach der Norm ist die **Ermittlung des Schalldruckpegels für nur einen bestimmten Immissionsort**. Laut Norm soll stets nur der zu erwartende

⁶¹ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 9, Genauigkeiten.

⁶² Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 5, Witterungsbedingungen.

⁶³ Vgl. Henn 2008, S. 231.

Schalldruckpegel in Richtung der Ausbreitung an einem Messpunkt ermittelt werden. Die Schallausbreitung im seitlichen Umfeld eines Gebietes bleibt unberücksichtigt. Die im Forschungsprojekt verwendeten Lautsprecheranlagen sollen jedoch die Warnmeldungen auch in seitliche Richtungen aussenden. Die Schallausbreitung in die seitlichen Richtungen ist im Forschungsprojekt daher von großer Bedeutung.

Beim aktuellen Forschungsprojekt sollen mit der Lautsprecheranlage möglichst viele Einwohner in Kaiserslautern informiert werden. Daher bewirken die zuvor genannten Einschränkungen des normativen Berechnungsansatzes Berechnungsergebnisse, die die örtlichen Gegebenheiten nicht vollständig widerspiegeln. Die Genauigkeit des normativen Berechnungsansatzes wird sich daher erst durch einen Abgleich mit Ergebnissen von vor Ort durchgeführten Schallmessungen herausstellen.

4.7.2. Anwendbarkeit der Rechenmodelle/Faustformel

Für die Betrachtung der Anwendbarkeit der beschriebenen Rechenmodelle und der Faustformel muss man zunächst feststellen, dass diese nicht sehr detailliert sind. Es handelt sich vielmehr um Berechnungsansätze zur überschlägigen Ermittlung der Schallausbreitung im Freien. Damit erheben sie keinen Anspruch auf eine eindeutige und endgültige Genauigkeit. Dies besonders unter dem Aspekt, dass nur eine Dämpfung durch Hinderniswirkung betrachtet wird und weitere Dämpfungsfaktoren nicht berücksichtigt werden.

Bei der Verwendung von vereinfachten Rechenmodellen oder Faustformeln sollten die Grundvoraussetzungen der Berechnung betrachtet werden. Bei der normativen Berechnung sind diese detailliert festgelegt, bei allen anderen Berechnungsansätzen dagegen nicht. Daher ist offensichtlich, dass die Berechnungsergebnisse Abweichungen zur Schallmessung im Freien unter Beachtung der realen Gegebenheiten aufweisen werden.

4.7.3. Schlussfolgerung und Perspektive

Die zuvor beschriebenen normativen Berechnungsmodelle und die übrigen Rechenmodelle liefern grundlegende Vorgaben für die Berechnung der Schallausbreitung im Freien. Im konkreten Forschungsprojekt können zur Ermittlung der Schallausbreitung im Freien alle Berechnungsansätze herangezogen werden. Sie gehen von einer punktförmigen Schallquelle aus und führen verschiedene Dämpfungsfaktoren ein. Dabei ist der normative Berechnungsansatz detaillierter und bildet ein breiteres Spektrum an Dämpfungen ab.

Allerdings haben die Berechnungsansätze Schwächen in Bezug auf die Anwendbarkeit im konkreten Fall des Forschungsprojektes. Insbesondere die vereinfachten Rechenmodelle stellen eher eine überschlägige Abschätzung des zu erwartenden Schallpegels dar. Unter anderem gelten bei diesen keine Randbedingungen für die Anwendung. Es werden beispielsweise keine Einflüsse aus Witterungsbedingungen, wie die Windrichtung oder Windintensität, berücksichtigt.

Bei der DIN ISO 9613-2 werden die Einflüsse aus den Witterungsbedingungen in Betracht gezogen, jedoch nur als Grundvoraussetzung für die Anwendung der Norm. Bei abweichenden Witterungsbedingungen kann die Norm nicht mit der realen Situation bei einer Messung verglichen werden. Durch die gemäß Norm schallbegünstigende Festlegung der Witterungsbedingungen kommt es bei der Berechnung zu eher höheren Pegelwerten. Außerdem zeigt sich die Wirkung einzelner Dämpfungseffekte der Norm erst ab einer Entfernung von ca. 200 Metern. Diese Entfernung wird bei dem konkreten Beispiel

der Warnsignaleinrichtung Smarte Laternen nicht erreicht. Somit sind im Forschungsprojekt einzelne Dämpfungseffekte des normativen Berechnungsmodells in ihrer Wirkung nicht abbildbar.

Aus der Erläuterung der Berechnungsmodelle und den zugehörigen Analysen ergibt sich, dass zur Evaluation der Warnsignaleinrichtung Smarte Laternen Schallmessungen sowohl auf einem Testgelände als auch im abschließenden Test vor Ort durchgeführt werden sollten, um diese mit den theoretischen Ergebnissen der Berechnungsmodelle abzugleichen. Hierdurch können Differenzen sowohl der Berechnungsmodelle als auch der örtlichen Messungen egalisiert werden.

Diese Vorgehensweise wird dann Ergebnisse hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Einsatzgebung der Warnsignaleinrichtungen Smarte Laternen liefern.

Die Durchführung von Schallmessungen auf einem Testgelände in Form von sogenannten Pretests bietet zudem den Vorteil, dass die Akteure des Forschungsprojektes Funktionen der Warnsignaleinrichtungen Smarte Laternen testen können. Gleichzeitig können die Randbedingungen der Schallmessungen präzisiert und örtliche Einflüsse auf die Schallausbreitung analysiert werden. Dies alles mit dem Vorteil, dass die Warnungen zunächst in einem Testgelände ohne Bevölkerung ausgestrahlt werden.

5. Schalltechnische Messungen der Pretests

Im vorherigen Kapitel wurde die Notwendigkeit der Durchführung von Schallmessungen auf einem Testgelände, sogenannten Pretests, erläutert. Dieses Kapitel stellt die Durchführung dieser Pretests am 25.02.2021 auf einem Betriebsgelände der Stadt Kaiserslautern dar. Zunächst wird der Versuchsablauf dargestellt, außerdem werden die Messergebnisse aufgezeigt und hinsichtlich der dämpfungstechnischen Gegebenheiten eingeordnet. Danach folgt die Darstellung der Berechnungsergebnisse für die Schallausbreitung im Freien auf Basis der in Kapitel 3 erläuterten Berechnungsmodelle.

Die Ergebnisse der Messreihen der Pretests sowie der Abgleich mit den Berechnungsergebnissen ermöglichen zusammen eine erste Einschätzung der Schallausbreitung im Freien, um die Auswirkungen der städtischen Bebauung in der Testphase – der eigentlichen Erprobung – hinsichtlich Reflexion, Dämpfung usw. besser bewerten zu können.

5.1. Messkonzept der Pretests

Im Rahmen des Forschungsprojektes sollte der effektive Einsatz von Warnsignaleinrichtungen Smarte Laternen im Stadtgebiet Kaiserslautern geprüft werden. Dazu sind für die Schallausbreitung die verschiedenen Einflüsse durch städtische Bebauung (Reflexion, Dämpfung, usw.) und den zu erwartenden Grundgeräuschpegel (Verkehrslärm, Geräuschkulisse durch Fußgänger und Lieferverkehr, usw.) zu bewerten.

Ziel der Pretests sollte sein, störende Einflüsse auf die Schallausbreitung durch einen in Innenstädten erwartbaren Grundgeräuschpegel (Verkehrslärm, Geräuschkulisse durch Fußgänger und Lieferverkehr, usw.) weitmöglichst auszuschließen. Auf dem Testgelände hingegen ließ sich die Schallausbreitung weitgehend störungsfrei messen und dokumentieren. Weiterhin konnten die Schallausbreitung und deren Beeinflussung durch die auf dem Testgelände vorhandene Bebauung analysiert werden. Bei den Messungen sollten auch straßennahe Grundstücksbereiche betrachtet werden, so dass eine Überlagerung der Straßengeräusche und des Schalldruckpegels des Warnmittels bewertet werden konnten.

Die Pretests wurden am 25.02.2021 auf dem Betriebsgelände der Stadtbildpflege Kaiserslautern in der Daennerstraße durchgeführt. Das Testgelände befindet sich östlich der Daennerstraße und südlich der

B37 (siehe roter Rahmen in Abbildung 42). Das Testgelände ist mit verschiedenen überwiegend ca. fünf Meter hohen Lager- und Fahrzeughallen bebaut. In der nordwestlichen Grundstücksecke befindet sich ein zweigeschossiger Werkstattbau. Unmittelbar an der Grundstückseinfahrt ist ein viergeschossiger Verwaltungsbau angeordnet.



Abbildung 42: Luftbild mit Messareal der Stadtbildpflege KL

Quelle: Messkonzept PRETEST-PHASE, Prof. Dr.-Ing. Render, 9.12.2020.

Das Testgelände ist eben. Lediglich in der südöstlichen Ecke liegt der Bereich des Pflanzenmulches ca. 1,5 Meter erhöht im Vergleich zum Gesamtgelände. Das Testgelände ist umlaufend mit einer Baumreihe begrünt. Das Gelände grenzt westlich an fünf Mehrfamilienhäuser und östlich an den Parkplatz eines Einkaufszentrums.

Die Stadtbildpflege ist für die städtischen Dienstleistungen der Abfallwirtschaft, Straßenreinigung, Straßenunterhalt und Grünpflege zuständig. Die hierfür notwendigen Fahrzeugdepots, Vorhalteflächen für Container und Verwaltungsdienstleitungen werden von diesem Standort aus erbracht. Das Areal ist mit rechtwinklig angeordneten, breiten und gerade verlaufenden Straßenachsen erschlossen.



Abbildung 43: Fotos der Messachsen des Betriebsgeländes der Stadtbildpflege

Quelle: Eigenes Bildmaterial.

Die Erschließungsstraßen bieten sich zur Anordnung einzelner Messachsen an. Die vorhandene Bebauung wird je nach Messpunkt zu Schallreflexion oder Schallabsorption führen. Zudem kann der Fahrzeugverkehr des laufenden Betriebes als Simulation des Straßenlärms angesetzt werden. Darüber

hinaus liegt das Gelände in der direkten Flugschneise des Flughafens Ramstein, so dass auch Fluglärm berücksichtigt werden kann.

In den folgenden Abbildungen sind die Messachsen der Pretests auf dem Betriebsgelände dargestellt.



Abbildung 44: Luftbild der Messung Nr. 1

Quelle: Messkonzept der Pretest-Phase.



Abbildung 45: Luftbild der Messreihe bzw. Messungen Nr. 3 und 4

Quelle: Messkonzept der Pretest-Phase.

In Abbildung 45 sind die Messachse 4 (westlich Halle 5 und 6), Messachse 5 (nördlich Halle 5), Messachse 6 (oberhalb des linken unteren Bildrandes) und Messachse 7 (westlich Kfz-Werkstatt) zu erkennen.



Abbildung 46: Luftbild der Messreihe bzw. Messung Nr. 5

Quelle: Messkonzept der Pretest-Phase.

In Abbildung 46 sind die Messachse 8 (östlicher Straßenrand Daennerstraße) und Messachse 9 (westlicher Straßenrand Daennerstraße) zu erkennen.

Vor dem Beginn der Pretests wurde zunächst der vorhandene Grundgeräuschpegel in den einzelnen Messachsen gemessen und dokumentiert. Bei den vorgesehenen Messvorgängen mit dem Warnmittel wird dieser Grundgeräuschpegel in Abhängigkeit der Entfernung des Messpunktes zum Warnmittel bis zu einer gewissen Distanz unterdrückt. Bei zunehmender Entfernung kann der Grundgeräuschpegel die Warnmeldung überlagern. Weiterhin galt es zu prüfen, ob die Warnmeldungen konstante Schalldruckpegel oder aber Schalldruckpegelspitzen bewirken. Insgesamt sollten mit den Pretests im Wesentlichen die Schallausbreitung in den Messachsen, die Einflüsse durch die örtliche Bebauung und der Einfluss des örtlichen Grundgeräuschpegels abgebildet werden.

Für die schalltechnische Analyse wurden fünf Messreihen durchgeführt. Jede Messreihe bestand aus der Ausgabe eines Dauertons und einer Sprachdurchsage. Diese akustischen Ausgaben einer Messreihe wurden mit einer Zeitverzögerung von etwa zehn Minuten nacheinander abgespielt. Zusätzlich wurde für eine Messreihe mit dem Martinshorn eines Feuerwehrfahrzeuges anstelle des Lautsprechers der Warnsignaleinrichtungen Smarte Laternen durchgeführt.

Bei jeder einzelnen Messreihe wurden die Schallmessungen auf jeweils unterschiedlichen Messachsen durchgeführt. Jede Messreihe besaß eine Messachse als Hauptachse, also die Achse mit direkter Schallausbreitung des Warnmittels. Zu den Hauptachsen gab es je Messreihe auch Nebenachsen, also Achsen mit indirekter Schallausbreitung durch Reflexion oder Absorption. Die Nebenachsen sind im Messkonzept des Pretests so angelegt, dass sie beispielsweise durch Gebäude abgeschirmt sind, die eine direkte Schallausbreitung verhindern, um die Auswirkung der Bebauung auf die Schallausbreitung bewerten zu können. Nebenachsen waren unter anderem auch an der Straße angeordnet, um die Schallüberlagerung des Verkehrslärms messtechnisch zu erfassen.

Auf den Haupt- und Nebenachsen wurden die einzelnen Messpunkte dauerhaft auf dem Boden markiert. Der Abstand zwischen den Messpunkten einer Messachse betrug in der Nähe des Warnmittels zunächst 10 Meter und vergrößerte sich mit zunehmendem Abstand zum Warnmittel auf 20 bzw. 30 Meter.

In der folgenden Abbildung 47 sind die Messachsen der ersten Messreihe des Pretests auf dem Betriebsgelände dargestellt.



Abbildung 47: Luftbild der Messung Nr. 1

Quelle: Messkonzept der Pretest-Phase.

Auf dem Luftbild erkennt man die Hauptachse 1, an deren östlichen Ende das Warnmittel in Richtung der Achse aufgestellt ($1/\pm 0$ – mit weißem Dreieck markiert) wurde. Die Messpunkte der Achse 1 waren mit der Achsnummer 1 und dem Abstand zum Warnmittel gekennzeichnet. Als Messpunkte für die Achse 1 wurden damit die Punkte $1/10$, $1/20$, $1/30$, $1/40$, $1/50$, $1/60$ im 10-Meter-Raster und dann folgend $1/80$ bis $1/180$ im 20-Meter-Raster angegeben. Die Nebenachsen 2 und 3 waren parallel zur Hauptachse angeordnet und jeweils durch die unterschiedliche Bebauung vom direkten Schallweg abgetrennt. Das Warnmittel wurde bei der ersten Messreihe in einer Höhe von 4,00 Metern angebracht, bei der zweiten Messreihe in einer Höhe von 8,00 Metern.

Bei der dritten Messreihe wurde das Warnmittel an den Achspunkt $4/+0$ in einer Höhe von 4,00 Metern angebracht, die Ausrichtung des Lautsprecherhorns erfolgte in Richtung der Messachse 4. Als Nebenachsen wurden die Achsen 5, 6 und 7 definiert, wobei die Achsen 5 und 6 orthogonal zur Hauptachse und die Achse 7 parallel zur Hauptachse angeordnet waren.

Die vierte Messreihe erfolgte auf den gleichen Messachsen wie die dritte Messreihe, allerdings wurde das Warnmittel auf einer Höhe von 8,00 Metern angebracht.

Für die fünfte Messreihe wurde das Warnmittel auf Achspunkt $7/\pm 0$ in einer Höhe von 4,00 Metern positioniert. Achse 7 dieser Messreihe war die Hauptachse, das Warnmittel war nach Süden ausgerichtet. Die Nebenachsen, also Achse 8 und Achse 9, befanden sich außerhalb des Betriebsgeländes auf den Gehwegen der Daennerstraße.

Die folgende Tabelle zeigt übersichtlich die unterschiedlichen Messreihen mit ihren Haupt- und Nebenachsen.

	Höhe Schallquelle [m]	Hauptachse	Nebenachse		
Messreihe 1	4,50	1/-		2/-	3/-
Messreihe 2	8,00	1/-		2/-	3/-
Messreihe 3	4,50	4/-	5/-	6/-	7/-
Messreihe 4	8,00	4/-	5/-	6/-	7/-
Messreihe 5	4,50	7/-		8/-	9/-

Tabelle 15: Kurzübersicht der unterschiedlichen Messreihen des Messkonzeptes

5.2. Rahmenbedingungen des Pretests

Die schalltechnischen Messungen wurden am 25.02.2021 in der Zeit von 8:00 Uhr bis 12:30 Uhr durchgeführt. In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Witterungsbedingungen des Messtages und dann die Messinstrumente erläutert.

5.2.1. Witterungsbedingungen

Die meteorologischen und atmosphärischen Faktoren haben Einfluss auf die Wirkung des Schalls, insbesondere auf die Dämpfungswirkung bei der Schallausbreitung. Die Beurteilung der Witterungsbedingungen des Messtages ist auch mit Hinblick auf die unterschiedlichen Rechenmodelle von Bedeutung, da einzelne Rechenmodelle die Witterungsverhältnisse berücksichtigen.

Bei den Auswirkungen der Witterung auf die Ausbreitung des Schalls haben die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung einen großen Einfluss. Wind, der in Richtung der Schallausbreitung wirkt, führt zu Schallpegelerhöhungen am Immissionsort. Je stärker der Wind in diese Richtung bläst, desto größer wird dieser Effekt. Ein weiterer Faktor ist der Einfluss der Temperatur. Bei warmen Temperaturen bewirkt der erwärmte Boden eine Brechung der Schallwellen nach oben, so dass ein geringerer Schalldruckpegel beim Immissionsort ankommt.

Daher sollte bei Schallpegelmessungen auf möglichst repräsentative Witterungsbedingungen geachtet werden.⁶⁴

Am Tag der Pretests, am 25.02.2021, war es trocken, es gab keinen Niederschlag. Die Temperatur lag durchgehend zwischen 8 °C und 14 °C. Bei diesen Temperaturen kann ein Brechungseffekt der Schallwellen ausgeschlossen werden. Die gemessenen Windgeschwindigkeiten lagen zwischen 5 bis 10 m/s, kurzzeitig auch bei 15 m/s. Die Windgeschwindigkeit und die Windrichtung waren auf dem Betriebsgelände während der Pretests durch die örtliche Bebauung kaum feststellbar. Die relative Luftfeuchte lag während der schalltechnischen Messungen konstant bei ca. 75 Prozent. Die Witterungsbedingungen am Messtag (25.02.2021) sind gemäß den Angaben der regionalen Wetterstation in Tabelle 15 zusammengefasst.

⁶⁴ Vgl. Willems 2019, S. 270.

	Uhrzeit	Temperatur	Rel. Luftfeuchte	max. Wind
		C°	%	Geschw. m/s
Martinshorn	9:00 – 9:05	8	75	5
Messreihe 1	9:30 – 9:45	8	75	10
Messreihe 2	9:55 – 10:15	9	75	10
Messreihe 3	10:40 – 10:55	11	75	10
Messreihe 4	11:00 – 11:20	12	75	15
Messreihe 5	11:50 – 12:10	14	75	10

Tabelle 16: Witterungsbedingungen der Messreihen laut Wetterdienst

5.2.2. Schallquelle und Messinstrumente

Für die Durchführung der Schallpegelmessung werden eine Schallquelle und ein Schallpegelmessgerät benötigt.

Als Schallquelle wird beim Pretest sowie bei den später folgenden Tests ein Warnmittel des Herstellers Helin aus der Baureihe Solitarius (kleines Horn) verwendet. Das verwendete Warnmittel kann eine Warn- und Informationsfunktion realisieren. Die Bevölkerung kann somit sowohl durch einen Signalton als auch mittels Sprachdurchsagen auf eine Gefahr aufmerksam gemacht und darüber informiert werden. Es wurde das Standardmodell der kleinen Solitarius-Sirene gewählt, das über ein gerichtetes Lautsprecherhorn verfügt. Die Anlage kann optional mit Solarpanels zu einem autarken, netzunabhängigen Warnsystem erweitert werden. Die Sirene kann von einer zentralen Stelle aus bedient werden und mit Hilfe eines Mikrofons individuelle Ansagen ausgeben. Zudem können mit vorab auf einem Chip gespeicherten Texten Sprachdurchsagen an die Bevölkerung ausgeben werden.⁶⁵ Das Warnmittel ist auf eine mittlere Frequenz des Sirenendauertons von 1.680 Hertz eingestellt, um insbesondere über eine große Wirkung des Schalldruckpegels bei vergleichsweise geringer Schallleistung verfügen zu können. Das Warnmittel wurde während der Pretests und Tests in einer Höhe von 4,00 bis zu 8,00 Metern angebracht, um die spätere Höhe an einer Laterne zu simulieren und die damit verbundenen Schallwirkungen zu erhalten.

Für die Schallpegelmessung werden Messgeräte der Firma Steinberg Systems SBS.SM-130C verwendet. Diese Geräte messen den vorherrschenden Schalldruckpegel in einem Pegelbereich von 30 – 130 dB und zeigen diesen auf einem Display an. Das Messgerät kann ebenfalls den A-bewerteten Schalldruckpegel in dB (A) der Messungen anzeigen. Das Messgerät deckt den Frequenzbereich von 31,5 bis 8.000 Hertz ab. Die Genauigkeit des Gerätes wird laut Herstellerangaben mit +/- 1,4 dB angegeben.⁶⁶

Die einzelnen Schallpegelmessungen erfolgen in einer Höhe von 1,50 Metern, damit die Wirkung des Schalldruckpegels auf den Menschen getestet werden kann. Um den Schalldruckpegel direkt erfassen und messen zu können, wurde das Messgerät während des Messvorganges in Richtung des Warnmittels gehalten.

⁶⁵Vgl. Helin 2019.

⁶⁶ Vgl. Steinberg 2021.

5.2.3. Warnmittelaufbau beim Pretest

Die Montage und Fixierung des Warnmittels muss während der Pretest-Phase ein schnelles und unkompliziertes Umsetzen des Warnmittels ermöglichen. Bei den einzelnen Messreihen sind sowohl die Höhe des Warnmittels als auch das Versetzen in andere Messachsen zu gewährleisten. Deshalb wurde das Warnmittel am Personenkorb eines Hubsteigers fixiert.



Abbildung 48: Fotos des Hubfahrzeuges mit Warnmittel

Quelle: Eigenes Bildmaterial.

Auf den Fotos in Abbildung 48 ist der Hubsteiger mit dem angebrachten Warnmittel zu erkennen. Die Ausrichtung des Schallhorns des Lautsprechers ist deutlich zu erkennen. Durch das gerichtete Schallhorn ergeben sich stark unterschiedliche Schallpegelwerte in der Längs- bzw. Querrichtung zum Schallhorn. Die Schallausbreitung wird überwiegend in Richtung der direkten Schallrichtung, also der Hauptmessachsen, erfolgen. Eine seitliche Ausbreitung der Schallwellen zu einer Hörquelle wird nur mit geringerem Schallpegel erfolgen. Das Schallhorn wurde jeweils im Nullpunkt der Hauptachsen platziert.

Für jede einzelne Messreihe wird eine Warnsequenz, bestehend aus einem Warnton und einer darauffolgenden Sprachdurchsage, durchgeführt. Die Schallpegelmessungen wurden von drei Messteams mit Schallpegelmessgeräten durchgeführt. Jedes Messteam hat während des Abspielens einer Warnsequenz den Schalldruckpegel in den einzelnen Messpunkten der Messachsen ausgemessen und dokumentiert. Für den Warnton wurde dazu der größte gemessene Schalldruckpegel dokumentiert, bei den Sprachdurchsagen hingegen der Schallpegelbereich als Minimal- und Maximalwerte. Zusätzlich wurde die Verständlichkeit der Sprachdurchsage überprüft.

5.3. Messdaten

In den folgenden Erläuterungen werden die Messergebnisse des Schalldruckpegels dargestellt. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung des Schalldruckpegels nach Dauerton (Warnton) bzw. Sprachdurchsage.

5.3.1. Grundgeräuschpegel

Um ein Warnmittel wirksam gestalten zu können, muss der vor Ort vorhandene Grundgeräuschpegel bekannt sein. In den technischen Richtlinien und Gesetzen werden die Geräuschpegel für verschiedene Nutzungsarten als Richt-, Grenz- oder Orientierungswerte als zulässige Geräuschpegel bei den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten angegeben.

Als Grundlagen können die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm⁶⁷, die DIN 18005, Teil 1: Schallschutz im Hochbau⁶⁸, und die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes⁶⁹ herangezogen werden. Die 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes beinhaltet Grenzwerte, die insbesondere beim Bau oder bei baulichen Änderungen von Verkehrswegen eingehalten werden müssen. Die Orientierungswerte der DIN 18005-1 hingegen werden hauptsächlich im Bereich der städtebaulichen Planung angewendet. Die TA Lärm dient dem Schutz und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Lärm und gilt beispielsweise für schutzwürdige Nachbarbebauung. Die Richtwerte der TA Lärm sind dabei nicht auf kurzzeitige Lärmspitzen zu beziehen und können tagsüber bis zu 30 dB (A) lauter als der Richtwert sein.⁷⁰

In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Bezugspegelwerte für das Zeitfenster von 6:00 bis 22:00 Uhr aufgeführt.

	LA Lärm Richtwerte [dB]	DIN 18005 Teil 1 Orientierungswerte [dB]	16. BImSchV Grenzwerte [dB]
Industriegebiete	70	-	-
Gewerbegebiet	65	65	69
Kerngebiet	60	65	64
Mischgebiet		60	64
Allgemeine Wohngebiete	55	55	59
Kleinsiedlungsgebiete		55	59
Reine Wohngebiete	50	50	59

Tabelle 17: Darstellung des Regelwerks in Bezug auf zulässige Geräuschpegel

Quelle: In Anlehnung an Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau 2018, S. 60.

⁶⁷ Verweis TA Lärm 2017, Abschnitt 6.1, Immissionsrichtwerte.

⁶⁸ Verweis DIN 18005-1, Beiblatt1.

⁶⁹ §2-Immissionsgrenzwerte 16.BImSchV.

⁷⁰ Vgl. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau 2018, S. 100.

Der gemessene Grundgeräuschpegel auf dem Betriebsgelände wurde ohne plötzlich auftretende Lärmspitzen im Bereich von 47 – 58 dB (A) festgestellt. Die Messergebnisse wurden in den Messachsen 1 bis 7 aufgenommen.

Der Grundgeräuschpegel in den Messachsen 8 und 9 an der Daennerstraße betrug am Messtag zwischen 53 – 63 dB (A), einzelne Lärmspitzen durch vorbeifahrende Lkw oder Busse lagen bei ca. 73 dB (A).

Die am Messtag festgestellten Grundgeräuschpegel der einzelnen Messachsen sind in **Anhang A-1** für alle Messpunkte dargestellt.

5.3.2. Warnung mit Martinshorn

Die Warnung mit einem Martinshorn wurde mithilfe eines Feuerwehrfahrzeuges ausgeführt. Die Messung erfolgte in der Messachse 1 als Hauptachse und in den Messachsen 2 und 3 als Nebenachsen parallel zur Hauptachse. Die gemessene Ausgangslautstärke des Martinshorns liegt bei 130 dB (A).

Die folgende Tabelle stellt die Messdaten des Martinshorns dar, zusätzlich sind sie in **Anhang A-2** ausführlich dargestellt.

	M-Horn dB(A)		Abstand	M-Horn dB(A)		Abstand	M-Horn dB(A)
		2/ 0	35	77	3/ 0	35	80
1/+10	115	2/+10	36,4	74	3/ +10	36,4	80
1/+20	99	2/ +20	40,3	77	3/ +20	40,3	84 *
1/+30	98				3/ +20	40,3	84 *
1/+40	95				3/ +30	46,1	80
1/+50	93				3/ +40	53,2	72
1/+60	90	2/ +60	69,5	75	3/ +50	61	68
1/+80	86	2/ +80	87,3	70	3/ +60	69,5	65
1/+100	83	2/ +100	105,9	66	3/ +80	87,3	66 *
1/+120	82				3/ +100	105,9	59
1/+140	81	2/ +140	144,3	64	3/ +120	125	57
1/+160	81	2/ +160	163,8	62	3/ +140	144,3	59
1/+180	76						
1/ +190	74						

* geöffnete Hallentore

Tabelle 18: Schallpegelmessung mit dem Martinshorn

Die Messergebnisse in der Messachse 3 erscheinen sehr hoch, da die Messachse 3 im Schallschatten der Halle 4 liegt. Dies ist vermutlich auf geöffnete Hallentore zurückzuführen.

5.3.3. Warnung mit dem Dauerton

Bei den Pretests setzten sich die ausgestrahlten Warnsequenzen aus einem Dauerton und einer Sprachdurchsage zusammen. Der Dauerton wird in der Bevölkerungswarnung für die Entwarnung einer Gefahr genutzt, um die Bevölkerung darauf aufmerksam zu machen, dass keine Gefahr mehr besteht. Die Messwerte des Schalldruckpegels wurden immer bei der Lärmspitze des Dauertons notiert. Die Ausgangslautstärke des Warnmittels lag am Tag des Pretests bei ca. 110 dB.

In der folgenden Tabelle ist exemplarisch die Messreihe 1 auf den Messachsen 1 bis 3 mit der Warnung durch das Warnmittel aufgeführt. Die Schallquelle wurde in einer Höhe von 4,00 Metern montiert.

	Dauerton dB(A)		Abstand	Dauerton dB(A)		Abstand	Dauerton dB(A)
		2/ 0	35	91	3/ 0	35	94
1/+10	108	2/+10	36,4	93	3/ +10	36,4	90
1/+20	101	2/ +20	40,3	85	3/ +20	40,3	80
1/+30	98				3/ +30	46,1	80
1/+40	97						
1/+50	93				3/ +50	61	71
1/+60	91	2/ +60	69,5	87	3/ +60	69,5	76
1/+80	94	2/ +80	87,3	82	3/ +80	87,3	74
1/+100	88	2/ +100	105,9	84	3/ +100	105,9	70
1/+120	87				3/ +120	125	72 *
1/+140	88 *	2/ +140	144,3	72	3/ +140	144,3	67
1/+160	80	2/ +160	163,8	68			
1/+180	78						
1/ +190	78						

* Störgeräusche

Tabelle 19: Messergebnisse Messreihe 1 mit Dauerton

In der Darstellung erkennt man den Unterschied zwischen der Hauptachse 1 und den Nebenachsen 2 und 3. Die Konstruktion des Lautsprecherhorns bewirkt eine sehr geringe seitliche Ausbreitung des Schallpegels. Zudem bewirkt die vorhandene Bebauung (hier Halle 4 zwischen der Hauptachse 1 und der Nebenachse 3) eine Dämpfung des Schalldruckpegels. Im Messpunkt 1/+60 betrug in der Hauptachse der gemessene Schalldruckpegel 91 dB (A), in der Messachse 3 hingegen nur noch 76 dB (A).

Die weiteren Messergebnisse mit dem Dauerton der Messreihe 2 bis 5 sind im **Anhang A-4** dargestellt. Die graphische Auswertung der Messergebnisse wurde mittels einer Trendlinie in Form einer logarithmischen Kurve dargestellt. Die Trendlinie egalisiert den Kurvenverlauf und lässt extrem abweichende Messergebnisse, sogenannte Ausreißer, erkennen.

5.3.4. Ausgabe der Sprachdurchsage

Bei der Warnsequenz folgt nach dem Dauerton eine Sprachdurchsage. Die Sprachdurchsage kann für die Übertragung von Informationen der auslösenden Stelle über das Gefahrenereignis oder für eine Handlungs-/Verhaltensempfehlung für die Bevölkerung genutzt werden. Bei der Sprachdurchsage steht die Informationsfunktion im Vordergrund. Bei den Pretests wurden unterschiedliche, definierte Sprachdurchsagen abgespielt. Bei den Durchsagen ist neben der Lautstärke vor allem die Verständlichkeit wichtig. Der gemessene Lautstärkepegel und die Verständlichkeit wurden im Messprotokoll dokumentiert. Die Messergebnisse aller Messreihen mit erläuternden Anmerkungen sind im **Anhang A-7** detailliert dargestellt. Der optimierte Schallpegelverlauf ist auch hier wieder als logarithmische Trendlinie ausgewiesen. Exemplarisch sind in der folgenden Tabelle die Messwerte der Messreihe 1 für die Sprachdurchsage aufgeführt.

	Durchsage dB(A)		Abstand	Durchsage dB(A)		Abstand	Durchsage dB(A)
		2/ 0	35	72	3/ 0	35	77
1/+10	77	2/+10	36,4	71	3/ +10	36,4	70
1/+20	76	2/ +20	40,3	70	3/ +20	40,3	67
1/+30	72				3/ +30	46,1	66
1/+40	69				3/ +40	53,2	62
1/+50	68,5				3/ +50	61	59
1/+60	67,5	2/ +60	69,5	72	3/ +60	69,5	56
1/+80	67	2/ +80	87,3	60	3/ +80	87,3	57
1/+100	67,5	2/ +100	105,9	67	3/ +100	105,9	58
1/+120	66,5				3/ +120	125	52
1/+140	68 *	2/ +140	144,3	66	3/ +140	144,3	55
1/+160	56,5	2/ +160	163,8	59			
1/+180	56,2						
1/ +190	55,8						

* Störgeräusche

Tabelle 20: Messergebnisse der Messreihe 1 mit Sprachdurchsage

Im Vergleich zu den Messergebnissen des Dauertons (s. Tabelle 19) zeigt sich, dass der Schalldruckpegel der Sprachdurchsage wesentlich geringer ist als der des Dauertons. Dies ist auf die Frequenz des Dauertons bzw. der Sprachdurchsage zurückzuführen. Der Dauerton wird in einer einheitlichen Frequenz ausgestrahlt. Bei der Sprachdurchsage besteht jedoch eine enorme Schwankungsbreite der Frequenz, die sich dann als geringerer Schalldruckpegel auswirkt.

5.4. Beurteilung der Messungen der Pretests

Die schalltechnischen Messungen vom 25.02.2021 zeigen wichtige Aspekte bei der Schallausbreitung im Freien auf. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in diesem Abschnitt erläutert und können zusammen mit den Messreihen der Testphase zur Beurteilung der Schallausbreitung im Freien herangezogen werden.

Zunächst ist anzumerken, dass die Messergebnisse zwischen den Hauptachsen, also der direkten Schallausbreitung mit gerichtetem Lautsprecherhorn, und den Nebenachsen, also der indirekten Ausbreitungsrichtung, erheblich differieren. Die seitlich zur Ausbreitung befindlichen Nebenachsen weisen einen wesentlich geringeren Schallpegel auf als die Pegelwerte der Hauptachse.

Das Hauptkriterium des Verlaufes der Pegelwerte bei der Schallausbreitung im Freien ist der Einfluss des geometrischen Abstandes. Demzufolge wird bei zunehmender Distanz ein geringerer Schallpegel am Immissionsort gemessen. Die Distanz wirkt sich als Dämpfung des Schalls aus. Die weiteren Dämpfungsfaktoren wirken sich in den Hauptachsen dagegen nur sekundär auf die Schallausbreitung aus und sind nicht so ausschlaggebend für den Pegelwert am Immissionsort wie die Dämpfung durch die Distanzerhöhung.

Weitere Aspekte der Dämpfung des Schalldruckpegels am Immissionsort sind die Faktoren Bebauung und Bewuchs. Auf dem Betriebsgelände der Stadtbildpflege Kaiserslautern sind mehrere Hallen und Bürogebäude angeordnet. Beim Pretest werden Messpunkte auf den Hauptachsen und Nebenachsen definiert. Die Nebenachsen sind meist so angelegt, dass eine direkte Schallausbreitung ohne Hindernisse kaum möglich ist und der Einfluss der Bebauung auf die Messergebnisse einbezogen werden muss. Infolgedessen zeigen die Messergebnisse, dass der Dämpfungsfaktor aus der Bebauung einen Einfluss auf die Schallausbreitung hat. Dies zeigt sich bei den Messergebnissen der Nebenachsen. Die gemessenen Schalldruckpegel sind wegen der vorhandenen Hindernisse durch die Bebauung wesentlich niedriger. Der Dämpfungseinfluss aus Bewuchs kann hingegen nur auf den Messachsen 8 und 9 miteinbezogen werden. Diese Achsen liegen außerhalb des Testgeländes. Allerdings ist hier ein negativer Einfluss bei der Schallausbreitung durch Bewuchs und Bebauung kaum noch ersichtlich.

Der Unterschied zwischen den Messreihen 1 und 2 bzw. den Messreihen 3 und 4 besteht in der veränderten Höhe der Schallquelle. Bei den Messreihen 1 und 3 ist die Schallquelle in einer Höhe von 4,00 Metern montiert, bei den Messreihen 2 und 4 hingegen in 8,00 Metern. Grundsätzlich sollten die Messreihen 1 und 2 bzw. 3 und 4 infolge der Höhenveränderung auch ähnliche Veränderungen der Pegelwerte zur Folge haben. Dies ist allerdings nicht der Fall. Bei den Messreihen 1 und 2 weist die Messung bei einer Höhe von 4,00 Metern höhere Schalldruckpegel aus als die Messung bei 8,00 Metern. Bei den Messreihen 3 und 4 stellt sich dies genau umgekehrt dar. Die Messergebnisse sind in den folgenden Diagrammen als Trendlinien dargestellt. Dabei stellt die grüne Kurve die Messreihe 1 und 3 mit dem Warnmittel in 4,00 Metern Höhe dar, die rote Kurve die Messreihe 2 und 4 bei 8,00 Metern Höhe (vgl. **Anhang A-10**).

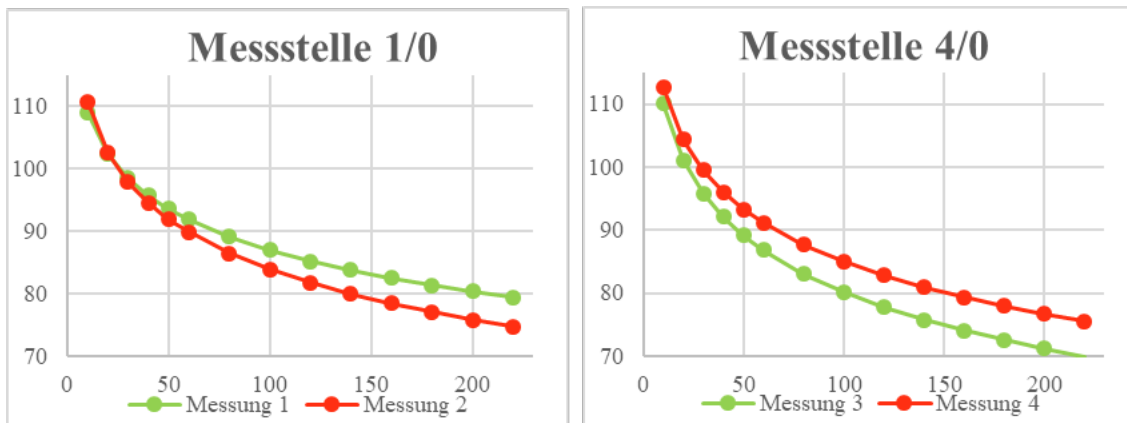


Abbildung 49: Vergleich Messstelle 1 und 4 – Auswirkung der Höhe der Schallquelle auf den Pegelwert

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Kurven zeigen, dass eine höhere Anbringung des Warnmittels nicht unbedingt höhere Pegelwerte zur Folge haben wird. In diesem Beispiel ist die Bebauung (Halle 4) niedriger als die Schallquellenhöhe mit 8,00 Metern. Die Schallwellen dieser Messreihe werden vermutlich durch die Dachfläche der Halle nach oben reflektiert. Dadurch entstehen geringere Schallpegelwerte entlang der Hauptmessachse. Durch die Gebäudeanordnung auf dem Betriebsareal bilden sich einige Besonderheiten bei der Messung des Schallpegels ab. Die Reflexion der Gebäudefassaden wirkt sich auf die Pegelwerte der Messachsen aus. Durch die Reflexion an den Fassaden der Gebäude ergeben sich höhere Pegelwerte als bei einer freien Ausbreitung ohne Reflexion. Diese Erhöhung der Pegelwerte zeigt sich im fortlaufenden Messprozess vor allem im Wechsel der Bebauung in der Umgebung. Insbesondere an Kreuzungspunkten von Straßenachsen gestalten sich die Pegelwerte sehr unterschiedlich. Dies ist beispielsweise bei den Messreihen 3 und 4 in der Hauptachse 4 der Fall. Dort ist es durch die Gegebenheiten der Gebäudestruktur auf dem Gelände zu einem im Messverlauf abweichendem Pegelwert gekommen. Die bestehende Gebäudestruktur auf dem Betriebsgelände wirkt sich somit auf die Messergebnisse aus. Durch die Reflexion kommt es zu Schallpegelveränderungen, die abweichend zum Verlauf der vorherigen und nachfolgenden Messergebnisse sind.

Auf den Fotos der Abbildung 50 ist auch zu sehen, dass auf dem Betriebsareal viele Fahrzeuge und sonstige Gegenstände stehen.



Abbildung 50: Fotos vom Betriebsgelände Stadtbildpflege Kaiserslautern

Quelle: Eigenes Bildmaterial.

Diese Hindernisse können je nach Materialbeschaffenheit eine Reflexionsfläche darstellen oder eine Absorptionswirkung haben, so dass die Schallausbreitung beeinflusst wird. Derartige Hindernisse können in den Berechnungsmodellen nicht abgebildet werden und führen zu Abweichungen bei den Schallpegelmessungen.

Die Ausbreitung des Schalldruckpegels lässt sich als logarithmische Kurve darstellen. Bei einer freien und direkten Schallausbreitung verhält sich diese logarithmische Kurve stetig fallend. Also nimmt der Schalldruckpegel mit zunehmender Entfernung ab. Die Darstellung der Messergebnisse bildet eine annähernd logarithmische Kurve mit vereinzelt Abweichungen (Ausreißern) nach oben oder unten ab. Diese Abweichungen können verschiedene Ursachen haben. Insbesondere der Einfluss der Fassaden entlang der Messachse bewirkt unterschiedliche Reflexionen, die zu Abweichungen gegenüber einer freien und direkten Ausbreitung führen können.

Für die gemessenen Schalldruckpegel wird in den folgenden Diagrammen eine Trendlinie der optimierten Messergebnisse darstellt. Die Trendlinie definiert den Bestimmtheitsgrad der logarithmischen Funktion und gibt Auskunft über die Verlässlichkeit der Messergebnisse. Der Bestimmtheitsgrad R^2 liegt zwischen 0 und 1. Ein hoher Bestimmtheitsgrad R^2 spiegelt eine hohe Modellgenauigkeit zwischen den Messergebnissen (siehe grüne Linie) und dem mathematischen Verlauf (siehe schwarze Linie) wider. Je geringer der Bestimmtheitsgrad R^2 wird, desto höher sind die Abweichungen und umso unbrauchbarer sind die Messergebnisse.⁷¹

Am Beispiel der Messung 1 der 1. Messreihe werden die Messergebnisse mit der dazugehörigen Trendlinie als Diagramm mit der Darstellung der logarithmischen Funktion und den dadurch entstehenden Bestimmtheitsgrad angeben.

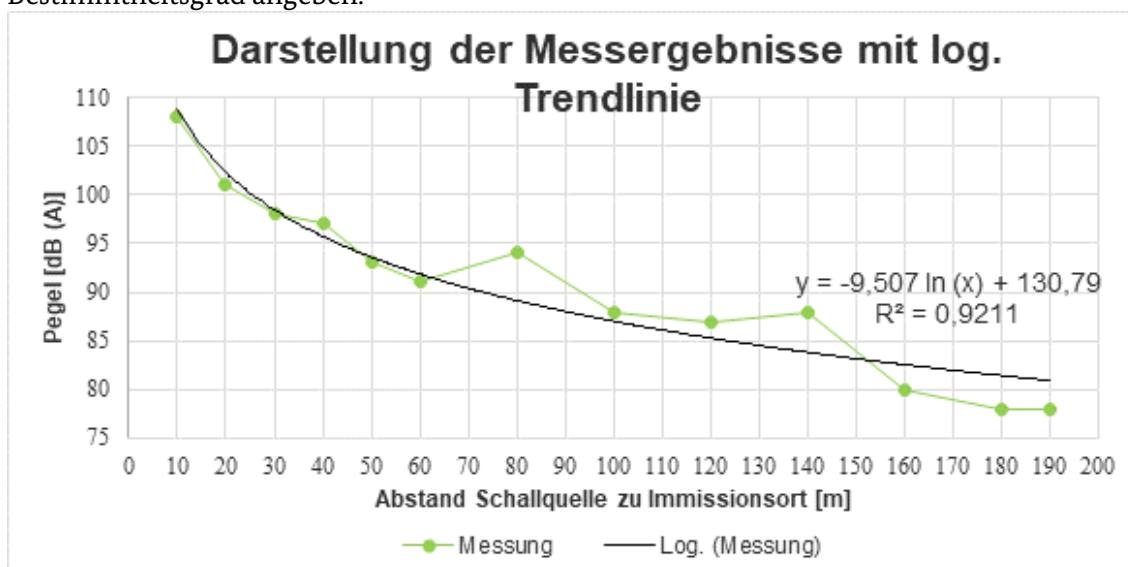


Abbildung 51: Darstellung der Messergebnisse mit log. Trendlinie

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Trendlinie der Messergebnisse der Messreihe 1 der 1. Messachse ergibt ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,9211$ und somit eine Genauigkeit der Messergebnisse von ca. 92 Prozent. Dadurch sind die Messergebnisse mittels der Trendlinie gut abgebildet. In der folgenden Tabelle sind die Formeln und die Bestimmtheit der Trendlinie der Hauptachsen aller fünf Messreihen dargestellt.

⁷¹ Vgl. Pflieger 2014.

	Hauptachsen der Messreihen	
	Formel der Trendlinie	Bestimmtheitsgrad R ²
1. Messreihe	$f(x) = -9,507 \ln(x) + 130,79$	R ² = 0,92
2. Messreihe	$f(x) = -11,56 \ln(x) + 137,18$	R ² = 0,92
3. Messreihe	$f(x) = -13,01 \ln(x) + 140,1$	R ² = 0,81
4. Messreihe	$f(x) = -12,05 \ln(x) + 140,51$	R ² = 0,88
5. Messreihe	$f(x) = -2,977 \ln(x) + 105,37$	R ² = 0,65

Tabelle 21: Formel und Bestimmtheitsmaße der Trendlinien der Hauptachsen

Die Ergebnisse des Bestimmtheitsgrades lassen Rückschlüsse auf die Streuung der Messergebnisse im Vergleich zur Trendlinie zu. Vor allem der stark abweichende Bestimmtheitsgrad der 5. Messreihe verdeutlicht, dass die Messergebnisse erheblich von der logarithmischen Berechnung abweichen. Dies ist vermutlich auf die geringere Anzahl von Messachsen, die damit verbundenen größeren Abweichungen, aber auch auf die Qualität der Messergebnisse zurückzuführen. Dies deutet auch auf diverse Reflexionswirkungen in den Messachsen hin.

Während der Messungen am 25.02.2021 konnte auch die Wirkung der Schallpegel bezüglich Wahrnehmung und Verständlichkeit festgestellt werden. Es besteht ein erheblicher Unterschied in der Wahrnehmung des Martinshorns, des Dauertons und der Sprachdurchsage. Am Messtag waren die Dauertöne je nach Abstand unterschiedlich laut im Freien wahrzunehmen. Das Warnmittel kann bei einem Schallpegel von circa 70 dB (A) ausreichend laut wahrgenommen werden, so dass von einer akzeptablen Bevölkerungsreaktion von mehr als 70 Prozent ausgegangen werden kann. Diese Pegelwerte stellen sich je nach Haupt- oder Nebenachse bei unterschiedlichen Entfernungen ein. Bei der Hauptachse stellt sich der Pegelwert von 70 dB (A) noch bei etwa 200 Metern ein. Bei der Nebenachse zeigt sich ein anderes Bild, denn durch die unterschiedliche Bebauung ergeben sich Distanzen von lediglich 70 bis 120 Metern. Bei der Sprachdurchsage stellt sich der Pegel von 70 dB (A) hingegen schon bei einer Entfernung von nur ca. 50 Metern ein. Außerdem leidet die Verständlichkeit mit zunehmendem Abstand. Insbesondere die Achsen 8 und 9 weisen noch geringere Entfernungen auf, da an diesen Achsen der Straßenlärm stark dominiert, so dass selbst der Dauerton kaum wahrnehmbar ist. Allgemein kann festgestellt werden, dass sich beim „Hören“ des Warnmittels eine Art von „Cocktail-Party-Effekt“ einstellt. Hierbei geht man davon aus, dass der Schall des Warnmittels von einem möglichen Störschall aus der Umgebung extrahiert wird und die Warnung ausreichend zu hören ist. Dieses selektive Hören ist auch beim Hören der Warnsequenz feststellbar, da das ungewöhnliche Geräusch der Warnung mit der Sirene für Aufmerksamkeit sorgt.

Bei der Ausgabe der Sprachdurchsage steht die Informationsfunktion bzw. die Verständlichkeit der Durchsage im Vordergrund. Die Analyse der Messergebnisse zeigt Unterschiede zwischen der Lautstärke beim Dauerton und der Sprachdurchsage auf. Die Sprachdurchsage ist deutlich leiser als der Dauerton. Diese Differenz der Lautstärke ist in erster Linie der Tatsache geschuldet, dass sich die Durchsage aus lauterem und leiseren Tönen zusammensetzt. Durch die grundsätzlich geringeren Pegelwerte der Sprachdurchsage gegenüber dem Dauerton ergibt sich folglich eine geringere Reichweite der Sprachdurchsage. Die Sprachdurchsagen erreichen folglich eine geringere Anzahl von Menschen. Neben der reinen Lautstärke muss bei der Warnung mit Sprachdurchsagen auch die Verständlichkeit der Ansage beachtet werden.

Die Verständlichkeit spielt bei der Informationsfunktion eines Warnmittels eine Hauptrolle, da diese Art der Warnung beispielsweise einer Sirenenwarnung vorzuziehen ist. Die Verständlichkeit sowie die Lautstärke von Sprachdurchsagen werden durch die verschiedenen Dämpfungsfaktoren erheblich negativ beeinflusst. Je stärker diese Dämpfungsfaktoren bei der Schallausbreitung sind, desto schlechter ist die Verständlichkeit der Warnung. Hinzu kommt, dass bei Sprachdurchsagen unterschiedliche Textdurchsagen abgespielt werden. Durch die Frequenzschwankungen bei Sprachdurchsagen tritt der Effekt ein, dass einzelne Laute bzw. Wörter besser, andere dagegen schlechter zu verstehen sind. Dies zeigt, dass man auch bei der Auswahl der Textaussagen die Wirkung auf die Bevölkerung beachten muss. Bei der Schallausbreitung wirkt sich die Reflexionswirkung enorm auf die Verständlichkeit aus, da es zu einer Art Echo-Effekt beim Schallempfänger kommen kann, wodurch die Sprachdurchsage undeutlich wird.

In den Messachsen 8 und 9 kann die Sprachdurchsage nur an wenigen Messpunkten verständlich empfangen werden. Bei der Messachse 8 ist die Sprachdurchsage nur am Wendehammer zu hören, der sich in einem Abstand von 55 Metern zum Warnmittel befindet. An den anderen Messpunkten der Achse 8 ist die Durchsage nur in bruchstückhaften Lauten zu hören. Die Sprachdurchsage selbst ist nicht verständlich, denn sie wird an diesen Messpunkten durch die Bebauung gedämpft. Außerdem erzeugt teilweise auch der Straßenlärm einen Grundgeräuschpegel, so dass die Sprachdurchsage kaum wahrgenommen bzw. verstanden werden kann. Infolgedessen lässt sich für fast alle Messpunkte der Messachsen 8 und 9 zur Schallausbreitung des Warnmittels feststellen, dass der Grundgeräuschpegel des Straßenlärms durch vorbeifahrende Fahrzeuge dominiert und die Sprachdurchsage nicht hörbar ist.

5.5. Auswertung der Rechenmodelle

Ein Hauptaspekt dieses Kapitels ist die Berechnung von möglichen Schallereignissen im Freien. Mit den im **Kapitel 3** erwähnten Rechenmodellen lassen sich Schallausbreitungen im Freien berechnen. Durch schalltechnische Messungen konnten hingegen die realen Schallpegel ermittelt und mit den Rechnungen verglichen werden.

In diesem Kapitel werden die Berechnungsergebnisse dargestellt und anschließend mit den tatsächlichen Messergebnissen abgeglichen. Mit dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse erfolgt dann eine Einschätzung zur Anwendbarkeit der Berechnungsmodelle, bezogen auf die örtlichen Gegebenheiten des Testgeländes.

5.5.1. Erläuterungen zu den Rechenmodellen

Die Berechnung basiert auf den Grundlagen der DIN ISO 9613-2, und zwar auf dem vereinfachten Rechenmodell mit und ohne Hinderniswirkung, sowie auf der Faustformel der Schallausbreitung im Freien. Dabei werden die Parameter des Messtages bei der Berechnung angesetzt. Die variable Komponente ist der Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort, um die Einflüsse des Ausbreitungsweges mit zunehmender Entfernung zu erhalten. Wesentliche feste Parameter der Pretests und der Berechnungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Situation bei Messung 25.02.2021	
Frequenz Sirendauererton	1.680 Hz
Temperatur	8 – 14 °C
Rel. Luftfeuchte	75 %
Höhe Schallquelle	Je Messreihe
Höhe Immissionsort	1,5 m
Bodenfaktor (Harter Boden)	0 -

Tabelle 22: Situation des Messtages am 25.02.2021

Einige der in dieser Tabelle aufgeführten Werte sind nicht für alle Rechenverfahren relevant. So benötigt man für das vereinfachte Rechenmodell und für die Faustformel ausschließlich die Entfernung. Bei dem Verfahren der DIN ISO 9613-2 benötigt man hingegen alle Werte aus der Tabelle. Die erforderlichen Werte gehen dann in die jeweilige Ermittlung der Dämpfungsfaktoren ein. Ob die Frequenz in die Ermittlung mit der Norm eingeht, hängt von dem gewählten Verfahren und den Gegebenheiten des Messgeländes ab.

Alle aufgezeigten Rechenverfahren können nur für die Schallausbreitung im Freien angewendet werden, bei der die Schallquelle direkt zum Immissionsort wirkt. Eine seitliche Schallausbreitung wird bei den Rechenmodellen nicht beachtet. Man kann somit nicht alle Messergebnisse der fünf Messreihen aus dem Messkonzept mit den dargestellten Rechenverfahren ohne Einschränkung ermitteln, da man bei den schalltechnischen Messungen vom 25.02.2021 ein gerichtetes Lautsprecherhorn verwendete und somit keine vollkommene 360°-Schallausbreitung gegeben war. Daher lassen sich mithilfe der verschiedenen Rechenverfahren nur die Messergebnisse der Hauptachsen mit direktem Ausbreitungsweg vergleichen.

Die Messergebnisse der Nebenachsen können nicht ohne Einschränkungen mit den Berechnungsmodellen abgeglichen werden. Hier ist es von Bedeutung, herauszufinden, in welcher Größenordnung sich eine Abweichung zwischen der direkten Schallausbreitung und einer seitlichen Ausbreitung abspielt.

5.5.2. DIN ISO 9613-2

Die DIN ISO 9613-2 ist eine Prognoseermittlung für Schallereignisse im Freien. Dabei wird zunächst der Pegel am Immissionsort ermittelt. Anschließend werden die Dämpfungen von diesem abgezogen. Für die Norm gibt es verschiedene Dämpfungsfaktoren, die einen Einfluss auf die Schallausbreitung im Freien haben. Diese wirken allerdings nicht alle bei den verschiedenen Messreihen. Die Dämpfungen aus geometrischem Abstand, Luftabsorption und Bodeneffekten wirken sich immer auf die Schallausbreitung im Freien aus. Die restlichen Dämpfungsfaktoren der DIN ISO 9613-2 treten nur in bestimmten Messsituationen auf, wie z. B. bei einem Bauwerk zwischen Schallquelle und Immissionsort. Dort wirkt dann die Dämpfung durch Bebauung auf die Ausbreitung. Dieser Dämpfungswert wird insbesondere bei den Nebenachsen relevant. Ein weiterer Aspekt der Dämpfung ist der Bewuchs. Dieser Dämpfungsfaktor ist bei den Nebenachsen 8 und 9 bei der 5. Messreihe zu beachten, da dort Bewuchs für die Dämpfung der Schallausbreitung verantwortlich ist. Die zusätzlichen Dämpfungsarten durch Abschirmung aufgrund von Hindernissen oder Industriegeländen werden in diesen Betrachtungen nicht für die vorhandenen Messsituationen benötigt.

Bei der Dämpfung durch Bodeneffekte wird zusätzlich noch zwischen dem Allgemeinen und dem Vereinfachten Verfahren unterschieden. Für die Berechnung mit der Norm wird das Allgemeine Verfahren verwendet, weil bei diesem Verfahren zusätzlich der Bodenfaktor eine Rolle spielt. Dieser Bodenfaktor ist gerade bei der Ermittlung auf dem Betriebsgelände, aber auch später im Innenstadtbereich von entscheidender Bedeutung, weil dadurch die Reflexionswirkung von hartem Boden in die Rechnung mit einbezogen wird. Die Dämpfung durch Bodeneffekte kann sich durchaus schallfördernd auf die Ausbreitung auswirken. Vergleichsrechnungen der beiden Verfahren zur Ermittlung der Bodeneffekte haben gezeigt, dass das Allgemeine Verfahren besser mit den realen Situationen bei Messungen übereinstimmt.

Bei einem harten Boden [Bodenfaktor = 0,00] handelt es sich um eine frequenzunabhängige Ermittlung, somit wird der Frequenzwert nicht zur Ermittlung der Bodeneffekte benötigt. Bei einem porösen oder weichen Boden [Bodenfaktor > 0] ist die Ermittlung des Bodenfaktors frequenzabhängig.

Im Folgenden ist das Ablaufdiagramm für die Ermittlung eines Messpunktes dargestellt.

benötigte Parameter:	Erläuterung		Verweis: DIN ISO 9613-2
Pegelwert Schallquelle L_w	Pegelwert direkt an der Schallquelle		dB - Abs. 6.: Grundlegende Gleichung
Abstand Quelle-Empfänger d	Luftlinie zw. Quelle und Empfänger		m - Abs. 7.1: Geometrische Ausbreitung
Luftabsorptionskoeffizient L	Energieverlust über Eigenschaften Luft	Einfluss aus Temperatur & Luftfeuchte	dB/km - Abs. 7.2: Luftabsorption
Bodenfaktor G	Einflüsse durch Härte des Bodens [0-1]	1= weicher Boden, 0= harter Boden	- - Abs.7.3.1: Bodeneffekte Allg. Verf.
Bebauungsdichte Grundstück B	Anteil Bebauung auf Grundstück [0-1]	im nahliegenden Bereich	- - Anhang A.3
Fassadendichte p	Anteil Bebauung entlang Ausbreitung	Luftlinie von Quelle zu Empfänger	% - Anhang A.3
Bewuchsdämpfung d_f	Dämpfung pro Meter durch Bewuchs	Abhängig von der Frequenz	dB/m - Anhang A.1

Verlauf: Dämpfungswerte je Messpunkt ermitteln und anschließend vom Pegelwert der Schallquelle abziehen

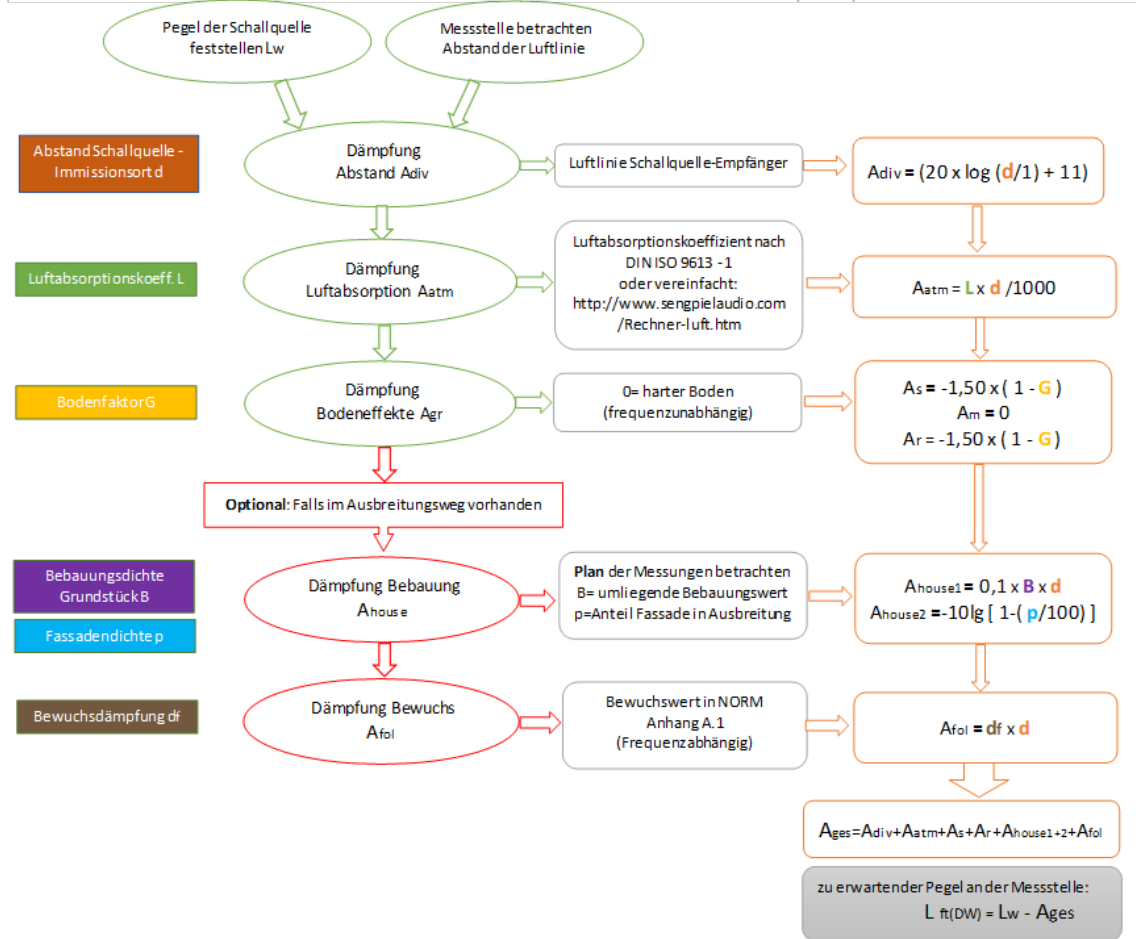


Abbildung 52: Ablaufdiagramm der DIN - allgemeines Verfahren
Quelle: Eigene Darstellung.

Das Ablaufdiagramm stellt schematisch die Schallpegelberechnung für einen Messpunkt mit seinen einzelnen Parametern dar. Die Dämpfung durch Bebauung und Bewuchs wird nur bei Bedarf ermittelt. Des Weiteren kann der Schallpegel nach Norm in drei verschiedenen Varianten angegeben werden. Die Varianten sind jeweils abhängig von dem bewerteten Schalldruckpegel. Für die Vergleichbarkeit der Werte zwischen Messung und Rechnung müssen die Ergebnisse als A-bewerteter Pegel angegeben werden, somit müssten die Rechenergebnisse der Norm umgerechnet werden. Da es sich allerdings bei der Betrachtung der Messung und auch bei der Berechnung ausschließlich um einen festen Frequenzwert von 1680 Hertz handelt, ergibt sich auch der gleiche Wert für den äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel. Dies hat zur Folge, dass man eine Umrechnung mit nur einem Frequenzband hat.

Wenn man diese Rechnung mit nur einem Frequenzband durchführt, erhält man wiederum genau den gleichen Eingabewert.

Schlussfolgernd zeigt sich, dass die berechneten Werte des äquivalenten Oktavband-Dauerschalldruckpegels in dB auch gleichzeitig als äquivalente A-bewertete Dauerschalldruckpegel in dB (A) angegeben werden können. Eine Umrechnung ist somit nicht nötig, um den A-bewerteten Schalldruckpegel anzugeben.

5.5.3. Vereinfachte Rechenmodelle

Für die vereinfachten Rechenmodelle gibt es zwei verschiedene Betrachtungsansätze. Das vereinfachte Rechenmodell aus **Kapitel 4.4** beschränkt sich auf eine freie und direkte Ausbreitung und damit, bezogen auf die Pretests, auf die Messungen in den Hauptachsen. Dabei gibt es keine Einschränkung durch Hindernisse zwischen Schallquelle und Immissionsort. Für die Schallausbreitungen im Freien mit Hindernissen gibt es das vereinfachte Strahlermodell aus **Kapitel 4.5**. Dabei wird durch die Betrachtung des Ausbreitungsweges mit Hindernis ein Umweg des Schalls betrachtet und somit eine Dämpfung am Immissionsort ermittelt. In der Ermittlung ist allerdings aufgefallen, dass Prognosen mit dem Strahlermodell immer höhere Werte zur Folge hatten als ohne Hinderniswirkung. Die beiden Rechenmodelle waren somit nicht aufeinander abgestimmt und es kommt zu unrealistischen Pegelverläufen. Aufgrund dieser Tatsache wurde in der Ermittlung mit dem vereinfachten Rechenmodell auf das Strahlermodell verzichtet. Die Berechnung der Prognosewerte mit Hinderniswirkung wird mit dem vereinfachten Modell durchgeführt, so dass ausschließlich der Abstand zwischen Schallquelle und Schallempfänger für die Bemessung des Rechenmodells von Bedeutung ist.

Im Folgenden wird das Ablaufdiagramm für die Berechnung des Schallpegels eines Messpunktes mit dem vereinfachtem Rechenmodell aufgezeigt.

benötigte Parameter:

Pegelwert Schallquelle Lw	Schalldruckpegelwert direkt an der Schallquelle	dB
Abstand Quelle-Empfänger d	Luftlinie zwischen Schallquelle und Immissionsort	m

Ablauf: Ermittlung der Dämpfung durch Abstand und anschließend vom Pegelwert der Schallquelle abziehen

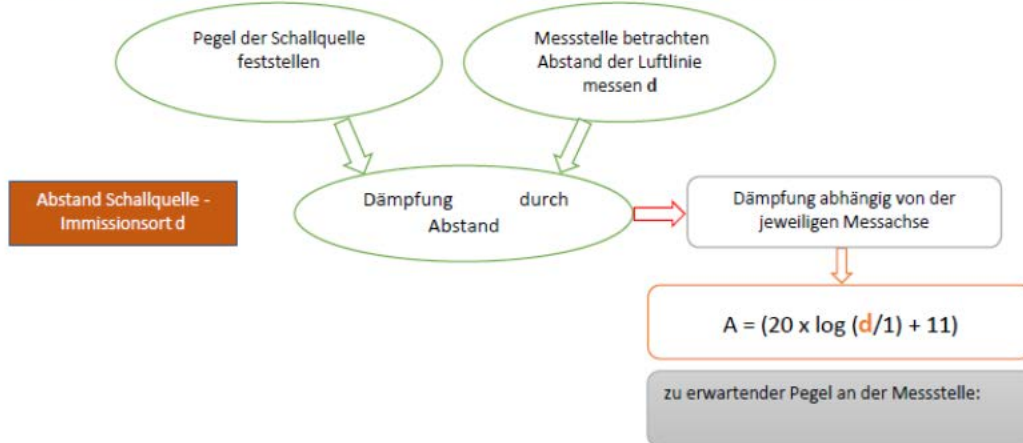


Abbildung 53: Ablaufdiagramm des vereinfachten Rechenmodells

Quelle: Eigene Darstellung.

5.5.4. Faustformel

Die Faustformel ist in Kapitel 4.6 näher beschrieben. Sie lautet „Je Entfernungsverdopplung eine Senkung des Pegelwertes um 5 dB“. Für die Ermittlung mit der Faustformel werden keine äußeren Faktoren einbezogen. Die Berechnung ist dadurch sehr einfach. Dies wird vermutlich zu sehr abweichenden Ergebnissen führen, da die Berechnungsergebnisse nur aufgrund des Abstandes zwischen Schallquelle und Schallempfänger entstehen.

Für die Ermittlung des Pegelwertes an einer Messstelle mit der Faustformel ist im Folgenden das Ablaufdiagramm dargestellt.

benötigte Parameter:

Pegelwert Schallquelle L_w	Schalldruckpegelwert direkt an der Schallquelle	dB
Abstand Quelle-Empfänger d	Luftlinie zwischen Schallquelle und Immissionsort	m

Ablauf: Ermittlung der Dämpfung durch Abstand und anschließend vom Pegelwert der Schallquelle abziehen

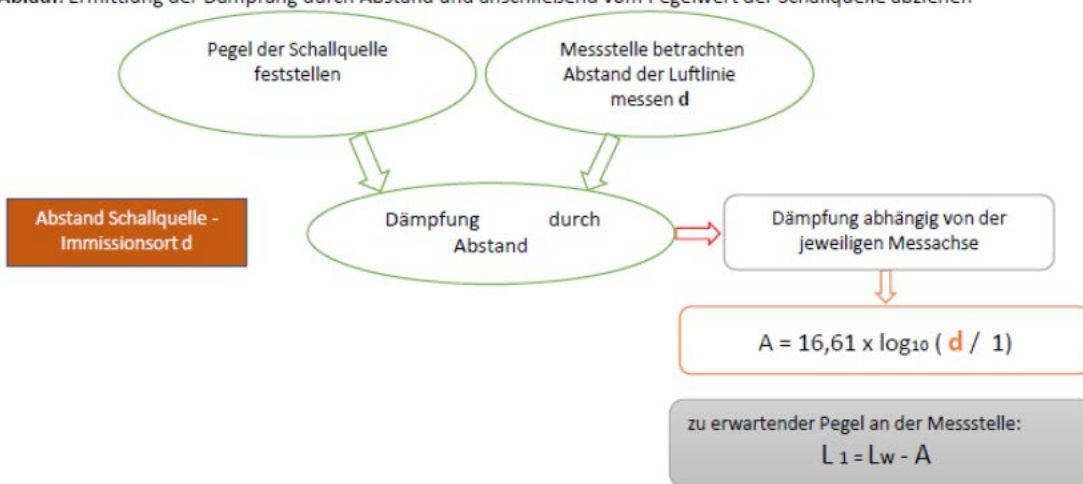


Abbildung 54: Ablaufdiagramm der Faustformel

Quelle: Eigene Darstellung.

5.6. Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse bei Dauerton

In diesem Kapitel werden die Messdaten und die Berechnungsergebnisse abgeglichen. Die Vergleiche beziehen sich nur auf den Ansatz des Dauertons in den Hauptachsen, da man bei diesen von einer direkten Schallausbreitung ausgehen kann. Grundsätzlich lassen sich auch nur die Schallausbreitungen in den Hauptachsen mit den Rechenmodellen ermitteln, da bei allen eine direkte Ausbreitung Grundvoraussetzung ist. Die Prognoseergebnisse der Berechnungen aus der Norm, dem vereinfachten Rechenverfahren und der Faustformel werden mit den Messwerten des Messtages verglichen. Im **Anhang A-4** sind die Werte in Tabellenform und im **Anhang A-5** in Diagrammform aufgeführt.

Es zeigen sich Unterschiede bei den verschiedenen Rechenmodellen in Bezug auf deren Genauigkeit im Vergleich zum Messergebnis. Dabei gibt es auch Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Rechenmodelle. Die Differenzen zwischen den Messergebnissen und den Rechenmodellen sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Messung 1

	Dauernton	DIN Allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
	Pegel dB(A)	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	108	101,93	6,07	99,00	9,00	113,39	5,39
1/+20	101	95,84	5,16	92,98	8,02	108,39	7,39
1/+30	98	92,25	5,75	89,46	8,54	105,47	7,47
1/+40	97	89,68	7,32	86,96	10,04	103,39	6,39
1/+50	93	87,67	5,33	85,02	7,98	101,78	8,78
1/+60	91	86,02	4,98	83,44	7,56	100,46	9,46
1/+80	94 *	83,38	10,62	80,94	14,94	98,39	4,39
1/+100	88	81,30	6,70	79,00	9,00	96,78	8,78
1/+120	87	79,58	7,42	77,42	9,58	95,46	8,46
1/+140	88 *	78,10	9,90	76,08	12,08	94,35	6,35
1/+160	80	76,90	3,20	74,92	5,08	93,39	13,39
1/+180	78	75,63	2,37	73,89	4,11	92,54	14,54
1/+190	78	75,09	2,91	73,42	4,58	92,15	14,15

Tabelle 23: Differenzen der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung mit Dauernton

In der Tabelle 23 erkennt man die jeweilige Abweichung pro Messvorgang für die Hauptachse der 1. Messung. Die orange markierten Pegelwerte sind durch Lärmspitzen von Nebengeräuschen erzeugt und können mit den Rechenverfahren nicht dargestellt werden. Somit werden diese Werte nicht in die Berechnung einbezogen.

Im **Anhang A-6** befinden sich die Tabellen mit den ermittelten Ergebnissen und insbesondere die Tabellen, die die entstandenen Differenzen zwischen den Messergebnissen und den Rechenmodellen aller Messungen aufführen. Dabei ist vor allem der untere Wert, also die durchschnittliche Differenz pro Messung, von entscheidender Bedeutung. Dieser Wert gibt an, inwiefern die Rechenergebnisse mit den Messungen übereinstimmen, so dass man die verschiedenen Messungen besser miteinander vergleichen kann.

Dieser Vergleich aller Hauptachsen der Messungen wird in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

	DIN Allgemeines Verfahren Δ dB	Rechenmodell Δ dB	Faustformel Δ dB
Messung 1	5,20 Δ dB	7,59 Δ dB	9,47 Δ dB
Messung 2	4,63 Δ dB	6,47 Δ dB	10,30 Δ dB
Messung 3	5,43 Δ dB	6,66 Δ dB	13,30 Δ dB
Messung 4	5,11 Δ dB	6,99 Δ dB	9,37 Δ dB
Messung 5	5,56 Δ dB	6,91 Δ dB	6,28 Δ dB
Ø Differenz	5,19 dB	6,92 dB	9,74 dB

Tabelle 24: Durchschnittliche Pegeldifferenz der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung

Es zeigen sich bei allen Rechenmodellen größere Differenzen der berechneten Pegeldifferenz. Die Faustformel weist dabei mit einer durchschnittlichen Abweichung von ca. 9,7 dB die höchste Pegeldifferenz pro Messachse auf. Die Ergebnisse des vereinfachten Rechenmodells liegen mit einer durchschnittlichen Abweichung von ca. 6,9 dB im Vergleich zur Faustformel näher an der schalltechnischen Messung. Die besten Ergebnisse der drei Rechenverfahren lassen sich mit dem Allgemeinen Verfahren der DIN ISO 9613-2 erzielen. Es ergibt sich hier im Durchschnitt eine Pegeldifferenz von ca. 5,2 dB pro Messachse.

Es zeigt sich, dass das Berechnungsverfahren der Norm am besten die Messergebnisse abbilden kann. Mit zunehmenden Abständen wird die Abweichung 's' immer geringer. So haben die Messpunkte 1/+160...180...190 eine geringere Abweichung als beispielsweise die Pegelwerte der Messachse bei 1/+40. Somit ergeben sich mit zunehmenden Abständen bessere Berechnungswerte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mithilfe der Norm die besten Prognoseergebnisse erzielt werden können, auch wenn stets geringe Abweichungen vorhanden sind, die mit zunehmender Entfernung zwischen Schallquelle und Immissionsort kleiner werden.

5.7. Vergleich Mess- und Berechnungsergebnisse bei Sprache

In diesem Kapitel wird auf die Messergebnisse und Berechnungsergebnisse bei Sprachdurchsage eingegangen. Es werden auch hier, wie im vorherigen Kapitel, nur die Hauptachsen betrachtet. Da sich schon aus **Kapitel 5.6** ergibt, dass der Berechnungsansatz nach Norm realitätsnähere Ergebnisse liefert, wird bei der Sprachdurchsage ein anderer Einfluss untersucht. Es erfolgt ein Vergleich der Ermittlung nach DIN ISO 9613-2 unter veränderten Bedingungen. Dazu wird zunächst die Berechnung der Norm mithilfe des allgemeinen Verfahrens ermittelt. Des Weiteren erfolgen zwei zusätzliche Betrachtungen, bei der ein weicher Boden mit dem Bodenfaktor $G = 1,0$ und ein Frequenzbereich von 200 bis 3.500 Hertz angesetzt wird. Dieser Bereich entspricht dem Frequenzbereich einer möglichen Sprachdurchsage. Die Ergebnisse werden im **Anhang A-9** aufgeführt.

Messung 1

	hypothetisch: weicher Boden [G = 1,0]						
	Dauerton	DIN Allgemeines Verf.		200 Hertz		3.500 Hertz	
	Pegel dB(A)	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	77	76,93	0,07	72,46	4,54	73,93	5,07
1/+20	76	70,84	5,16	65,16	10,84	67,84	8,16
1/+30	72	67,25	4,75	60,46	11,54	64,25	7,75
1/+40	69	64,68	4,32	57,04	11,96	61,68	9,32
1/+50	68,5	62,67	5,83	54,75	13,75	59,67	10,33
1/+60	67,5	61,07	6,43	52,20	15,30	58,07	10,93
1/+80	67	58,39					
1/+100	67,5	56,30	11,20	46,03	21,47	53,30	14,70
1/+120	66,5	54,58	11,92	43,98	22,52	51,58	11,42
1/+140	68 *	53,10	9,90	42,21	25,79	50,10	11,90
1/+160	56,5	51,80	4,70	40,73	15,77	48,80	14,20
1/+180	56,2	50,63	5,57	39,45	16,75	47,63	10,37
1/+190	55,8	50,09	5,71	39,26	16,54	47,09	8,91
		Ø Differenz	6,4		14,9		10,3

Tabelle 25: Differenzen der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung der Sprachdurchsage

In Tabelle 24 ist exemplarisch die durchschnittliche Differenz je Messpunkt für die Hauptachse 1 der 1. Messung dargestellt. Der Vergleich aller Hauptachsen der Berechnungen wird in Tabelle 25: Differenzen der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung der Sprachdurchsage aufgeführt.

	hypothetisch: weicher Boden [G = 1,0]		
	DIN Allgemeines Verf.	200 Hertz	3.500 Hertz
	Δ dB	Δ dB	Δ dB
Messung 1	6,36 Δ dB	14,94 Δ dB	10,31 Δ dB
Messung 2	7,44 Δ dB	16,81 Δ dB	10,44 Δ dB
Messung 3	6,49 Δ dB	15,03 Δ dB	8,97 Δ dB
Messung 4	4,51 Δ dB	11,75 Δ dB	6,91 Δ dB
Messung 5	7,57 Δ dB	14,57 Δ dB	9,91 Δ dB
Ø Differenz	6,5 dB	14,6 dB	9,3 dB

Tabelle 26: Durchschnittliche Pegeldifferenz der Rechenmodelle im Vergleich zur Messung

Es zeigt sich, dass eine Veränderung hin zu einem weichen Boden größere Differenzen und somit schlechtere Prognoseergebnisse zur Folge hat. Dies unterstreicht die Annahme der schallbegünstigenden Wirkung von hartem Boden durch mehrfache Reflexionswirkung auf dem Messgelände. Des Weiteren zeigt sich, wie sich eine hypothetische Frequenzänderung bei weichem Boden auswirkt. Dabei weisen die niedrigeren Frequenzen eine größere Pegeldifferenz auf.

Bei der Genauigkeit der Berechnung nach Norm im Vergleich zum Messergebnis stellt sich eine durchschnittliche Abweichung von ca. 6,4 dB zum Messergebnis ein.

Bei der Sprachdurchsage kommt erschwerend hinzu, dass schon bei Entfernungen ab ca. 50 Metern der vorhandene Grundgeräuschpegel in vergleichbarer Höhe zum gemessenen Schallpegelwert liegt.

5.8. Vergleich Berechnungs- und Messergebnisse

In diesem Kapitel werden die Berechnungsergebnisse der verschiedenen Berechnungsmodelle mit den gemessenen Schalldruckpegeln verglichen.

Als Berechnungsmodelle werden die Verfahren nach DIN ISO 9613-2, dem Vereinfachten Verfahren und der Faustformel angesetzt. Die Berechnungsergebnisse bilden sich als logarithmische Kurven ab, die sich je nach Genauigkeit des Berechnungsverfahrens näher an die logarithmische Kurve der Messergebnisse anschmiegt. Dies zeigt exemplarisch die nachfolgende Darstellung der Messung 1 / Hauptachse 1 mit Dauerton. Im **Anhang A-5** sind die Darstellungen des Dauertons und in **Anhang A-8** die der Sprachdurchsage aufgeführt.

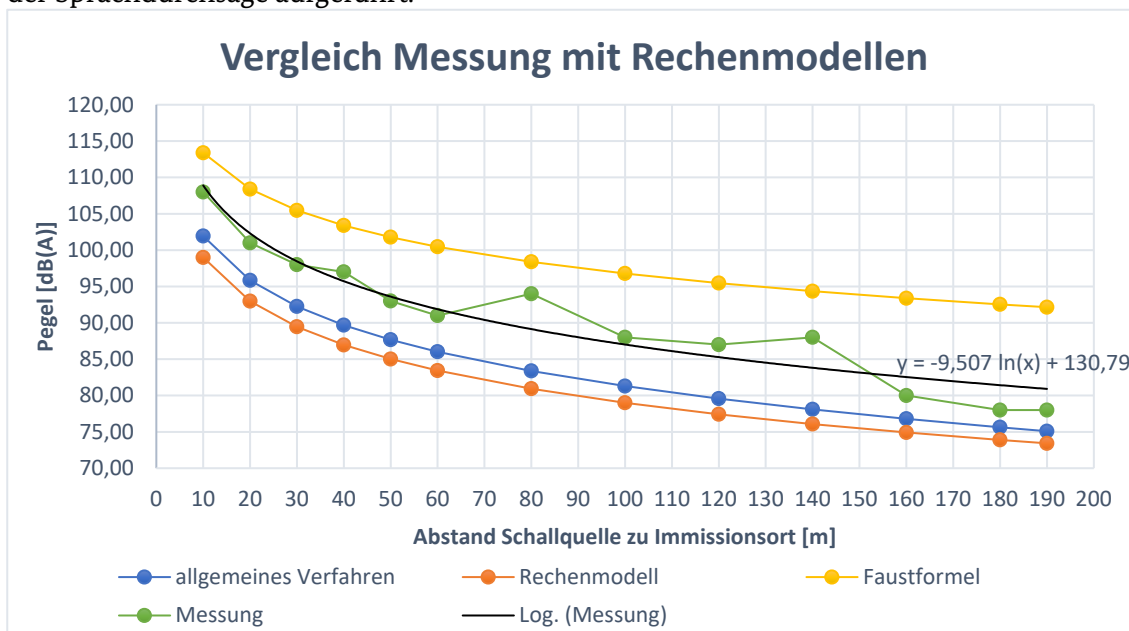


Abbildung 55: Vergleich Messung mit verschiedenen Rechenmodellen in Diagrammform
Quelle: Eigene Darstellung.

In der Darstellung erkennt man die logarithmischen Kurven der Norm (blau), des vereinfachten Rechenverfahrens (orange), der Faustformel (gelb) und der schalltechnischen Messung (grün) in Form einer Trendlinie. Es wird deutlich, dass der Kurvenverlauf des vereinfachten Rechenmodells und der Faustformel größere Abstände zu den Ergebnissen der schalltechnischen Messung aufweisen. Diese Abweichungen basieren darauf, dass die Berechnungsergebnisse dieser beiden Rechenmodelle nur auf Grundlage der Entfernung entstehen. Andere mögliche Dämpfungsaspekte werden nicht in Betracht gezogen.

Das Berechnungsergebnis der Norm liegt bei allen Hauptachsen in unmittelbarer Nähe der schalltechnischen Messungen und liefert somit realistischere Prognoseergebnisse. Diese weisen allerdings im Vergleich zu den Ergebnissen der schalltechnischen Messung noch einen gewissen Unterschied auf. Die Gründe für diese Differenz sind vielfältig. Diese können beispielweise sein:

- Grundungenauigkeit der Norm⁷²
- Ermittlung ausschließlich für eine Mitwind-Situation⁷³
- mögliche Ungenauigkeiten bei abgeschätzten Dämpfungswerten (Bebauung)
- Prognoseergebnis der Norm eher Vergleichswerte für Lärmbeurteilung, die keine 100-prozentige Genauigkeit vorsehen⁷⁴
- DIN wurde für Abstände > 200 Meter konzipiert, Forschungsprojekt: 0 – 100 Meter
- Ermittlung der Pegelwerte nur in eine Richtung möglich.

Diese Aspekte wirken sich negativ auf die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse nach Norm aus. Zu dem Sachverhalt, dass die DIN ISO 9613-2 einige Schwächen hat, äußern sich mehrere Experten auf dem Gebiet der akustischen Schallausbreitung im Freien. So auch Prof. Dr. Karl-Wilhelm Hirsch, der die Verwendung der Norm für die schalltechnische Prognoseermittlung ablehnt und kritisiert. Mit seinem Aufsatz zum Thema setzt er sich mit den Schwächen der Norm kritisch auseinander. Dementsprechend nennt er diesen Aufsatz auch provokant: „Götzenverehrung – DIN ISO 9613-2“.⁷⁵ Er kritisiert die vorherrschende Fixierung auf das alleinige Prognoseverfahren und fordert eine grundsätzliche Veränderung bei der Berechnung von Schallprognosen.

In Bezug auf die Genauigkeit mahnt er an, dass man die Prognoseverfahren eher als Vergleichswerte betrachten sollte, die im Einsatz für „verwaltungsakustische Schallgutachten“ zur Verwendung kommen. Bei der Ermittlung sind Pegelabweichungen von 3 – 7 dB je Messung relativ normale Werte, da man mithilfe der Norm keine absolute Genauigkeit erwarten kann.⁷⁶ Ein Vergleich auf das dB genau ist mit der Norm daher nicht möglich. Die Einschätzung vom Experten Prof. Dr. Karl-Wilhelm Hirsch zeigt, dass eine gewisse Abweichung zwischen schalltechnischer Messung und Ermittlung nach Norm normal ist.

Mit den Angaben der Norm zeigt sich, dass es bei viel und komplex angeordneter Bebauung zu diffusen Reflexionswirkungen kommen kann, wobei man einen realistischen Pegelwert mit der Norm nicht mehr ausreichend genau darstellen kann. Dass dies auch ein Hauptaspekt der abweichenden Werte ist, zeigt sich an den niedrigen Prognosewerten der Norm im Vergleich zu den Messergebnissen. Diese kommen zustande, da die komplexe Reflexion auf dem Gelände mithilfe der Norm nicht dargestellt werden kann und der daraus resultierende Schallpegel die schallsteigernde Wirkung der Bebauung nicht abbildet.

⁷² Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 9, Genauigkeiten.

⁷³ Verweis; DIN ISO 9613-2 1999, Abschnitt 5, Witterungsbedingungen.

⁷⁴ Vgl. Henn 2008, S. 231.

⁷⁵ Vgl. Hirsch 2018, S. 6.

⁷⁶ Vgl. Hirsch 2018, S. 6.

5.9. Erkenntnisse der Schallausbreitung

Ein offensichtlicher Aspekt der Norm sind die Dämpfungsaspekte. Die Dämpfung durch den Abstand hat dabei den größten Anteil an der Gesamtdämpfung. Mit zunehmendem Abstand nimmt die Dämpfung des Schalls zu. Die Kurve des Pegels verläuft dabei logarithmisch absteigend und so ergeben sich anfangs große Pegeldifferenzen, die mit zunehmendem Abstand geringer werden. Die anderen Dämpfungsaspekte sind ebenfalls wichtig bei der Ermittlung, allerdings nicht so ausgeprägt wie die Dämpfung aufgrund des Abstandes. Im folgenden Diagramm sind die jeweiligen Anteile der Dämpfung für eine exemplarische Berechnung des Dauertons beim Messpunkt 3/+100 mit einer Entfernung von 105,9 Metern zu erkennen.

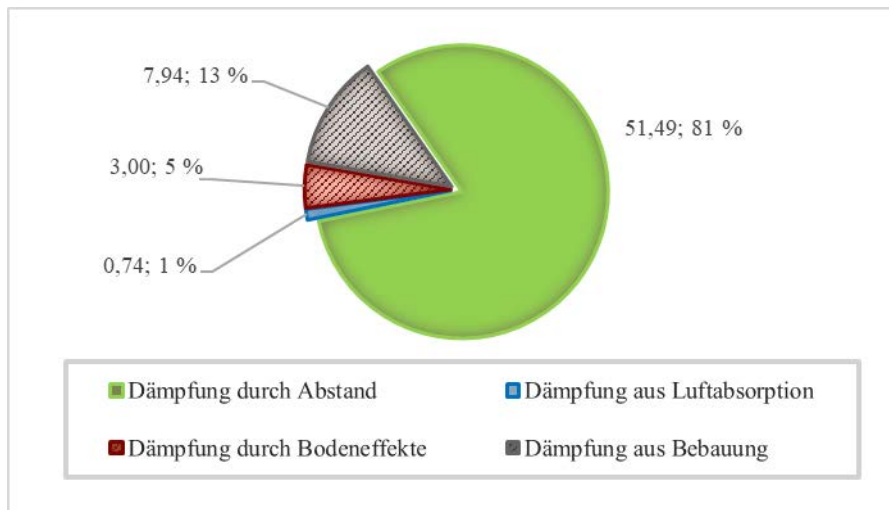


Abbildung 56: Kreisdiagramm der Dämpfungsanteile der Messstelle 3/+100 in dB
Quelle: Eigene Darstellung.

Den größten Dämpfungsanteil bei diesem Messpunkt hat die Dämpfung durch den Abstand mit 81 Prozent, aber auch die Anteile aus Bebauung und die Bodeneffekte wirken sich auf die Schallausbreitung nach DIN aus. Im Endeffekt benötigt man alle im Ausbreitungsweg vorhandenen Dämpfungsfaktoren, um eine realistische Schallprognose im Sinne der Norm zu erzielen.

Neben den Anteilen der Dämpfungsparameter kann man mithilfe der Norm allerdings auch Rückschlüsse auf Frequenzabhängigkeiten ziehen. Dabei zeigt sich ein Unterschied zwischen einem harten und einem weichen Boden, denn der harte Boden ist laut Norm frequenzunabhängig, der weiche Boden jedoch frequenzabhängig.

Durch die Berechnung der Prognosewerte bei der Sprachdurchsage wurde der Einfluss für einen möglichen Frequenzbereich von 200 bis 3.500 Hertz auf einem weichen Untergrund berechnet. Dieser Frequenzbereich spiegelt die Frequenzen einer möglichen Sprachdurchsage wider. Die Ermittlungen sind in **Anhang A-7** und **Anhang A-9** dargestellt. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse der Frequenzen 200 und 3.500 Hertz eine größere Differenz als die Berechnung mit dem Allgemeinen Verfahren aufweisen. Dies bedeutet, dass der schallbegünstigende Ansatz des harten Bodens und der daraus resultierenden Reflexionsfläche realistischer für das Messgelände ist. Bei den Frequenzbereichen wirkt sich die niedrige Frequenz schallhemmender aus als die höhere Frequenz.

Ein weiterer Aspekt ist die unterschiedliche Wirkung der Sirensignale. Die Sprachdurchsage wiederum ist durch die Frequenzschwankungen in Bezug auf die Lautstärke viel leiser als die Warnung mit dem Dauerton. Dies zeigt sich an den Pegelwerten, die sich bei der Messung einstellen. Man geht bei

einem Pegel von etwa 65 dB (A) von einer Bevölkerungsreaktion von circa 70 Prozent aus. Diese Pegel stellen sich bei dem Dauerton bei etwa 200 Metern entlang der Hauptachsen und ca. 70 – 120 Metern entlang der Nebenachsen ein. Bei der Sprachdurchsage sind diese Pegel schon ungefähr bei 50 Metern je Achse erreicht. Dies hat Einfluss auf die Verständlichkeit der Sprachdurchsage. Mit zunehmendem Abstand sind bestimmte Laute nicht mehr verständlich. Zwar führt das allgemein wahrnehmbare Geräusch der Sprachdurchsage zu einer gewissen Reaktion bei den Menschen, allerdings können diese wegen der Unverständlichkeit nicht mehr den Handlungsempfehlungen folgen. Besonders bei den Achsen 8 und 9 an der Daennerstraße sind die Aussagen nicht zu verstehen. Zudem wirkt sich die abschirmende Wirkung durch Gebäudefassaden auch auf diese Messachsen aus und führt zu einer größeren Dämpfung durch Bebauung. Die schlechte Verständlichkeit der Sprachaussage liegt vor allem am vorherrschenden Lärmpegel an der Straße, denn dort fallen Schallpegelwerte von 62 – 53 dB (A) an. Hinzu kommen Lärmspitzen durch Pkw- und Lkw-Verkehr, die bis zu 75 dB (A) aufweisen können.

5.10. Ausblick auf die Erprobung

Die vorangegangenen Kapitel zeigen, dass die Ermittlung der Schallausbreitung im Freien mithilfe der Norm nur unter gewissen Abweichungen möglich ist. Dadurch existiert eine beständige Differenz zwischen der schalltechnischen Messung und der Berechnung mit dem Allgemeinen Verfahren nach der DIN ISO 9613-2.

Ein Hauptaspekt der Differenz zwischen schalltechnischer Messung und den Prognoseverfahren ist das diffuse Reflexionsverhalten in einem Gebiet mit komplexer Bebauung.

Unter Anbetracht des Projektzieles werden die Erkenntnisse dieser Pretests zunächst für die Wahl der Aufstellorte der Warnmittel genutzt. Die Pretests haben ungeachtet der Auswertungen bestätigt, dass die Schallausbreitung des Dauertons vergleichbar zu den Herstellerangaben ist. Laut Hersteller ist die Schallausbreitung bis maximal ca. 90 Meter wahrnehmbar. Bei günstigen Umgebungsverhältnissen wie beispielweise auf dem Betriebsgelände für die Pretests konnten durchaus auch größere Entfernungen der Schallausbreitung realisiert werden.

Die Pretests zeigten auch den Einfluss von Nebengeräuschen und der örtlichen Bebauung auf die Schallausbreitung.

Daher ist es unumgänglich, die Wirksamkeit von Warnmitteln hinsichtlich Ton- und Sprachdurchsagen im geplanten Areal zu testen, denn nur durch derartige Messungen sind präzise Messwerte möglich. Dies wird auch in der Norm unter dem Aspekt der Mehrfachreflexion angeraten.⁷⁷ Durch die Messung erkennt man direkt die unterschiedlichen Pegel, die sich aufgrund der Bebauung in der Stadt einstellen, und wie ein Gebiet mittels gerichteter und/oder mehrerer Lautsprecheranlagen abgedeckt werden kann.

⁷⁷ Verweis DIN ISO 9613-2 1999, Anhang A.3.1, Bebauung.

6. Schalltechnische Messungen der Erprobung

Nach der Analyse der Bebauung der Stadt Kaiserslautern sowie der erfolgreichen Durchführung der Pretests wurden die Aufstellorte der Warnmittel für eine abschließende Testphase definiert. In Kapitel 6.1 werden die Standorte näher erläutert.

Die Erprobung erfolgte dann am 17.06.2021 unter realen Bedingungen in Form eines Evaluierungstages. Die klimatischen Bedingungen des Testtages sind in Kapitel 6.2 aufgeführt. In Kapitel 6.3 werden die Messdurchführung und deren Ergebnisse dargestellt.

Die Auswertung der Messergebnisse ist Kapitel 6.4 zu entnehmen

6.1. Aufstellorte der Warnmittel

Die Auswahl der Aufstellorte der Warnmittel in Kaiserslautern für die Erprobung basiert auf verschiedenen Kriterien.

Zunächst sollen die Aufstellorte so gewählt werden, dass dort eine möglichst große Anzahl an Passantinnen und Passanten anzutreffen ist. Diese sollen während der Durchführung der Tests hinsichtlich sozialwissenschaftlicher Kriterien befragt werden. Für die technisch-wissenschaftliche Evaluation wurde ein eigener Bericht erstellt.

Aus technischer Sicht können laut Angaben des IT-Dienstleisters KL.digital, der im Rahmen dieses Pilotprojektes als sogenannter Warnmultiplikator fungierte, nur Standorte gewählt werden, für die eine sichere Strom- und Funkversorgung anliegt. Ein Warnmultiplikator ist an das Modulare Warnsystem angebunden und zur Weiterleitung und Ausgabe amtlicher Warnungen an seine Kundinnen und Kunden bzw. Nutzerinnen und Nutzer (z. B. Sendeanstalten oder Warnmittel) berechtigt.⁷⁸ Zudem müssen die Standorte (z. B. Lichtmasten) gemäß den Vorgaben der Stadtverwaltung Kaiserslautern für die Anbringung der Warnmittel geeignet sein.

Aus Sicht der technischen Evaluation definieren sich die Vorgaben an die Aufstellorte anhand der anzutreffenden Bebauung. Zunächst sind Standorte zu empfehlen, die von voluminöser Blockbebauungen umgeben sind. Dadurch kann die Reflexion der Schallausbreitung durch die Gebäude analysiert werden. Weiterhin sind größere Plätze zu empfehlen, um den Einfluss offener Flächen zu testen. Als dritte Option wäre eine Aufstellung der Warnmittel in typischen Wohngebieten mit offener Bebauung in Form von Ein- und Doppelhäusern wünschenswert.

Für den Evaluierungstag standen laut Projektvorgaben insgesamt vier Warnmittel zur Verfügung.

Aus den zuvor genannten Prämissen und den Erkenntnissen der Pretests wurden folgende Aufstellorte in Kaiserslautern für die Warnmittel ausgewählt:

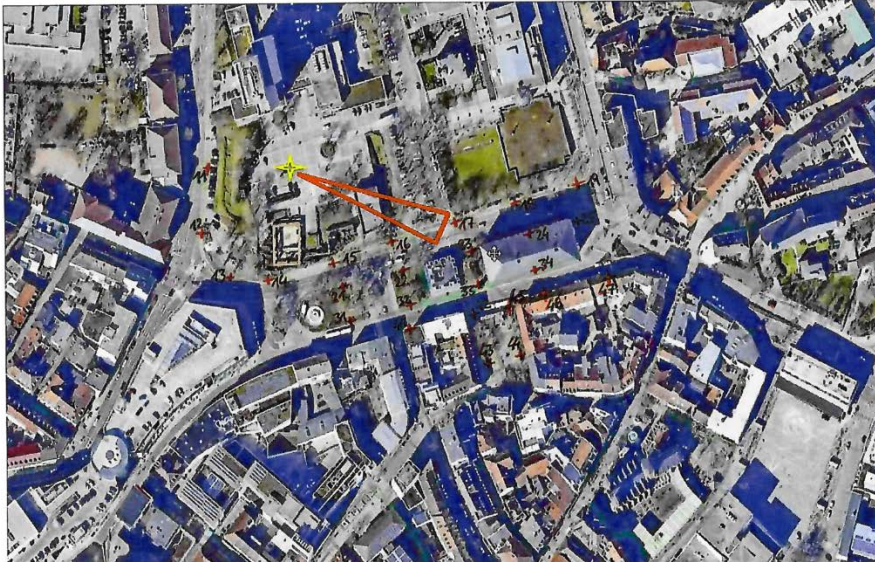
- **Standort 1: Rathausvorplatz**

- Der gewählte Lichtmast hat eine Höhe von ca. 8 – 10 Metern. Das Warnmittel kann in einer Höhe von ca. 7,5 Metern befestigt werden.
- Der Standort des Lichtmastes liegt erhöht gegenüber der Umgebung auf dem Rathausvorplatz. Damit soll getestet werden, ob eine derart erhöhte Anordnung einen positiven Einfluss auf die Schallausbreitung hat.
- Die Strahlrichtung des Signalhorns wird in südöstliche Richtung ausgerichtet. Damit erfolgt die Schallausbreitung in Richtung der Bushaltestellen in der Burgstraße bzw. Fruchthallstraße.

⁷⁸ Vgl. BBK-Glossar 2019, S. 57.

Dementsprechend ist eine Schallüberlagerung zwischen Bus- und Straßenlärm sowie den Warnungen zu erwarten.

- Die Schallausbreitung kann in südöstlicher Richtung bis hin zum Schillerplatz und zur Fruchthalle getestet werden. In westlicher Richtung soll dies bis zum Einkaufszentrum K erfolgen.
- Die starke Personenfrequenz an den Bushaltestellen sowie in der Burg- und Fackelhallstraße ermöglichen die Befragungen von Passantinnen und Passanten.



ACHSEN

MESSACHSE 1
MESSPUNKTE 11 – 19

MESSACHSE 2
MESSPUNKTE 21 – 25

MESSACHSE 3
MESSPUNKTE 31 – 34

MESSACHSE 4
MESSPUNKTE 41 – 47

Abbildung 57: Aufstellort Rathausvorplatz

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

• Standort 2: Fackelstraße

- Die Fußgängerzone zieht sich durch die Fackelstraße. Daher wurden zwei Standorte für die Warnmittel gewählt:
 - Standort 2.1: Lichtmast Ecke Fackelrondell/Fackelstraße von der Mall mit Strahlrichtung des Signalhorns Richtung Fackelstraße zu Standort 2.2.
 - Standort 2.2: Lichtmast Ecke Kerststraße/Fackelstraße mit Strahlrichtung des Signalhorns Richtung Fackelstraße zu Standort 2.1.
- Durch die gegenseitige Strahlrichtung der Warnmittel soll die Überlagerung der Warnmeldungen getestet werden.
- Die starke Personenfrequenz in der Fußgängerzone ermöglicht die Befragungen von Passantinnen und Passanten.

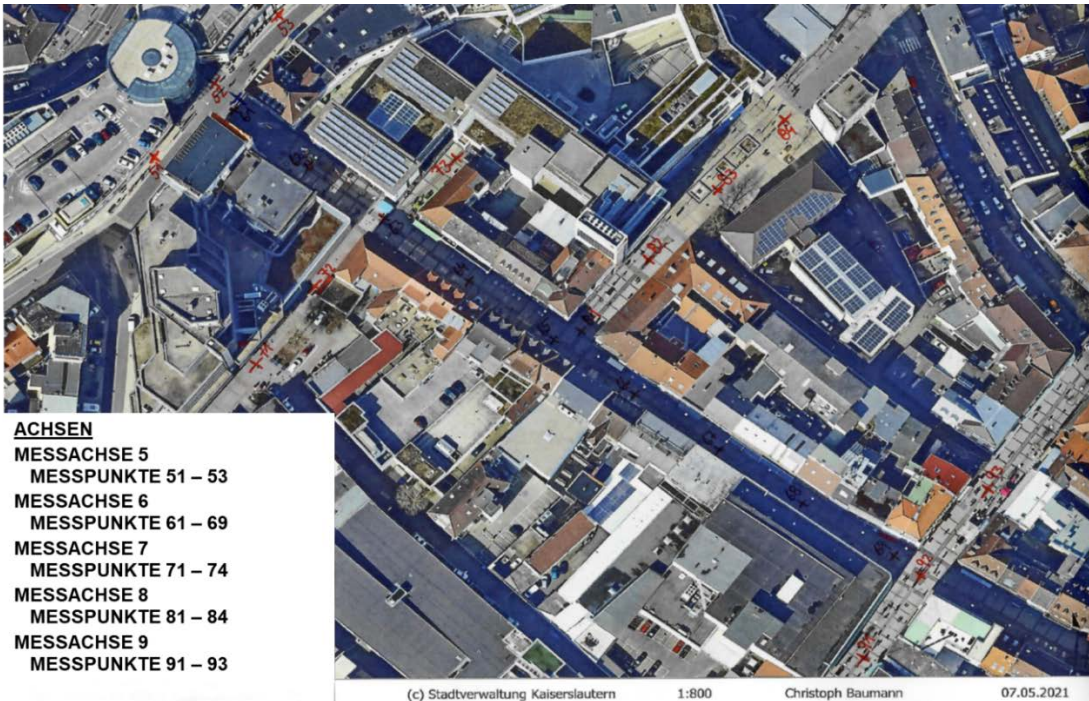


Abbildung 58: Aufstellort Fackelstraße
 Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

- **Standort 3: Steinstraße (St.-Martins-Platz)**

- Die Anordnung des Warnmittels erfolgt in der Steinstraße 11 (städtische Musikschule).
- Die Schallausbreitung erfolgt Richtung Steinstraße zur Spittelstraße.
- Die starke Personenfrequenz auf dem St.-Martins-Platz und der Spittelstraße ermöglichen die Befragungen von Passantinnen und Passanten.

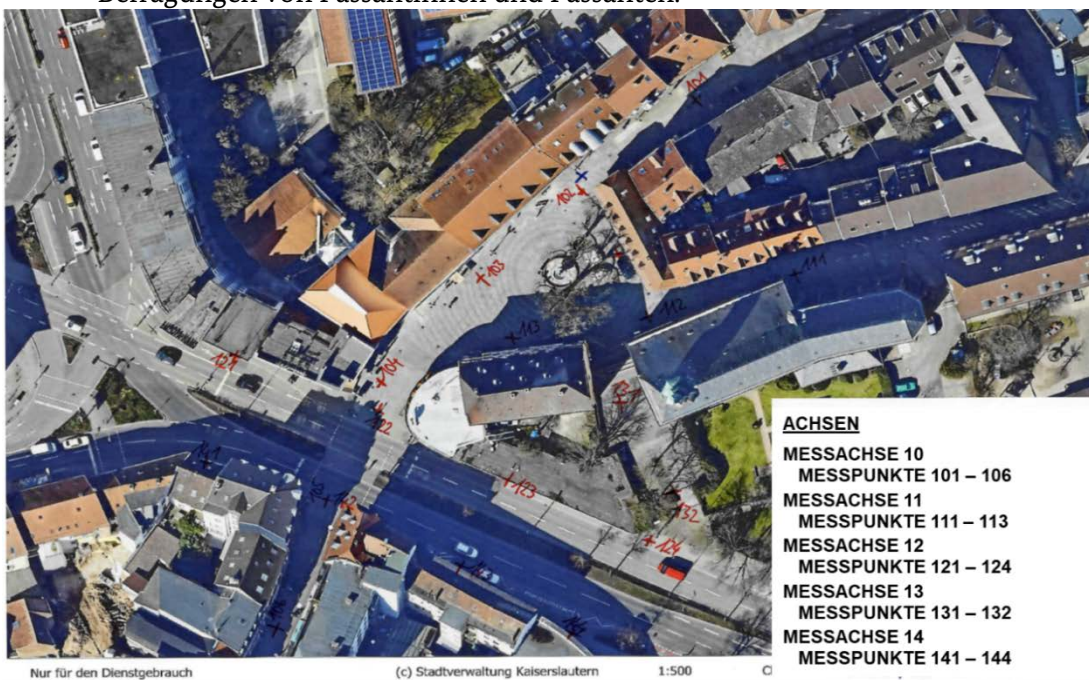


Abbildung 59: Aufstellort St.-Martins-Platz
 Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

6.2. Klimatische Bedingungen am Testtag

Als Testtag wurde der 17.06.2021 festgelegt. Die Testdurchsagen starteten ab ca. 10:00 Uhr am Standort 1 (Rathausvorplatz), erfolgten ab ca. 12:00 Uhr am Standort 2 (Fackelstraße) und wurden ab ca. 14:00 Uhr am Standort 3 (Steinstraße) durchgeführt.

Das Wetter am Testtag war trocken. Der Himmel war wolkenfrei. Die Temperatur lag zwischen 20 °C morgens und ca. 33,1 °C⁷⁹ am Nachmittag.

6.3. Messdurchführung und -ergebnisse

Am Testtag wurden die Schallmessungen an den Standorten durchgeführt. Nachfolgend werden der Messaufbau und die Messergebnisse des einzelnen Standortes erläutert. Als Messinstrumente wurden dieselben Geräte wie bei den Pretests eingesetzt.

6.3.1. Standort 1 Rathausplatz

Der Standort des Warnmittels ist in der folgenden Abbildung mit einem schwarzen Pfeil markiert, Messachsen bzw. Messpunkte sind mit rotem Kasten markiert.

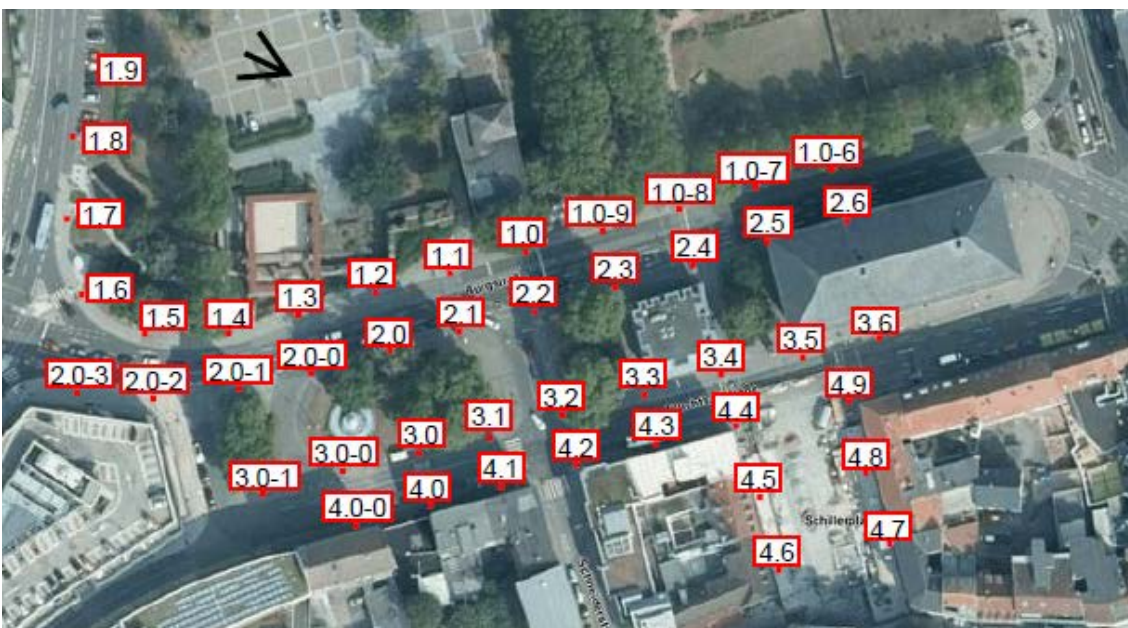


Abbildung 60: Messpunkte Standort 1

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

Die Warnungssequenz an einem Standort setzte sich aus vier Probemeldungen zusammen, bestehend aus einer Meldungsabfolge mit einem Sirensignalton, gefolgt von einer zweifachen Sprachausgabe auf Deutsch und auf Englisch. Die ersten drei Probemeldungen wurden mit dem Sirensignal des Warntons (auf- und abschwellender Ton) für eine Warnung ausgegeben. Für die vierte Probemeldung wurde das Sirensignal einer Entwarnung (Dauerton) verwendet. Zum Testen wurden die ersten beiden Meldungsabfolgen mit einer Lautstärke von 50 und 75 Prozent ausgegeben.

Da auf Grund der Pretest-Ergebnisse eine volle Lautstärke benötigt wird, wurden für die beiden ersten Meldungsabfolgen keine Messungen durchgeführt.

⁷⁹ Wetterkontor 2021.

Die zwei weiteren Probemeldungen sind messtechnisch nicht gut verwertbar. Durch den hohen Grundgeräuschpegel in der Burg- und Fruchthallstraße (Straßenlärm) konnten die Warnsignale und Sprachdurchsagen nur geringfügig, teilweise gar nicht wahrgenommen werden. Die Schallausbreitung auf dem Rathausvorplatz liegt im Bereich des ca. 90 Meter umfassenden Schallausbreitungskegels des Herstellers Helin. Der Rathausvorplatz selbst wurde jedoch nicht mit Messachsen belegt. Die dort durchgeführten Messungen sind daher nicht repräsentativ.

6.3.2. Standort 2 Fackelstraße

Der Standort des Warnmittels ist in der folgenden Abbildung mit einem schwarzen Pfeil markiert, Messachsen bzw. Messpunkte sind mit rotem Kasten markiert.



Abbildung 61: Messpunkte Standort 2

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

Der ursprünglich geplante Testablauf sah vor, dass von den vier Probemeldungen zu Beginn der Meldungssequenz zwei Meldungen mit jeweils beiden Warnmitteln an den Aufstellorten 2.1 und 2.2 gegeneinander strahlen. Am Testtag selbst konnte jedoch das Warnmittel am Standort 2.2 nur in den letzten beiden Probemeldungen aktiviert werden.

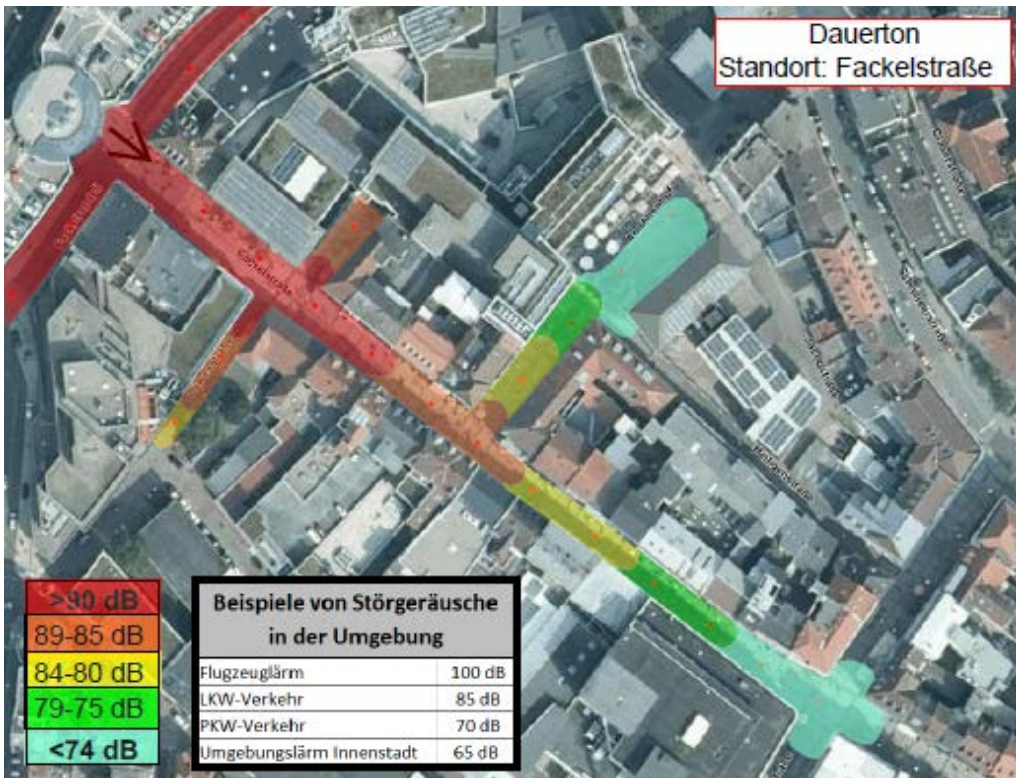


Abbildung 62: Messergebnisse Warnmittel Standort 2.1 Dauerton
Quelle: Eigene Darstellung.

Der Schallpegel beim Dauerton breitet sich innerhalb der Straßenflucht kontinuierlich aus. Reflexionen durch die angrenzende Blockbebauung sind in der Fackelstraße kaum festzustellen. Der Schalldruckpegel liegt im Bereich von ca. 85 dB (A) auf einer Länge von bis zu maximal 90 Metern. Danach fällt der Schalldruckpegel sehr schnell ab, so dass dann die Warntöne durch die Grundgeräusche in der Fackelstraße übertönt werden. Selbst laute Gespräche von Passantinnen und Passanten führen in den gelb und grün markierten Bereichen bereits dazu, dass die Warntöne kaum noch wahrgenommen werden konnten. Überraschend gut war der Warnton in den Seitenachsen „Am Altenhof“ und in der „Löwenstraße“ wahrzunehmen. Dies ist vermutlich der Reflexion durch die Bebauung geschuldet.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verständlichkeit der Sprachdurchsagen auf.

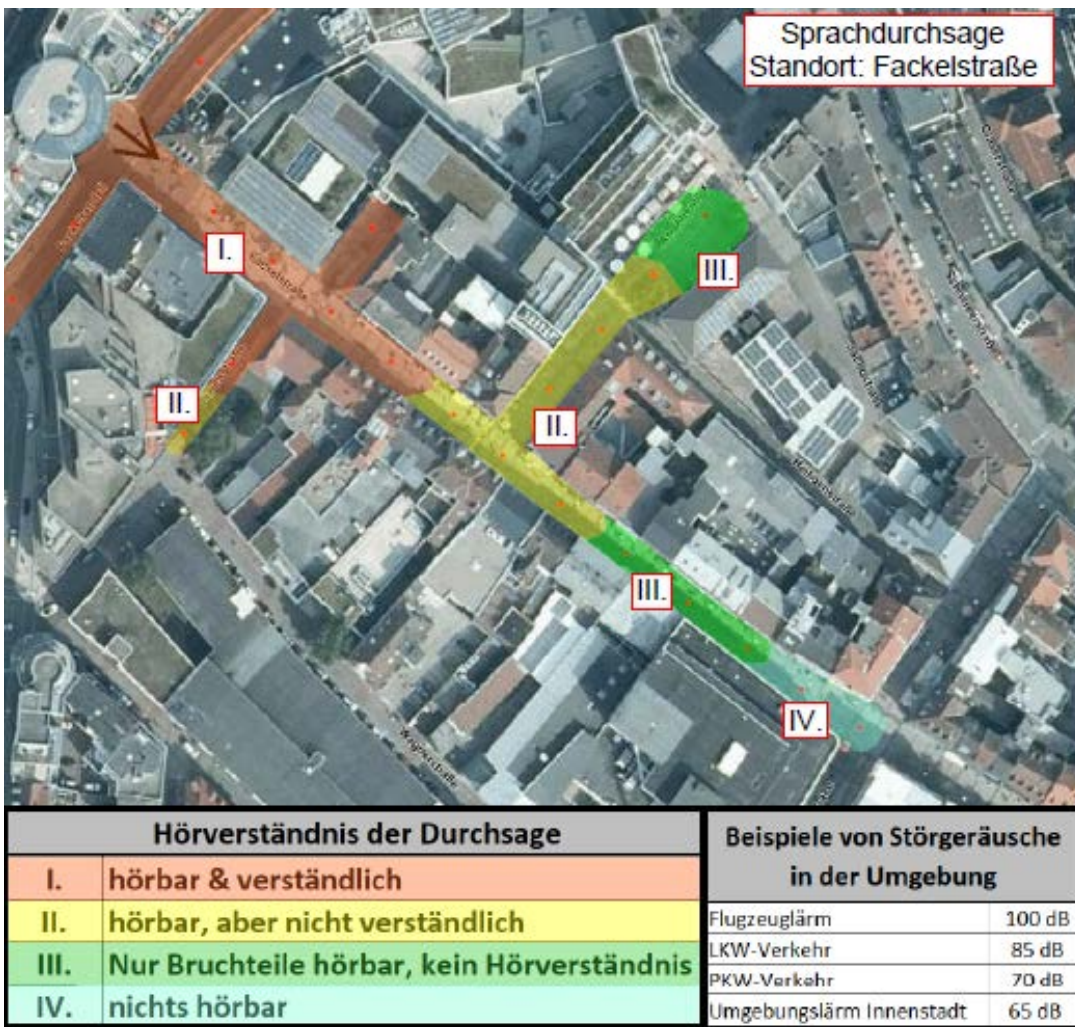


Abbildung 63: Messergebnisse Warnmittel Standort 2.1 Sprachdurchsage
 Quelle: Eigene Darstellung.

Es wird auch hier deutlich, dass die Sprachdurchsagen maximal innerhalb einer Reichweite bis zu 90 Metern verständlich sind (siehe roter Bereich). In den weiteren Messbereichen waren weder Hörbarkeit noch Verständlichkeit gegeben.

Die nächste Abbildung weist die Messergebnisse aller Messsequenzen als Diagramm aus.

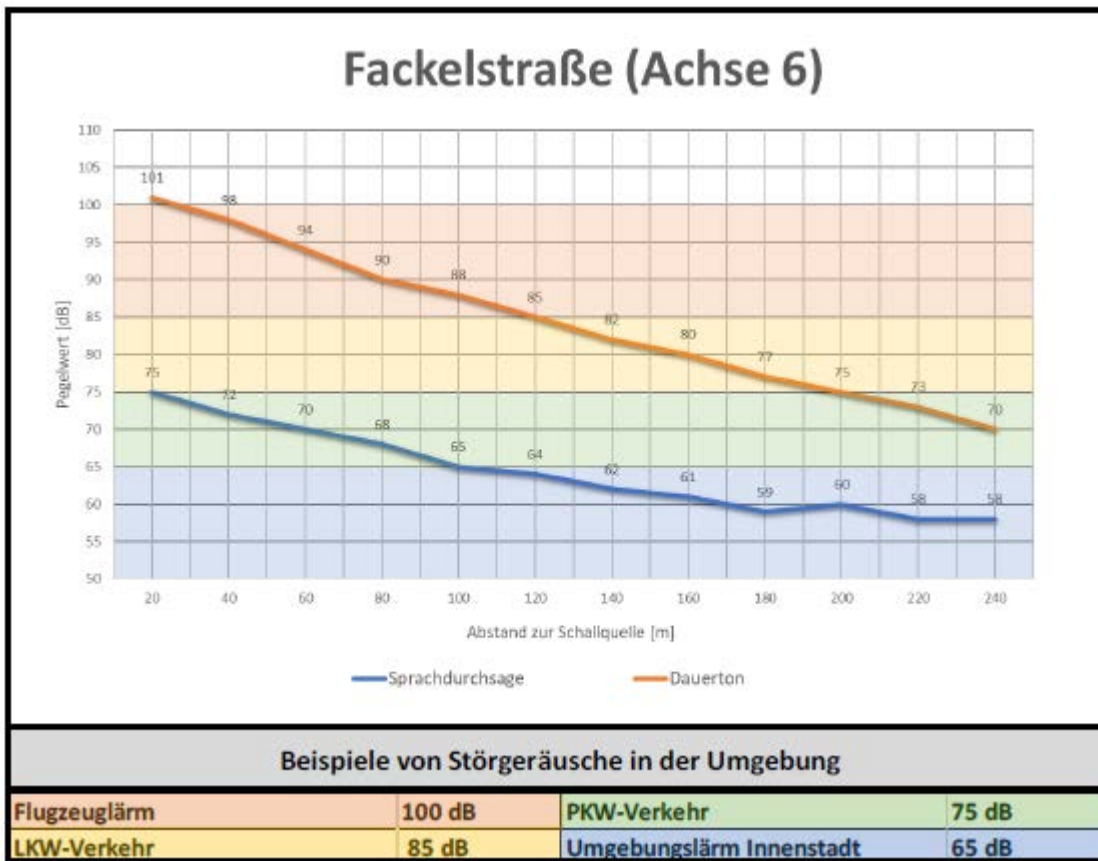


Abbildung 64: Diagramm der Messergebnisse Standort 2.1
Quelle: Eigene Darstellung.

Es wird offensichtlich, dass die Sprachdurchsagen weniger intensiv wahrnehmbar sind. Durch die Frequenzschwankungen bei den Sprachdurchsagen sind nur punktuell hohe Schalldruckpegel messbar. Die Sprachdurchsagen werden daher sehr schnell durch den in der Fackelstraße vorhandenen Grundgeräuschpegel (am Testtag 17.06.2021) überlagert.

Bei den Messergebnissen des Dauertons wird deutlich, dass die vom Hersteller Helin angegebene Reichweite der Warnmittel von ca. 90 Metern auch tatsächlich erzielt wird. Da in der Fußgängerzone zum Zeitpunkt der Messungen nur geringer Lieferverkehr bzw. ein geringer Grundgeräuschpegel (Passantinnen und Passanten, Straßenmusikerinnen und -musiker, sonstige Beschallung durch Einzelhändlerinnen und -händler, etc.) herrschte, sind die Dauertöne in ausreichender Lautstärke und gemäß den Herstellerangaben wahrnehmbar.

Bei der vierten Warnsequenz wurde für das Warnmittel am Standort 2.2 eine Datenerhebung vorgenommen. Durch die gegenseitige Ausrichtung der Warnmittel und die nicht zeitgleiche Auslösung beider Warnmittel wurden die Warnungen mit einem geringen Zeitversatz gesendet, welcher auf die mobilfunkbasierte Auslösung zurückzuführen ist. Der Zeitversatz sowie die Schallüberlagerungen führten zu asynchronen Schallübertragungen bei Ton- und Sprachdurchsage. Die Sprachdurchsagen waren noch hörbar und verständlich. Insbesondere in der Mitte zwischen beiden Standorten (siehe gelber Kreis in der nachfolgenden Abbildung) wurde durch eine Schallüberlagerung beider Warnmittel die Verständlichkeit erschwert.



Abbildung 65: Schallüberlagerung bei Auslösung beider Warmmittel
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

Im Bereich der Messpunkte 6.5 bis 6.7 konnte eine Zunahme des Schalldruckpegels durch die Überlagerung gemessen werden.

6.3.3. Standort 3 Steinstraße

Der Standort des Warnmittels ist in der folgenden Abbildung mit einem schwarzen Pfeil markiert, Messachsen bzw. Messpunkte sind mit rotem Kasten markiert.



Abbildung 66: Messachsen Standort 3

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der Aufnahmen der Stadt Kaiserslautern.

Auf Grund von Leistungsschwankungen des Warnmittels konnten die Warnungssequenzen nur mit ca. 90 Prozent Leistungsstärke des Warnmittels ausgestrahlt werden. Die Ergebnisse der Schallmessungen können daher für diesen Standort nicht direkt mit den Ergebnissen der beiden anderen Standorte des Testtages verglichen werden.⁸⁰

Die Messergebnisse sind, soweit sie bei ca. 90 Prozent Leistungsstärke des Warnmittels lagen, in der folgenden Abbildung dargestellt.

⁸⁰ Die Warnmittel lieferten nur ca. 90 Prozent Leistung, so dass die gemessenen Schalldruckpegel nicht vergleichbar mit einer 100-prozentigen Leistungsstärke sind.

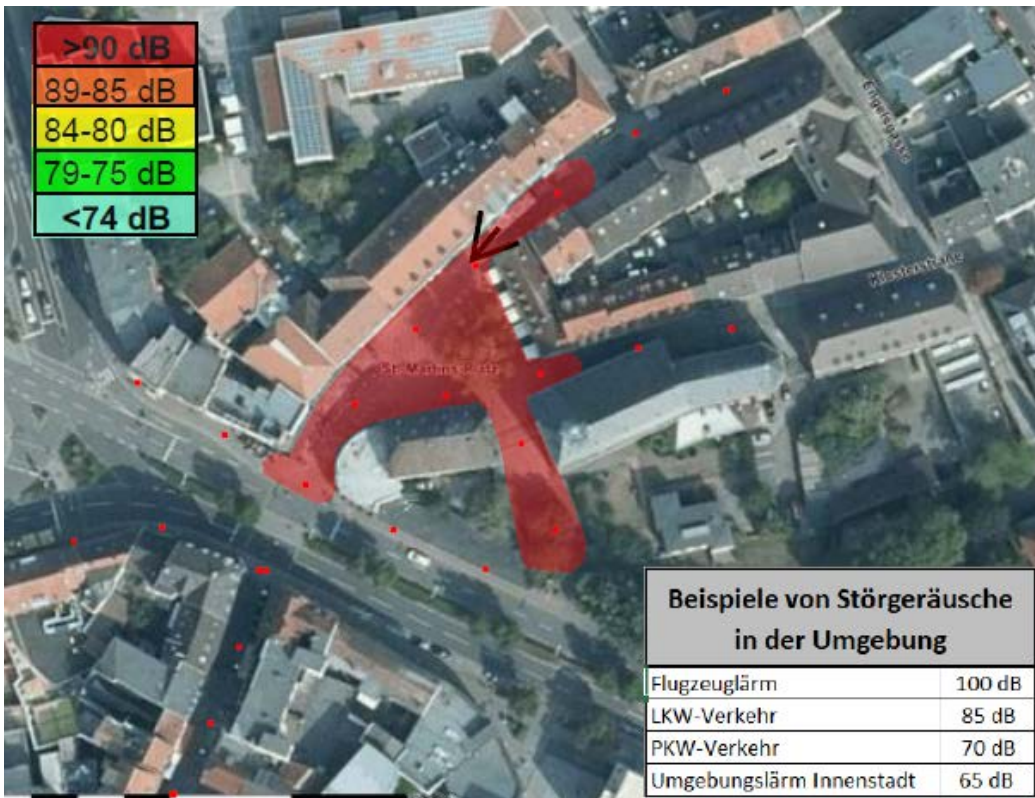


Abbildung 67: Schalldruckpegel Dauerton bei 90 Prozent Leistung
Quelle: Eigene Darstellung.

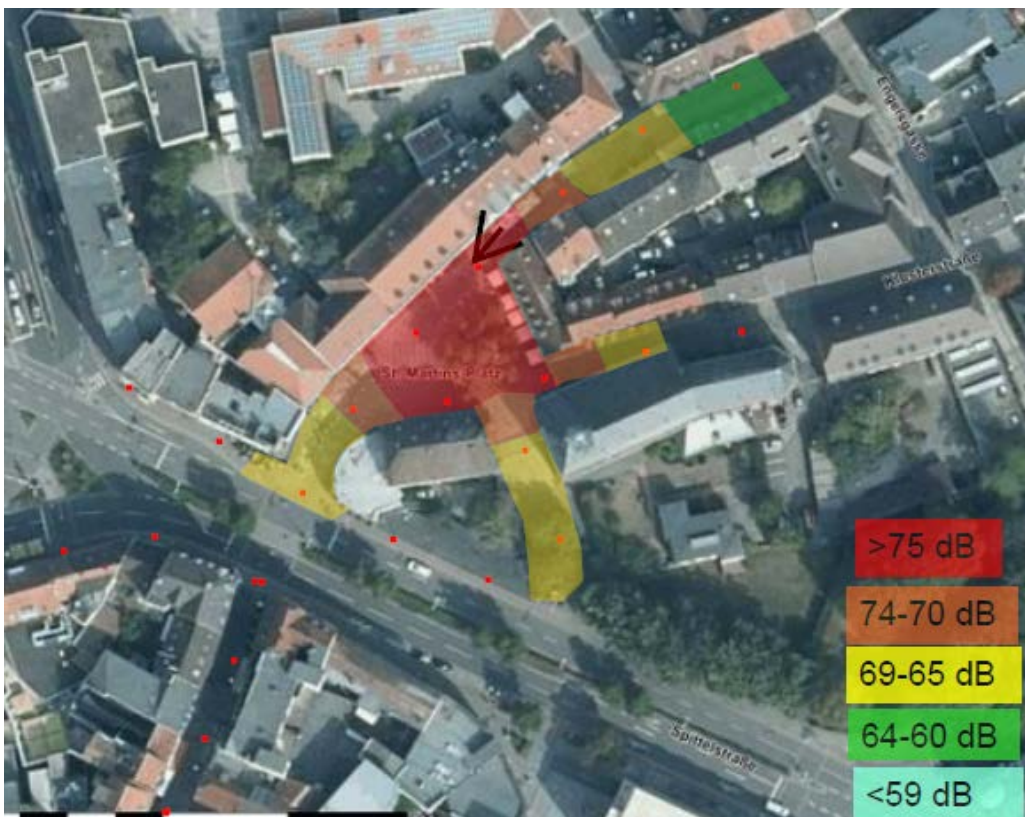


Abbildung 68: Schallpegel Sprachdurchsage bei ca. 90 Prozent Leistungsstärke
Quelle: Eigene Darstellung.

Beide Abbildungen verdeutlichen, dass der Bereich des St.-Martins-Platzes gut beschallt wird. Das ist erstaunlich, da ein hoher Grundgeräuschpegel durch den Brunnen des Martinsplatzes und die Gäste der dortigen Gastronomie bestand. Dies ist vermutlich auf die trichterförmige, sich verengende Gestaltung des Martinsplatzes zurückzuführen.

Während der Dauerton im gesamten Platzbereich gut hörbar ist, nimmt die Sprachverständlichkeit sehr zügig ab und wird durch die dort am Testtag herrschenden Grundgeräusche überlagert (siehe nachfolgende Abbildung).



Hörverständnis der Durchsage		Beispiele von Störgeräusche in der Umgebung	
I.	hörbar & verständlich	Flugzeuglärm	100 dB
II.	hörbar, aber nicht verständlich	LKW-Verkehr	85 dB
III.	Nur Bruchteile hörbar, kein Hörverständnis	PKW-Verkehr	70 dB
IV.	nichts hörbar	Umgebungsgeräusch Innenstadt	65 dB

Abbildung 69: Verständlichkeit Sprachdurchsage Standort 3
Quelle: Eigene Darstellung.

6.4. Erkenntnisse aus den Messergebnissen

Die örtlichen Bedingungen an diesem Testtag unterscheiden sich von denen des Testgeländes der Pretests.

Das Testgelände der Pretests war überwiegend frei von Grundgeräuschen, diese waren nur als vereinzelte Schallereignisse (kurzfristiger Verkehrslärm oder Fluglärm) vorhanden. Zudem war die Bebauung des Testgeländes niedriger als in der Innenstadt. Auch die Straßenachsen des Testgeländes waren geräumiger ausgestaltet.

Bei Standort 1 (Rathausvorplatz) wird ein großflächiger Straßenbereich (Burgstraße, Fruchthallstraße) beschallt. Die Standorte 2 und 3 befinden sich im Bereich der Fußgängerzone und sind mit massiver, geschlossener Blockbebauung umbaut.

Aus schalltechnischer Sicht sind jedoch alle drei Standorte des Testtages sehr gut geeignet, da sie sich als typisch innerstädtische Bebauung darstellen. Auch die an den drei Standorten vorgefundenen Grundgeräuschpegel bilden eine innerstädtische Geräuschkulisse gut ab.

Aus den verschiedenen Schalltests am Testtag können deshalb folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Eine erhöhte Anordnung wie bei Standort 1 (Rathausplatz) bewirkt keine Verbesserung der Reichweite der Warnmittel. Eine erhöhte Anordnung des Warnmittels bewirkt eine Beschallung weit über dem Straßenniveau mit der Folge, dass der vorhandene Grundgeräuschpegel der Straßen den Schallpegel des Warnmittels überlagert. Durch den gewählten erhöhten und etwas abseitsstehenden Standort wird die Wirkung des Warnmittels nur auf dem Rathausvorplatz entfaltet. Die in unmittelbarer Nähe befindliche Burgstraße kann schon nicht mehr beschallt werden, da der dort herrschende Grundgeräuschpegel über dem Schalldruckpegel des Warnmittels liegt. Die erhöhte Anordnung bewirkt eine Schallausbreitung über dem Geländeniveau der Burgstraße.
- In Bereichen mit hohen Grundgeräuschen wie z. B. in der Burgstraße und der Fruchthallstraße müssen die Abstände zwischen einzelnen Warnmitteln reduziert werden. Die Schallausbreitung liegt dort insbesondere bei Sprachdurchsagen weit unter der Reichweite laut Herstellerangaben.
- Werden Warnmittel in Serie geschaltet und ausgelöst, muss zwingend auf eine absolut zeitgleiche Warnübertragung geachtet werden. Erfolgt dies nicht, führen die Zeitversätze der Durchsagen zu Überlagerungen und damit zu Unverständlichkeit.
- Die Geometrie der angrenzenden Bebauung ist zwingend zu berücksichtigen. Reflexionen und/oder Dämpfungen von Fassaden und Gebäuden können in theoretischen Modellen kaum berücksichtigt werden, wenn auf kostenintensive Modellierungen und Simulationen verzichtet werden muss.
- Bei Standort 3, St.-Martins-Platz, wird die positiv wirkende Anordnung der Bebauung (in Form eines sich verengenden Trichters) deutlich. Die Warnungen breiten sich trotz hoher Grundgeräusche gut über den Platz aus und die Sprachdurchsagen sind gut verständlich.
- Der vor Ort vorhandene Grundgeräuschpegel muss über längere Zeiträume erfasst und dokumentiert werden. Je nach Leistungsfähigkeit der Warnmittel kann der Grundgeräuschpegel den Schalldruckpegel der Warnmittel überlagern.
- Laut Herstellerangaben der Firma Helin soll die theoretische Reichweite des Warnmittels „Kleines Horn SOLARIUS“ bei ca. 90 Metern liegen. Eine Reichweite bei Sprachdurchsagen ist den Herstellerangaben nicht zu entnehmen. Die Messungen der Pretests und der Testphase bestätigen diese Herstellerangaben, sofern keine Überlagerungen durch Grundgeräusche erfolgen.

- Die Messungen der Pretests und der Testphase wurden bei idealen Witterungsbedingungen durchgeführt. Einflüsse durch Niederschlag, Wind und Temperaturunterschiede dürfen jedoch nicht vernachlässigt werden.
- Bei der Durchführung der Schallmessungen am Testtag herrschte insbesondere in der Fußgängerzone (Standorte 2 und 3) eine geringe Besucherfrequenz. Dementsprechend war ein nur geringer Grundgeräuschpegel durch Personen oder Veranstaltungen bei diesen beiden Standorten vorhanden. Sollen Warnmittel jedoch an stark frequentierten Stellen eingesetzt werden, muss vorher der Grundgeräuschpegel langfristig gemessen und dokumentiert werden.

7. Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojektes Smarte Laternen sollte für den ausgewählten Standort Kaiserslautern eine technisch-wissenschaftliche Evaluation von Warnmitteln durchgeführt werden.

Die Basis für eine technische Evaluation stellt die örtliche Bebauung der Stadt Kaiserslautern dar. Die Analyse der Bebauung ist auf den Stadtbereich begrenzt, da die außenliegenden Stadtteile ähnliche Bebauungsstrukturen aufweisen würden und die Warnmittel zudem in einem urbanen Umfeld getestet werden sollten. Die Auswahl der möglichen Standorte für die Warnmittel erfolgte auf Grundlage der Analyse der Bebauung in Kaiserslautern.

Bereits zu einem frühen Projektzeitpunkt wurde offensichtlich, dass zum einen aufgrund der finanziellen Rahmenbedingungen, aber vor allem aufgrund der Machbarkeit einer begleitenden sozialwissenschaftlichen Evaluation nur eine geringe Anzahl von Warnmitteln für die abschließende Testphase zur Verfügung stehen würde. Deshalb wurde die Schallausbreitung eines Warnmittels im Allgemeinen im Rahmen einer Pretest-Phase auf einem Testgelände analysiert.

Die Pretests erfolgen im Februar 2021 auf einem Testgelände in Kaiserslautern. Das Testgelände ist mit einer repräsentativen Bebauung versehen, d. h. die Grundgeräusche des Testgeländes sind vergleichbar mit denen in der Innenstadt Kaiserslauterns. Für die Pretests wurden verschiedene Messszenarien konzipiert. Hierdurch konnte die Schallausbreitung von Sirensignalen und Sprachdurchsagen analysiert werden. Durch die unterschiedlich angeordneten Messachsen konnte ebenfalls der Einfluss der angrenzenden Bebauung oder des Straßenlärms untersucht werden. Bereits bei den Pretests wurde deutlich, dass die Reichweite des eingesetzten Warnmittels bei einem Signalton bei ca. 90 bis 100 Metern liegen würde. Bei Sprachdurchsagen können sich Reichweite und Verständlichkeit durch Frequenzschwankungen erheblich reduzieren.

Die abschließende Erprobung im Rahmen eines Evaluationstages erfolgte im Juni 2021. Dafür wurden vier Aufstellorte für die Warnmittel im Bereich des Stadtkerns Kaiserslauterns ausgewählt. Am Evaluationstag war keine umfassende Datenerhebung wie etwa vergleichsweise bei den Pretests vorgesehen. Am Tag der abschließenden Erprobung wurden stichprobenweise Schallmessungen durchgeführt. Für einen tatsächlichen Einsatz können dennoch wichtige Erkenntnisse aus den Pretests und der Vor-Ort-Testphase abgeleitet werden.

- Eine Analyse der örtlichen Bebauung ist unumgänglich, genau wie eine Testung der Warnmittel in Testphasen und in simulierten Auslösungen.
- Die Reichweite der verwendeten Warnmittel liegt bei Signaltönen bei ca. 90 Metern; bei Sprachdurchsagen ist sie unter Beachtung der Verständlichkeit in der Regel noch geringer.
- Die getesteten Warnmittel wurden nur als Einzelgeräte eingesetzt. Eine Vernetzung oder Reihenschaltung birgt enorme technische Herausforderungen und macht den Einsatz des eingesetzten Warnmittels vermutlich unwirtschaftlich.

Dennoch ist das getestete Warnmittel für viele Einsatzzwecke geeignet. Insbesondere in Stadtkernen kann die Bevölkerung gezielt informiert und/oder gewarnt werden. Eine flächendeckende Beschallung mittels des getesteten Warnmittels muss jedoch auf Basis eines konkreten Anforderungskataloges und einer fachspezifischen Planung erfolgen.

Sowohl die Pretests als auch die Tests am Erprobungstag haben Vor- und Nachteile des verwendeten Warnmittels aufgezeigt. Der Einsatz des Warnmittels ist daher immer im Einzelfall unter Beachtung der funktionalen, wirtschaftlichen und technischen Aspekte abzuwägen.

Neben einer Kosten-Nutzen-Analyse sind auch die Einsatzmöglichkeiten zu analysieren. Das getestete Warnmittel ist sehr vielseitig für standardisierte Warnungen und/oder Informationen verwendbar, kann aber auch individuelle Durchsagen übertragen. Dadurch können sowohl zentral vom Land oder Bund ausgelöste Warnungen bzw. Informationen als auch regionale Warnungen bzw. Informationen übermittelt werden.

Das Warnmittel eignet sich aufgrund der geringen Reichweite für die Beschallung kleiner Bereiche wie z. B. Straßenzüge oder Plätze. Sollen größere Flächen beschallt werden, müssen kostenintensive Planungen und Programmierungen vorgeschaltet und getestet werden. Für derartige Einsätze ist eine Kosten-Nutzen-Matrix unter Berücksichtigung der Einsatzhäufigkeit unumgänglich.

Quellenverzeichnis

BBK - Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2019):

Warnmittel. In: BBK-Glossar - Ausgewählte zentrale Begriffe des Bevölkerungsschutzes, Bd. 8, Bonn.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.) (2020):

Krisenmanagement [o.D.], https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/Krisenmanagement/WarnungderBevoelkerung/warnungderbevoelkerung_node.html [09.02.2021].

Bernhard, Grotz (2018):

grund-wissen.de [04. 01 2018], <https://www.grund-wissen.de/physik/akustik/eigenschaften-von-schall.html> [28.01.2021].

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG):

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterung und ähnliche Vorgänge, vom 15. März 1974, idF. vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), zuletzt geändert am 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458), <https://www.gesetze-im-internet.de/bimSchG/BJNR007210974.html> [09.12.2020].

Blöser, Julia; Heinze GmbH (Hrsg.) (2018):

Schallschutz: Anforderungen und Schallarten [o.A.], <https://www.baunetzwissen.de/gebauedetechnik/fachwissen/bauphysik/schallschutz-anforderungen-und-schallarten-160528> [10.01.2021].

Bosy, Bruno (o.D.):

Schall [o.D.], <http://www.bosy-online.de/Schall.htm> [30.01.2021].

Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Hrsg.) (2006):

DEGA-Empfehlung 101 - Akustische Wellen und Felder [20. 03 2006], https://www.dega-akustik.de/fileadmin/dega-akustik.de/publikationen/DEGA_Empfehlung_101.pdf [27.01.2021].

eW-Redaktion (Hrsg.) (2019):

Kaiserslautern testet intelligente Straßenbeleuchtung [13.08.2019], <https://www.energie.de/ew/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/kaiserslautern-testet-intelligente-strassenbeleuchtung> [20.02.02022].

Feldmann, A./Hollstein, M. (2020):

MoWaS 2.0 – Die neue Generation der Bevölkerungswarnung, In: Bevölkerungsschutzmagazin – Warnung der Bevölkerung, Jg. 2020 Ausg. 3, S. 24 - 25.

Hagener Elektro u. Kommunikationstechnik (Hrsg.) (2019):

Solitarius [o.D.], <https://www.helin-sirenen.de/produkte/autarke-sirenensysteme/solitarius> [02.03.2021].

Henn, Hermann (2008):

Ingenieurakustik - Physikalische Grundlagen und Anwendungsbeispiele, 4. Auflage, Wiesbaden.

Herrmann, Björn C (o.A.):

Max J. Univ.-Prof. Dr. Setzer (Hrsg.) (2004), <https://www.uni-due.de/ibpm/BauPhy/Schall/indexschall.htm> [12.01.2021].

Hirsch, Dr. Karl-Wilhelm (2018):

Götzenverehrung [06.10.2018], <https://www.kwhirsch.de/dba/20181006%20kwhdba.10.01%20G%C3%B6tzenverehrung.pdf> [17.03.2021].

KL.digital GmbH (Hrsg.) (2019):

Smart City Lights Plattform, <https://www.herzlich-digital.de/smart-city-lights-plattform/> [14. 02 2021].

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (Hrsg.) (2018):
Städtebauliche Lärmfibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Version 2018, Stuttgart.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (Hrsg.) (2018):
Lärmfibel, In: Städtebauliche Lärmfibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Version 2018,
<https://www.staedtebauliche-laermfibel.de/?p=0> [12.01.2021].

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (Hrsg.) (2018):
Lärmfibel, In: Städtebauliche Lärmfibel – Hinweise für die Bauleitplanung, Version 2018, Stuttgart.

Nachrichten KL (Hrsg.) (2019):

Eröffnung der längsten smarten Beleuchtungsanlage in Rheinland-Pfalz: Smart Fauthweg in Kaiserslautern [12.08.2019], <https://www.nachrichten-kl.de/2019/08/12/eroeffnung-der-laengsten-smarten-beleuchtungsanlage-in-rheinland-pfalz-smart-fauthweg-in-kaiserslautern/> [11.02.2022].

Pfleger, Verena (2014):

Bestimmtheitsmaß R^2 - Teil 1: Worum es eigentlich geht... [23.06.2014], https://www.inwt-statistics.de/blog-artikel-lesen/Bestimmtheitsmass_R2-Teil1.html [09.03.2021].

Reinhard, Lerch (2009):

Technische Akustik. Erlangen.

Schweizer, Anton (Hrsg.) (2021):

Schallpegelberechnung [o.D.], <https://www.schweizer-fn.de/akustik/schallpegelaenderung/schallpegel.php> [09.02.2021].

Sigal, Everard (2005):

Gehörphysiologie, In: Ohr und Hören [o.D.], <http://www.mu-sig.homepage.t-online.de/Theorie/Akustik/Akustik06.htm> [15.02.2021].

Stadt Kaiserslautern (Hrsg.) (o.A.):

Planen und Bauen – Baurechtskataster [o.A.], <https://geoportal.kaiserslautern.de/mapbender/application/baurecht> [11.02.2021].

Steinberg; expondo (Hrsg.) (2021):

Schallpegelmessgerät - Klasse 2 - 30 - 130 dB [o.D.], <https://www.expondo.de/steinberg-systems-schallpegelmessgeraet-30-bis-130-db-10030412#techDetails> [02.03.2021].

Thiedeke, Martin (2020):

consulting plus [2020], <https://www.consulting-plus.de/innere-sicherheit/leitfaden-zur-bevoelkerungswarnung-und-information/> [09.02.2021].

Wetter Kontor GmbH (Hrsg.) (2021):

Weterrückblick Kaiserslautern [o.D.], <https://www.wetterkontor.de/de/wetter/deutschland/rueckblick.asp?id=K863&datum0=02.09.2021&datum1=29.09.2021&jr=2021&mo=6&datum=29.09.2021&t=4&part=1> [29.09.2021].

Willems, Wolfgang:

- Schallschutz: Bauakustik (2012), Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems (Hrsg.), 1.Band. Wiesbaden, Hessen: Springer Vieweg.
- Lehrbuch der Bauphysik (2019), 8. Auflage, Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Lehrbuch der Bauphysik (2017) Bd. 8.Auflage. Wiesbaden, Hessen: Springer View.
- Formeln und Tabellen der Bauphysik (2019), 5.Auflage. Wiesbaden, Hessen: Springer View.

Zünd, Andreas (2020):

Laermorama, http://www.laermorama.ch/m1_akustik/schall_w.html#schalldefinition [12.01.2021].

Richtlinienverzeichnis

Für die Ausarbeitung wurden die folgenden Normen und Richtlinien verwendet. Diese sind immer mit Verweisen in den Fußnoten vermerkt.

BImSchG - Bundes-Immissionsschutzgesetz Deutschland 16. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes

BMVI, Smart Cities Charta - Digitale Transformation der Kommunen nachhaltig gestalten, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

DIN 18005-1, Beiblatt 1: Schallschutz im Hochbau

DIN 4109: Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise

DIN EN ISO 16032: Akustik - Messung des Schalldruckpegels von haustechnischen Anlagen in Gebäuden - Standardverfahren

DIN ISO 9613-1: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien; Teil 1: Berechnung der Schallabsorption durch die Luft

DIN-ISO 9613-2: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren

TA Lärm: Verwaltungsvorschrift „Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm“

VDI 2720/1: Schallschutz durch Abschirmung im Freien

VDI 2720/2: Schallschutz durch Abschirmung in Räumen

VDI 2720/3: Schallschutz durch Abschirmung im Nahfeld

Glossar

A-Z	Stichwort	Beschreibung
A	A-bewerteter Pegel	vereinheitlichter Pegelwert der Lautstärke, um die Einflüsse unterschiedlicher Frequenzen auf das Ohr zu definieren
	Abschirmung	Hinderniswirkung, die die Schallwellen an einer direkten Ausbreitung hindert
	Absorption	die Verminderung von Energie durch unterschiedliche physikalische Gegebenheiten → Schallabsorption
	auditive Wahrnehmung	Sinneswahrnehmung über das Sinnesorgan Ohr
B	Bebauungsdichte B	Anteil der Bebauung im näheren Umfeld der Schallausbreitung
	Bevölkerungswarnung	Einrichtung/Maßnahmen zur Verkündung einer Gefahrensituation
	Bodeneffekte	Einflüsse der Dämpfung durch die Eigenschaften des Bodens
	Bodenfaktor	Faktor, der den Einfluss der Härte des Bodens in der Bemessung der Schallausbreitung widerspiegelt
C	Cocktail-Party-Effekt	Fähigkeit des selektiven Hörens bei unterschiedlichen Schallquellen
D	Dezibel (A)	Einheit der A-bewerteten Schalldruckpegel
	Digitalisierung	die Umwandlung bestehender Formate in digitalisierte Systeme
E	Emission	bedeutet in Bezug auf Schallausbreitung: die Aussendung von Schallwellen
F	Frequenz	Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde [Hz]
	Frequenzband	bezeichnet Frequenzbereiche, die nach Frequenz, Nutzung oder Wellenlänge aufgeteilt sind
G	Grundgeräuschpegel	Pegel, der eine Angabe über 95 % der Umgebungsgeräusche ohne Lärmspitzen wiedergibt
H	Hörfläche	der Frequenz- & Pegelbereich des Schalls, der vom menschlichen Gehör wahrgenommen werden kann
	Hörschwelle	Schwelle, ab der ein gesundes menschliches Gehör den Schall wahrnimmt [0 dB]
I	Immission	in Bezug auf Schallausbreitung: die Einwirkungen von Lärm auf die Umwelt
	Immissionsort	derjenige Ort, an dem die Lärmwellen auf die Umwelt einwirken
	Informationsfunktion	bezeichnet die Funktion der Information von Warnmitteln bei Gefahrensituationen

	Infraschall	Schall, dessen Frequenz unterhalb von 16 Hz liegt und somit nicht hörbar ist
K	Katastrophenschutz	Katastrophenschutz (KatS) bezeichnet Maßnahmen, die getroffen werden, um Leben, Gesundheit oder die Umwelt in oder vor der Entstehung einer Katastrophe zu schützen
	Körperschall	Schallausbreitung an festen Gegenständen
L	Lärmimmissionen	Lärmeinwirkungen auf die Umwelt und somit auch auf Mensch und Tier
	Luftabsorption	Verlust von Schallenergie durch die Ausbreitung in Luft
	Luftschall	Schallausbreitung im Medium Luft
M	Medium	Umgebungssituation der Schallausbreitung
	Modulares Warnsystem	gemeinsam genutztes Warnsystem von Bund und Katastrophenschutzbehörden für die Warnung und Information der Bevölkerung im Zivilschutz- und/oder Katastrophenfall sowie bei sonstigen Gefahren für die öffentliche Sicherheit
N	Nutzschall	Schall, den man bewusst aufnehmen will und bei dem das Gehirn möglichen Störschall subtrahiert
O	Oktavband	Einteilung von Frequenzbereichen in definierte Bereiche
	Oktavbandmittenfrequenz	Normfrequenzen für akustische Messungen nach EN ISO 266
P	Pretest	Erhebung von Testreihen im Vorhinein einer Teststrecke
	Punktschallquelle	ein Schallereignis, das von einer punktförmigen Quelle ausgeht
R	Reflexion	bezeichnet in der Akustik das Zurückwerfen der Schallwellen
S	Schallabsorption	bezeichnet die Vermeidung von Schallenergie durch verschiedene Wirkungen auf den Schall
	Schalldämpfung	Einwirkungen auf ein Schallereignis, die die Ausbreitung vermindern
	Schalldruckpegel	Skala zur Einteilung der Lautstärken von verschiedenen Lärmereignissen
	Schallenergie	Energie, die bei einem Schallereignis entsteht (Schallenergie w)
	Schallereignis	Entstehung von Schallwellen, die durch eine Schallquelle entstehen
	Schallquelle	Quelle von der ausgehend ein Schallereignis entsteht
	Schallweg	Weg, den der Schall bei der Ausbreitung nimmt
	Schirmwert	Abweichender Weg, den der Schall nimmt, wenn ein Hindernis zwischen Quelle und Immissionsort liegt

	SI-Einheit	internationales Einheitensystem für physikalische Größen
	Störschall	Schall, der eine andere gewollte Schallaufnahme verhindert
T	Transmission	Durchlässigkeit eines Mediums bei der Ausbreitung, somit der Bereich der Schallausbreitung
U	Ultraschall	Schall, dessen Frequenz oberhalb von 20.000 Hz liegt und somit nicht hörbar ist
W	Warnmittel	alle Endanwendungen oder Endgeräte, die der Bevölkerung unmittelbar zur Verfügung stehen; Warnmittel mit hohem Informationsgehalt sind z. B. Fernseher, Radio oder WarnApps; Warnmittel mit Weckeffekt sind bislang nur Sirenen und (eingeschränkt) Warn-Apps
	Warnmultiplikatoren	sind berechtigt, amtliche Warnungen an ihre Kunden/Nutzer weiterzuleiten (z. B. Sendeanstalten, Informationsdienstleister, Betriebe → Kritische Infrastrukturen wie die Deutsche Bahn). Warnmultiplikatoren verbreiten die Warnmeldung über → Warnmittel wie Sendesysteme für Fernseher, Radio, Pager, Smartphones.
	Wasserschall	Schallausbreitung im Medium Wasser
	Weckfunktion	bezeichnet die Kenntnisnahme von Warnmitteln bei Gefahrensituation
Z	Zivilschutzsignale	Signale, die möglichst schnell viele Menschen erreichen sollen, um breite Teile der Bevölkerung zu warnen

Anhänge

Anhang A-1: Grundgeräusche	I
Anhang A-2: Martinshorn Messung und Rechnung	II
Anhang A-3: Martinshorn Diagramme	III
Anhang A-4: Dauersirenenton Messung und Rechnung	IV
Anhang A-5: Dauersirenenton Diagramme der Hauptachsen	IX
Anhang A-6: Dauersirenenton Differenzen Messung mit Rechnung	XII
Anhang A-7: Sprachdurchsage Messung und Rechnung	XV
Anhang A-8: Sprachdurchsage Diagramme der Hauptachsen	XX
Anhang A-9: Sprachdurchsage Differenzen Messung mit Rechnung	XXIII
Anhang A-10: Vergleich der Trendlinien von Messstelle 1 und 4	XXVI
Anhang A-11: Dauerton Differenzen Pegelabweichungen der Nebenachsen	XXVII
Anhang A-12: Sprachdurchsage – Differenzen Pegelabweichungen der Nebenachsen	XXIX

Anhang A-1: Grundgeräusche

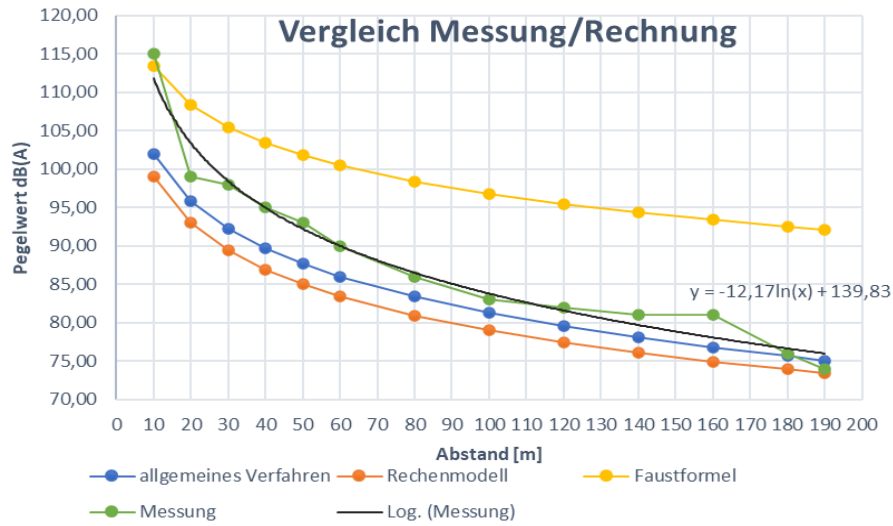
Betriebsgelände Stadtbildpflege						Messzeitraum: 7:50 - 8:30		
Ermittlung des Pegels der Grundgeräusche je Achsenabschnitt								
	Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung
1/+10	57		2/ 0	55		3/ 0	51	
1/+20	55		2/+10	57		3/ +10	48	
1/+30	57		2/ +20	50		3/ +20	47	
1/+40	60		2/ +60	55		3/ +30	49	
1/+50	66	Hubfahrzeug	2/ +80	53		3/ +40	49	
1/+60	58		2/ +100	49		3/ +50	47	
1/+80	65	LKW	2/ +140	58	Baustelle	3/ +60	48	
1/+100	56		2/ +160	62	Baustelle	3/ +80	53	
1/+120	54					3/ +100	53	
1/+140	56					3/ +120	47	
1/+160	54					3/ +140	54	
1/+180	61	Baustelle						
1/+190	60	Baustelle						
	Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung
4/ 0	56		5/ 0	48		6/ 0	52	
4/ +10	58		5/ +10	50		6/ +10	53	
4/ +20	58		5/ +20	53		6/ +20	53	
4/ +30	65	Traktor	5/ +30	50		6/ +30	53	
4/ +40	65	Traktor	5/ +40	48		6/ +40	51	
4/ +50	63	Traktor	5/ +50	47		6/ +50	50	
4/ +60	58		5/ +60	52		6/ +60	48	
4/ +80	57		5/ +70	53		6/ +80	46	
4/ +100	61							
4/ +120	65	Auto						
4/ +140	62	Baustelle						
4/ +160	65	Baustelle						
4/ +180	65	Baustelle						
4/ +200	50							
	Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung		Pegel dB(A)	Bemerkung
7/ -10	48		8/ -15	65	PKW-Verkehr	9/ 0	73	PKW-Verkehr
7/ 0	55		8/ -10	63	PKW-Verkehr	9/ +20	62	PKW-Verkehr
7/ +10	49		8/ 0	63	PKW-Verkehr	9/ +40	60	
7/ +20	51		8/ +20	60		9/ +60	53	
7/ +30	50		8/ +40	51		9/ +80	62	
7/ +40	48		8/ +60	53		9/ +100	55	
7/ +50	47		8/ +80	57		9/ +120	57	
7/ +60	48		8/ +100	65	PKW-Verkehr	9/ +140	62	
7/ +80	50		8/ +120	55		9/ +160	73	PKW-Verkehr
7/ +100	53		8/ +140	51		9/ +180	55	
			8/ +160	54		9/ +200	55	
			8/ +180	57		9/ +220	55	
			8/ +200	56				
			8/ +220	54				

Anhang A-2: Martinshorn Messung und Rechnung

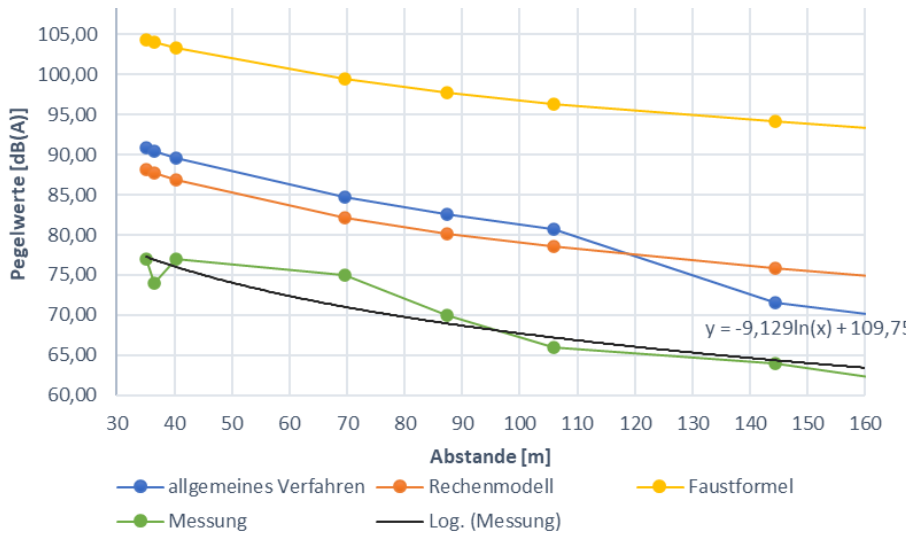
Warmmittel: Martinshorn (POS. 1/+0)			Messzeitraum: 9:00 - 9:05			
Pegel des Warmmittels:	130 dB		Höhe Immissionsort	1,50 m		
Temperatur:	8°C		rel. Luftfeuchte:	75%		
Ermittlung des Pegels je Achsenabschnitt						
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Rechenmodell	Faustformel
1/+10	115		10	101,93	99,00	113,39
1/+20	99		20	95,84	92,98	108,39
1/+30	98		30	92,25	89,46	105,47
1/+40	95		40	89,68	86,96	103,39
1/+50	93		50	87,67	85,02	101,78
1/+60	90		60	86,02	83,44	100,46
1/+80	86		80	83,38	80,94	98,39
1/+100	83		100	81,30	79,00	96,78
1/+120	82		120	79,58	77,42	95,46
1/+140	81		140	78,10	76,08	94,35
1/+160	81		160	76,80	74,92	93,39
1/+180	76		180	75,63	73,89	92,54
1/+190	74		190	75,09	73,42	92,15
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Rechenmodell	Faustformel
2/ 0	77		35	90,87	88,12	104,35
2/+10	74		36,4	90,50	87,78	104,07
2/+20	77		40,3	89,61	86,89	103,34
2/+60	75		69,5	84,67	82,16	99,40
2/+80	70		87,3	82,57	80,18	97,76
2/+100	66		105,9	80,76	78,50	96,37
2/+140	64	A	144,3	71,51	75,81	94,13
2/+160	62	A	163,8	69,83	74,71	93,22
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Rechenmodell	Faustformel
3/ 0	80		35	90,87	88,12	104,35
3/+10	80		36,4	90,50	87,78	104,07
3/+20	84	geöffnetes Hallentor + A	40,3	84,27	86,89	103,34
3/+30	80	A	46,1	82,49	85,73	102,37
3/+40	72	A	53,2	81,25	84,48	101,33
3/+50	68	A	61	79,95	83,29	100,35
3/+60	65	A	69,5	78,37	82,16	99,40
3/+80	66	geöffnetes Hallentor + A	87,3	75,33	80,18	97,76
3/+100	59	A	105,9	72,82	78,50	96,37
3/+120	57	A	125	70,75	77,06	95,17
3/+140	59	A	144,3	68,59	75,81	94,13
		A = Abschirmung				

Anhang A-3: Martinshorn Diagramme

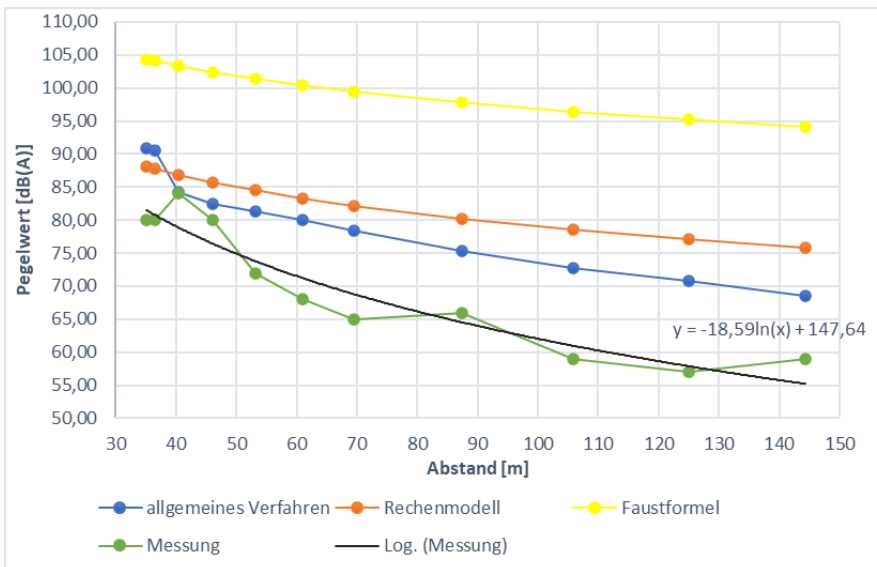
Messachse 1:



Messachse 2:



Messachse 3:



MESSUNG 2 der Sprachdurchsage			Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 1/ +0)				
Temperatur:	9°C	Frequenz:	-	Höhe Schallquelle:	8,00 m		
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m		
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
1/+10	78-81	79	10	76,93	72,46	73,93	
1/+20	75-78	76	20	70,84	65,16	67,84	
1/+30	68-78	72	30	67,25	60,46	64,25	
1/+40	65-78	71	40	64,68	57,04	61,68	
1/+50	67-76	70	50	62,67	54,75	59,67	
1/+60	65-74	69	60	61,07	52,20	58,07	
1/+80	63-70	68	80	58,39	48,68	55,39	
1/+100	66-72	68	100	56,30	46,03	53,30	
1/+120	60-68	63	120	54,58	43,98	51,58	
1/+140	59-66	62	140	53,10	42,21	50,10	
1/+160	60-67	63	160	51,80	40,73	48,80	
1/+180	58	58	180	50,63	39,45	47,63	
1/ +190	56	56	190	50,09	39,26	47,09	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
2/ 0	67-80	72	35	65,87	59,66	62,87	
2/+10	68-75	71	36,4	65,52	59,1	62,52	
2/ +20	68-73	70	40,3	64,61	56,94	61,61	
2/ +60	66-74	69	69,5	59,67	50,46	56,67	
2/ +80	62-68	64	87,3	57,57	47,68	54,57	
2/ +100	62-66	63	105,9	55,77	45,4	52,77	
2/ +140	57	57	144,3	46,56	35,63	43,56	
2/ +160	50	50	163,8	44,71	33,6	41,71	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)		
3/ 0	71	35	65,87	59,66	62,87		
3/ +10	68	36,4	65,52	59,1	62,52		
3/ +20	65	A	40,3	59,33	51,66	56,33	
3/ +30	60	A	46,1	58,51	50,7	55,51	
3/ +40	58	A	53,2	56,27	48,24	53,27	
3/ +50	55	A	61	54,75	45,83	51,75	
3/ +60	54	A	69,5	53,17	43,96	50,17	
3/ +80	48	A	87,3	50,42	40,53	47,42	
3/ +100	50	A	105,9	47,85	37,48	44,85	
3/ +120	51	A	125	45,72	34,99	42,72	
3/ +140	52	A	144,3	43,55	32,62	40,55	
A = Abschirmung							

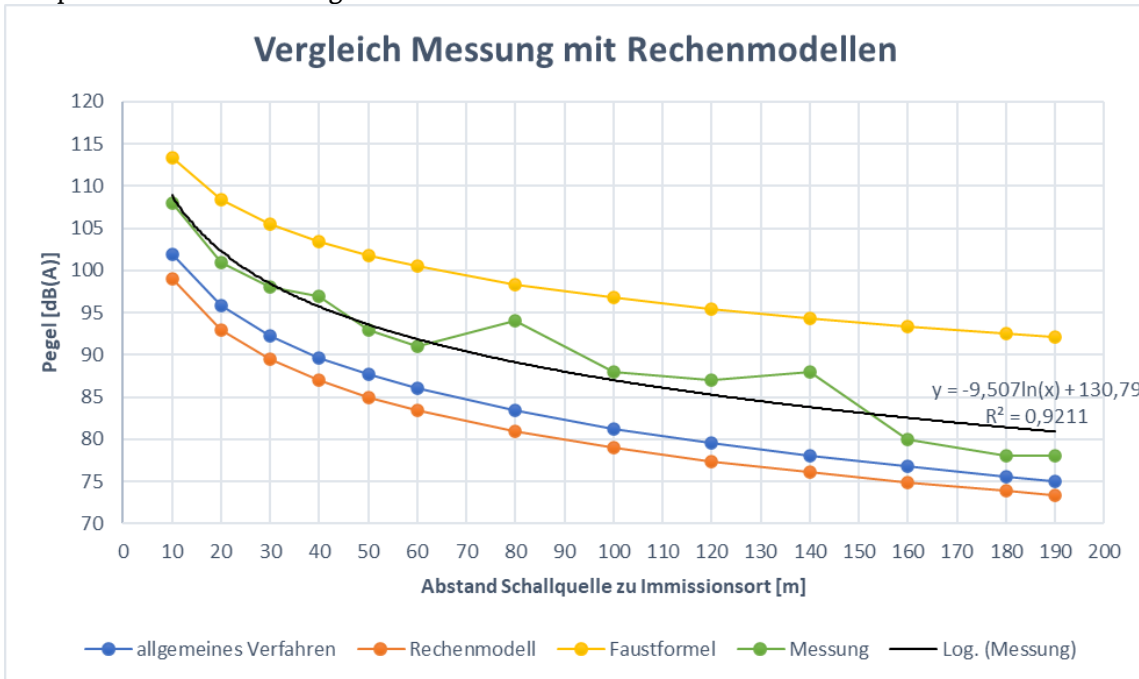
MESSUNG 3 des Dauertons				Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 4/ +0)		
Temperatur:	11°C	Frequenz:	1680Hz	Höhe Schallquelle:	4,50 m	
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	130 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m	
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Be messung Rechenmodell	VGL Faustformel
4/ 0						
4/ +10	108		10	101,93	99,00	113,39
4/ +20	100		20	95,84	92,98	108,39
4/ +30	102		30	92,25	89,46	105,47
4/ +40	93		40	89,68	86,96	103,39
4/ +50	93		50	87,67	85,02	101,78
4/ +60	85		60	86,02	83,44	100,46
4/ +80	89		80	83,38	80,94	98,39
4/ +100	64		100	81,30	79,00	96,78
4/ +120	73		120	79,58	77,42	95,46
4/ +140	80		140	78,10	76,08	94,35
4/ +160	70		160	76,80	74,92	93,39
4/ +180	78	Bagger	180	75,63	73,89	92,54
4/ +200	75	PKW-Verkehr	200	74,58	72,98	91,78
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Be messung Rechenmodell	VGL Faustformel
5/ 0	97		43	89,03	86,33	102,87
5/ +10	92		44,1	88,80	76,11	102,69
5/ +20	85		47,4	88,13	75,48	102,17
5/ +30	88	A	52,4	82,75	74,61	101,44
5/ +40	82	A	58,7	81,20	73,63	100,62
5/ +50	84	A	65,9	79,42	72,62	99,79
5/ +60	78	A	73,8	77,60	71,64	98,97
5/ +70	75	A	82,1	76,05	70,71	98,20
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Be messung Rechenmodell	VGL Faustformel
6/ 0	89		86,5	82,65	80,26	97,83
6/ +10	85		87,1	82,59	80,20	97,78
6/ +20	84		88,8	82,41	80,03	97,64
6/ +30	74	A	91,6	76,75	79,76	97,41
6/ +40	75	A	95,3	75,64	79,42	97,13
6/ +50	73	A	99,9	74,33	79,01	96,79
6/ +60	68	A	105,3	73,46	78,55	96,41
6/ +80	64	A	117,8	71,62	77,58	95,60
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Be messung Rechenmodell	VGL Faustformel
7/ -10	79		67,7	84,91	82,39	99,59
7/ 0	81		67	85,00	82,48	99,67
7/ +10	77	Flugzeug	67,7	84,91	82,39	99,59
7/ +20	65	A	69,9	77,69	82,11	99,36
7/ +30	61	A	73,4	76,04	81,69	99,01
7/ +40	68	A	78	74,97	81,16	98,57
7/ +50	68	A	83,6	74,17	80,56	98,07
7/ +60	64	A	89,9	73,39	79,92	97,55
7/ +80	68	A	104,4	73,12	78,63	96,47
7/ +100	76	A	112,2	73,01	78,00	95,95
		A = Abschirmung				

MESSUNG 4 des Dauertons				Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 4/ +0)		
Temperatur:	12°C	Frequenz:	1680 Hz	Höhe Schallquelle:	8,00 m	
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	130 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m	
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
4/ 0						
4/ +10	110		10	101,93	99,00	113,39
4/ +20	101		20	95,84	92,98	108,39
4/ +30	108		30	92,25	89,46	105,47
4/ +40	93		40	89,68	86,96	103,39
4/ +50	98		50	87,67	85,02	101,78
4/ +60	95		60	86,02	83,44	100,46
4/ +80	88		80	83,38	80,94	98,39
4/ +100	80		100	81,30	79,00	96,78
4/ +120	78		120	79,58	77,42	95,46
4/ +140	81		140	78,10	76,08	94,35
4/ +160	79		160	76,80	74,92	93,39
4/ +180	77		180	75,63	73,89	92,54
4/ +200	80	LKW-Verkehr	200	74,58	72,98	91,78
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
5/ 0	97		43	89,03	86,33	102,87
5/ +10	93		44,1	88,80	86,11	102,69
5/ +20	87		47,4	88,15	85,48	102,17
5/ +30	84	A	52,4	82,75	84,61	101,44
5/ +40	86	A	58,7	81,20	83,63	100,62
5/ +50	81	A	65,9	79,42	82,62	99,79
5/ +60	77	A	73,8	77,60	81,64	98,97
5/ +70	81	A	82,1	76,05	80,71	98,20
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
6/ 0	78		86,5	82,65	80,26	97,83
6/ +10	75		87,1	82,59	80,20	97,78
6/ +20	71		88,8	82,41	80,03	97,64
6/ +30	71	A	91,6	76,75	79,76	97,41
6/ +40	67	A	95,3	75,64	79,42	97,13
6/ +50	70	A	99,9	74,33	79,01	96,79
6/ +60	62	A	105,3	73,46	78,55	96,41
6/ +80	62	A	117,8	71,62	77,58	95,60
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
7/ -10	81		67,7	84,91	82,39	99,59
7/ 0	88		67	85,01	82,48	99,67
7/ +10	72		67,7	84,91	82,39	99,59
7/ +20	71	A	69,9	77,69	82,11	99,36
7/ +30	65	A	73,4	76,04	81,69	99,01
7/ +40	66	PKW- Verkehr + A	78	74,97	81,16	98,57
7/ +50	63	A	83,6	74,17	80,56	98,07
7/ +60	64	A	89,9	73,39	79,92	97,55
7/ +80	70	A	104,4	73,12	78,63	96,47
7/ +100	65	A	112,2	73,01	78,00	95,95
		A = Abschirmung				

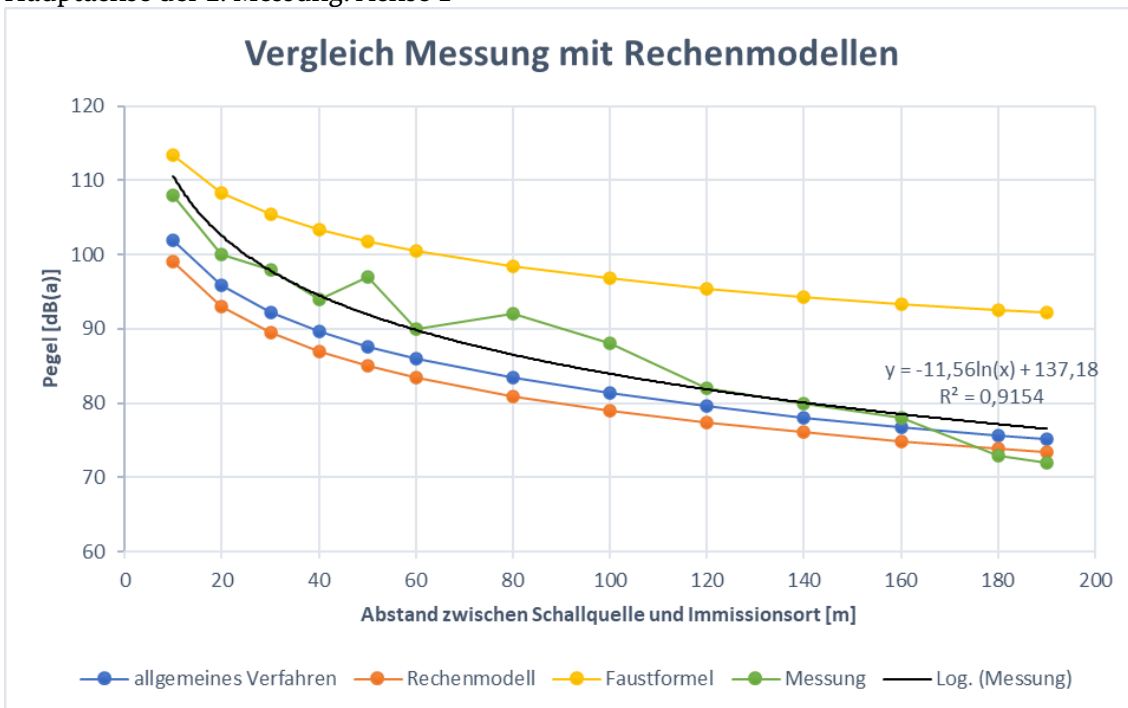
MESSUNG 5 des Dauertons				Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 7/ +0)		
Temperatur:	14°C	Frequenz:	1680 Hz	Höhe Schallquelle:	4,50 m	
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	130 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m	
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
7/ -10	94		10	101,93	99,00	113,39
7/ +10	98		10	101,93	99,00	113,39
7/ +20	95		20	95,84	92,98	108,39
7/ +30	105		30	92,25	89,46	105,47
7/ +40	100		40	89,68	86,96	103,39
7/ +50	94		50	87,67	85,02	101,78
7/ +60	88		60	86,02	83,44	100,46
7/ +80	90		80	83,38	80,94	98,39
7/ +100	90		100	81,30	79,00	96,78
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
8/ -15	77	B	60	81,82	83,44	100,46
8/ -10	77	B	57	82,49	83,88	100,83
8/ 0	77	B	55	82,96	84,19	101,09
8/ +20	71	B	55	82,96	84,19	101,09
8/ +40	75	A+B	65	77,21	82,74	99,89
8/ +60	71	A+B	75	76,18	81,50	98,86
8/ +80	77	A+B	93	72,95	79,63	97,30
8/ +100	72	A+B	110	70,43	78,17	96,09
8/ +120	70	A+B	125	68,45	77,06	95,17
8/ +140	85	LKW- Verkehr A+B	148	65,45	75,59	93,95
8/ +160	65	A+B	167	63,88	74,55	93,08
8/ +180	61	A+B	186	61,80	73,61	92,30
8/ +200	63	A+B	209	59,47	72,60	91,46
8/ +220	66	A+B	228	57,57	71,84	90,83
	Dauerton Pegel dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	Bemessung Rechenmodell	VGL Faustformel
9/ 0	72	PKW-Verkehr + B	80	77,78	80,94	98,39
9/ +20	71	PKW-Verkehr + B	85	76,87	80,41	97,95
9/ +40	75	PKW-Verkehr + A+B	91	74,01	79,82	97,46
9/ +60	65	A+B	100	72,89	79,00	96,78
9/ +80	70	A+B	115	70,45	77,79	95,77
9/ +100	67	A+B	123	69,22	77,20	95,29
9/ +120	60	A+B	139	67,21	76,14	94,40
9/ +140	64	A+B	151	65,48	75,42	93,81
9/ +160	65	A+B	175	63,01	74,14	92,74
9/ +180	60	A+B	188	61,62	73,52	92,23
9/ +200	62	A+B	207	59,64	72,68	91,53
9/ + 220	58	A+B	228	57,57	71,84	90,83
		A = Abschirmung				
		B = zusätzlich Dämpfung Bewuchs				

Anhang A-5: Dauersirenenton Diagramme der Hauptachsen

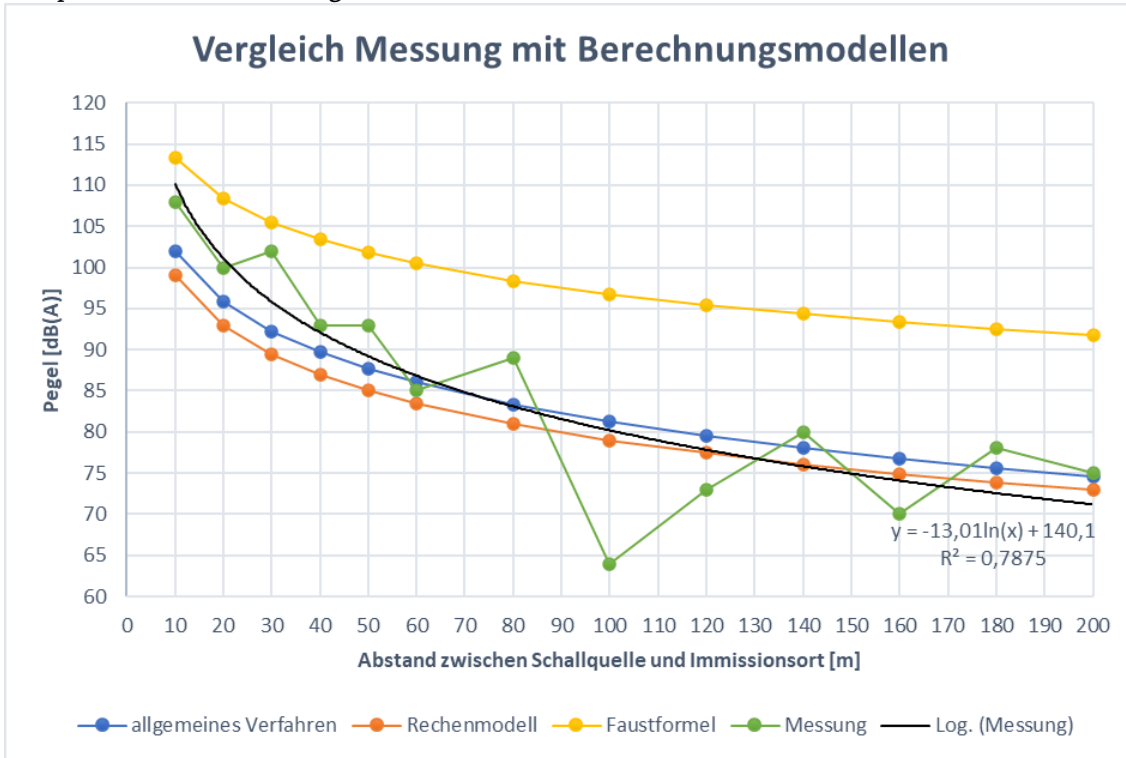
Hauptachse der 1. Messung: Achse 1



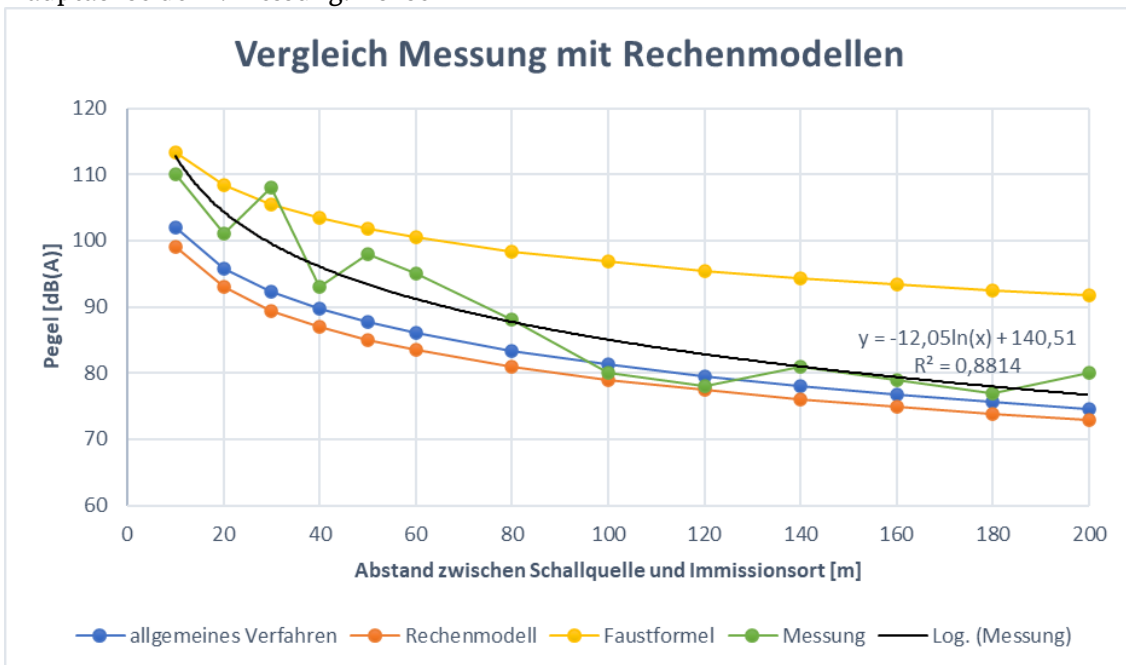
Hauptachse der 2. Messung: Achse 1



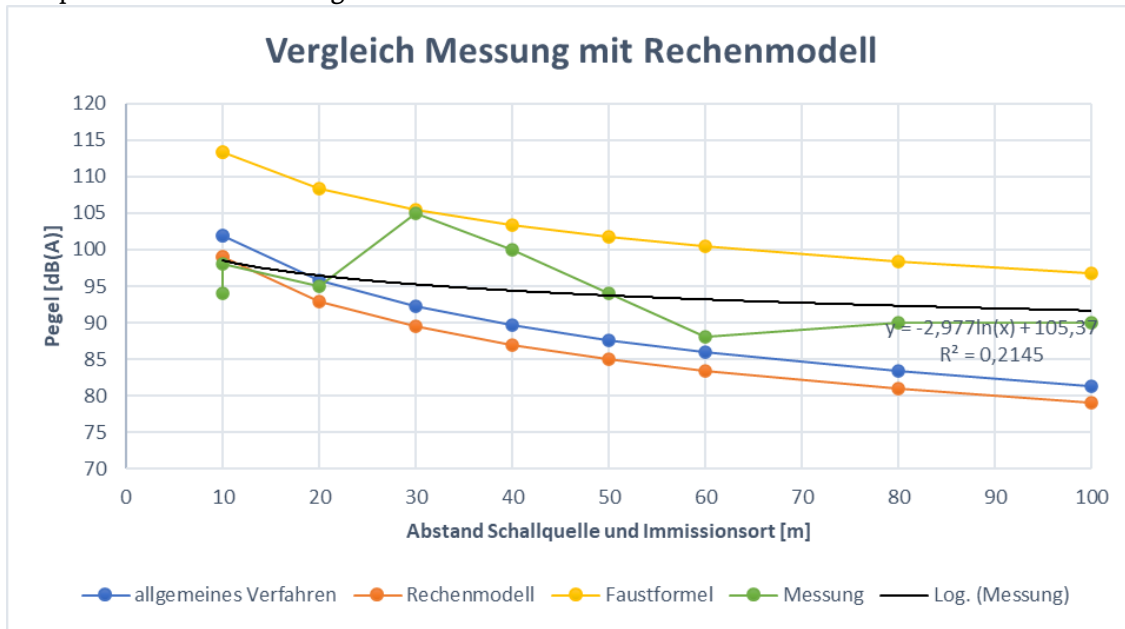
Hauptachse der 3. Messung: Achse 4



Hauptachse der 4. Messung: Achse 4



Hauptachse der 5. Messung: Achse 7



Anhang A-6: Dauersirenton Differenzen Messung mit Rechnung

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 1							
	Dauerton	DIN allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
	Pegel dB(A)	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	108	101,93	6,07	99,00	9,00	113,39	5,39
1/+20	101	95,84	5,16	92,98	8,02	108,39	7,39
1/+30	98	92,25	5,75	89,46	8,54	105,47	7,47
1/+40	97	89,68	7,32	86,96	10,04	103,39	6,39
1/+50	93	87,67	5,33	85,02	7,98	101,78	8,78
1/+60	91	86,02	4,98	83,44	7,56	100,46	9,46
1/+80	94 *	83,38	10,62	80,94	14,94	98,39	4,39
1/+100	88	81,30	6,70	79,00	9,00	96,78	8,78
1/+120	87	79,58	7,42	77,42	9,58	95,46	8,46
1/+140	88 *	78,10	9,90	76,08	12,08	94,35	6,35
1/+160	80	76,80	3,20	74,92	5,08	93,39	13,39
1/+180	78	75,63	2,37	73,89	4,11	92,54	14,54
1/ +190	78	75,09	2,91	73,42	4,58	92,15	14,15
		\emptyset Differenz	5,20		7,59		9,47
Messung 2							
	Dauerton	DIN allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
	Pegel dB(A)	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	108	101,93	6,07	99,00	9,00	113,39	5,39
1/+20	100	95,84	4,16	92,98	7,02	108,39	8,39
1/+30	98	92,25	5,75	89,46	8,54	105,47	7,47
1/+40	94	89,68	4,32	86,96	7,04	103,39	9,39
1/+50	97	87,67	9,33	85,02	11,98	101,78	4,78
1/+60	90	86,02	3,98	83,44	6,56	100,46	10,46
1/+80	92	83,38	8,62	80,94	11,06	98,39	4,39
1/+100	88	81,30	6,70	79,00	9,00	96,78	8,78
1/+120	82	79,58	2,42	77,42	4,58	95,46	13,46
1/+140	80	78,10	1,90	76,08	3,92	94,35	6,35
1/+160	78	76,80	1,20	74,92	3,08	93,39	15,39
1/+180	73	75,63	2,63	73,89	0,89	92,54	19,54
1/ +190	72	75,09	3,09	73,42	1,42	92,15	20,15
		\emptyset Differenz	4,63		6,47		10,30

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 3							
	Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
		dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
4/ +10	108	101,93	6,07	99,00	9,00	113,39	5,39
4/ +20	100	95,84	4,16	92,98	7,02	108,39	8,39
4/ +30	102	92,25	9,75	89,46	12,54	105,47	3,47
4/ +40	93	89,68	3,32	86,96	6,04	103,39	10,39
4/ +50	93	87,67	5,33	85,02	7,98	101,78	8,78
4/ +60	85	86,02	1,02	83,44	1,56	100,46	15,46
4/ +80	89	83,38	5,62	80,94	8,06	98,39	4,39
4/ +100	64	81,30	17,30	79,00	15,00	96,78	32,78
4/ +120	73	79,58	6,58	77,42	4,42	95,46	22,46
4/ +140	80	78,10	1,90	76,08	3,92	94,35	6,35
4/ +160	70	76,80	6,80	74,92	4,92	93,39	23,39
4/ +180	78 *	75,63	2,37	73,89	4,11	92,54	14,54
4/ +200	75 *	74,58	0,42	72,98	2,02	92,15	17,15
		ϕ Differenz	5,43		6,66		13,30

Messung 4							
	Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
		dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
4/ +10	110	101,93	8,07	99,00	11,00	113,39	3,39
4/ +20	101	95,84	5,16	92,98	8,02	108,39	7,39
4/ +30	108	92,25	15,75	89,46	18,54	105,47	2,53
4/ +40	93	89,68	3,32	86,96	6,04	103,39	10,39
4/ +50	98 *	87,67	10,33	85,02	12,98	101,78	3,78
4/ +60	95	86,02	8,98	83,44	11,56	100,46	5,46
4/ +80	88	83,38	4,62	80,94	7,06	98,39	4,39
4/ +100	80	81,30	1,30	79,00	1,00	96,78	16,78
4/ +120	78	79,58	1,58	77,42	0,58	95,46	17,46
4/ +140	81	78,10	2,90	76,08	4,92	94,35	6,35
4/ +160	79	76,80	2,20	74,92	4,08	93,39	14,39
4/ +180	77	75,63	2,37	73,89	4,11	92,54	14,54
4/ +200	80*	74,58	5,42	72,98	7,02	92,15	17,15
		ϕ Differenz	5,11		6,99		9,37

Nebengeräusche durch Lärmspitzen

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 5							
	Dauerton	DIN allgemeines Verf.		Rechenmodell		Faustformel	
	Pegel dB(A)	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
7/ -10	94	101,93	7,93	99,00	5,00	113,39	19,39
7/ +10	98	95,84	2,16	92,98	5,02	108,39	10,39
7/ +20	95	92,25	2,75	89,46	5,54	105,47	13,22
7/ +30	105	89,68	15,32	86,96	18,04	103,39	13,71
7/ +40	100	87,67	12,33	85,02	14,98	101,78	1,78
7/ +50	94	86,02	7,98	83,44	10,56	100,46	6,46
7/ +60	88	83,38	4,62	80,94	7,06	98,39	4,39
7/ +80	90	81,30	8,70	79,00	11,00	96,78	6,78
7/ +100	90	79,58	10,42	77,42	12,58	95,46	5,46
		Ø Differenz	5,56		6,91		6,28

Nebengeräusche durch Lärmspitzen

Ø Differenz pro Messung der jeweiligen Rechenmodelle:

	DIN Allgemeines Verfahren Δ dB	Rechenmodell Δ dB	Faustformel Δ dB
Messung 1	5,20 Δ dB	7,59 Δ dB	9,47 Δ dB
Messung 2	4,63 Δ dB	6,47 Δ dB	10,30 Δ dB
Messung 3	5,43 Δ dB	6,66 Δ dB	13,30 Δ dB
Messung 4	5,11 Δ dB	6,99 Δ dB	9,37 Δ dB
Messung 5	5,56 Δ dB	6,91 Δ dB	6,28 Δ dB
Ø Differenz	5,19 dB	6,92 dB	9,74 dB

Anhang A-7: Sprachdurchsage Messung und Rechnung

MESSUNG 1 der Sprachdurchsage			Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 1/ +0)			
Temperatur:	8°C	Frequenz:	-	Höhe Schallquelle:	4,50 m	
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sprache:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m	
			Hypotetisch: weicher Boden			
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
1/+10		10	76,93	72,46	73,93	
1/+20		20	70,84	65,16	67,84	
1/+30		30	67,25	60,46	64,25	
1/+40		40	64,68	57,04	61,68	
1/+50		50	62,67	54,75	59,67	
1/+60		60	61,07	52,20	58,07	
1/+80		80	58,39	48,68	55,39	
1/+100		100	56,30	46,03	53,30	
1/+120		120	54,58	43,98	51,58	
1/+140	Kompressor	140	53,10	42,21	50,10	
1/+160		160	51,80	40,73	48,80	
1/+180		180	50,63	39,45	47,63	
1/+190		190	50,09	39,26	47,09	
			Hypotetisch: weicher Boden			
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
2/ 0		35	65,87	59,66	62,87	
2/+10		36,4	65,52	59,1	62,52	
2/ +20		40,3	64,61	56,94	61,61	
2/ +60		69,5	59,67	50,46	56,67	
2/ +80		87,3	57,57	47,68	54,57	
2/ +100		105,9	55,77	45,4	52,77	
2/ +140	A	144,3	46,56	35,63	43,56	
2/ +160	A	163,8	44,71	33,6	41,71	
			Hypotetisch: weicher Boden			
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
3/ 0		35	65,87	59,66	62,87	
3/ +10		36,4	65,52	59,1	62,52	
3/ +20	A	40,3	59,33	51,66	56,33	
3/ +30	A	46,1	58,51	50,7	55,51	
3/ +40	A	53,2	56,27	48,24	53,27	
3/ +50	A	61	54,75	45,83	51,75	
3/ +60	A	69,5	53,17	43,96	50,17	
3/ +80	A	87,3	50,42	40,53	47,42	
3/ +100	A	105,9	47,85	37,48	44,85	
3/ +120	A	125	45,72	34,99	42,72	
3/ +140	A	144,3	43,55	32,62	40,55	
A = Abschirmung						

MESSUNG 2 der Sprachdurchsage			Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 1/ +0)				
Temperatur:	9°C	Frequenz:	-	Höhe Schallquelle:	8,00 m		
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m		
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
1/+10	78-81		10	76,93	72,46	73,93	
1/+20	75-78		20	70,84	65,16	67,84	
1/+30	68-78		30	67,25	60,46	64,25	
1/+40	65-78		40	64,68	57,04	61,68	
1/+50	67-76		50	62,67	54,75	59,67	
1/+60	65-74		60	61,07	52,20	58,07	
1/+80	63-70		80	58,39	48,68	55,39	
1/+100	66-72		100	56,30	46,03	53,30	
1/+120	60-68		120	54,58	43,98	51,58	
1/+140	59-66		140	53,10	42,21	50,10	
1/+160	60-67		160	51,80	40,73	48,80	
1/+180	58		180	50,63	39,45	47,63	
1/+190	56		190	50,09	39,26	47,09	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
2/ 0	67-80		35	65,87	59,66	62,87	
2/+10	68-75		36,4	65,52	59,1	62,52	
2/+20	68-73		40,3	64,61	56,94	61,61	
2/+60	66-74		69,5	59,67	50,46	56,67	
2/+80	62-68		87,3	57,57	47,68	54,57	
2/+100	62-66		105,9	55,77	45,4	52,77	
2/+140	57	Baustelle + A	144,3	46,56	35,63	43,56	
2/+160	50	Baustelle + A	163,8	44,71	33,6	41,71	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)		
3/ 0	71		35	65,87	59,66	62,87	
3/+10	68		36,4	65,52	59,1	62,52	
3/+20	65	A	40,3	59,33	51,66	56,33	
3/+30	60	A	46,1	58,51	50,7	55,51	
3/+40	58	A	53,2	56,27	48,24	53,27	
3/+50	55	A	61	54,75	45,83	51,75	
3/+60	54	A	69,5	53,17	43,96	50,17	
3/+80	48	A	87,3	50,42	40,53	47,42	
3/+100	50	A	105,9	47,85	37,48	44,85	
3/+120	51	A	125	45,72	34,99	42,72	
3/+140	52	A	144,3	43,55	32,62	40,55	
							A = Abschirmung

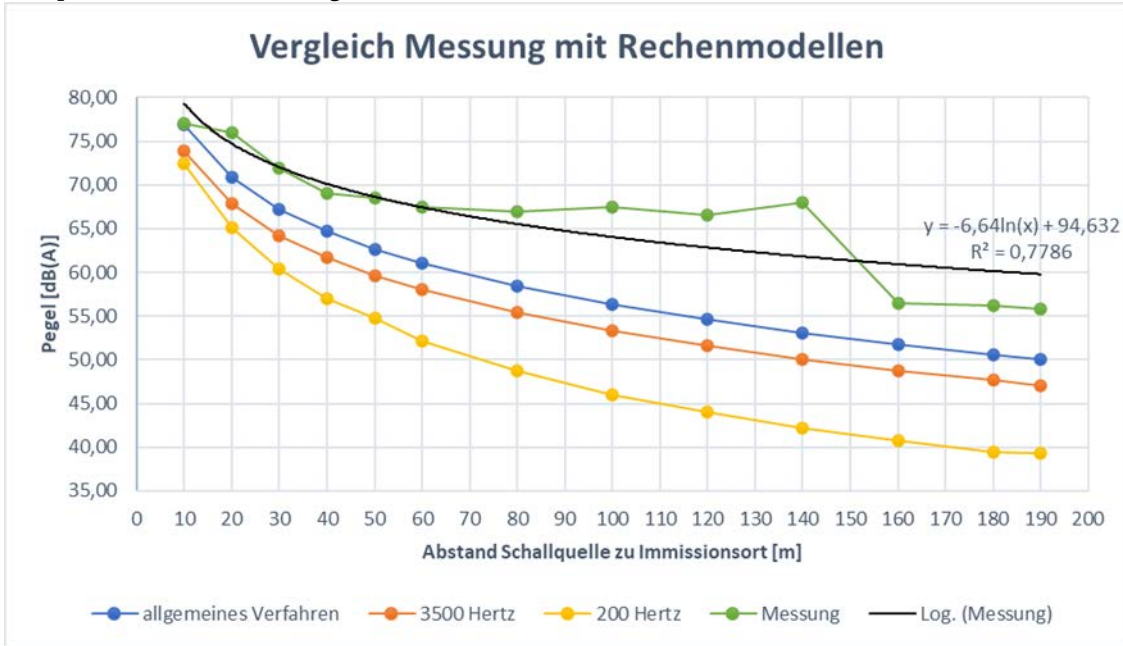
MESSUNG 3 der Sprachdurchsage			Warmmittel: kleine Solitarius (POS. 4/ +0)				
Temperatur:	11°C	Frequenz:	1680 Hz	Höhe Schallquelle:	4,50 m		
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m		
Hypotetisch: weicher Boden							
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
4/ +10	85-90		10	76,93	72,46	73,93	
4/ +20	80-85		20	70,84	65,16	67,84	
4/ +30	76-81		30	67,25	60,46	64,25	
4/ +40	69-76		40	64,68	57,04	61,68	
4/ +50	65-76		50	62,67	54,75	59,67	
4/ +60	59-70		60	61,07	52,20	58,07	
4/ +80	58-62		80	58,39	48,68	55,39	
4/ +100	60-68		100	56,30	46,03	53,30	
4/ +120	56-65		120	54,58	43,98	51,58	
4/ +140	60-68		140	53,10	42,21	50,10	
4/ +160	54-63		160	51,80	40,73	48,80	
4/ +180	58-67	Straßenverkehr	180	50,63	39,45	47,63	
4/ +200	54-60	Straßenverkehr	200	50,09	39,02	47,09	
Hypotetisch: weicher Boden							
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
5/ 0	61-78		43	61,03	53,05	58,03	
5/ +10	58-78		44,1	60,80	52,68	57,80	
5/ +20	57-69		47,4	60,15	51,64	57,15	
5/ +30	58-66	A	52,4	57,75	48,76	54,75	
5/ +40	55-68	A	58,7	56,20	46,58	53,20	
5/ +50	53-65	A	65,9	54,42	44,55	51,42	
5/ +60	53-64	A	73,8	52,60	41,96	49,60	
5/ +70	55-62	A	82,1	51,05	40,95	48,05	
Hypotetisch: weicher Boden							
Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
6/ 0	63-66		86,5	54,65	44,45	51,65	
6/ +10	55-62		87,1	54,59	44,25	51,59	
6/ +20	58-62		88,8	54,41	44,10	51,41	
6/ +30	58-64	A	91,6	51,75	41,34	48,75	
6/ +40	52-65	A	95,3	50,64	40,63	47,64	
6/ +50	57-65	A	99,9	49,34	39,33	46,34	
6/ +60	59-62	PKW-Verkehr + A	105,3	48,47	38,26	45,47	
6/ +80	52	A	117,8	46,62	36,01	43,62	
Hypotetisch: weicher Boden							
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)		
7/ -10	61		67,7	56,91	47,10	53,91	
7/ 0	66		67	57,01	47,02	54,01	
7/ +10	57		67,7	56,91	47,1	53,91	
7/ +20	55	A	69,9	52,69	42,68	49,69	
7/ +30	52	A	73,4	51,04	41,03	48,04	
7/ +40	50	A	78	49,97	40,87	46,97	
7/ +50	48	A	83,6	49,17	40,39	46,17	
7/ +60	50	A	89,9	48,40	39,76	45,40	
7/ +80	52	A	104,4	48,12	37,72	45,12	
7/ +100	53	A	112,2	48,51	36,92	45,51	
A = Abschirmung							

MESSUNG 4 der Sprachdurchsage			Wärmittel: kleine Solitarius (POS. 4/ +0)				
	Temperatur:	12°C	Frequenz:	-	Höhe Schallquelle:	8,00 m	
	rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m	
							Hypotetisch: weicher Boden
	Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)
4/ +10	71-85	76		10	76,93	72,46	73,93
4/ +20	70-85	75		20	70,84	65,16	67,84
4/ +30	70-82	74		30	67,25	60,46	64,25
4/ +40	65-78	69		40	64,68	57,04	61,68
4/ +50	60-77	66		50	62,67	54,75	59,67
4/ +60	58-73	63		60	61,07	52,20	58,07
4/ +80	60-68	62		80	58,39	48,68	55,39
4/ +100	58-65	60		100	56,30	46,03	53,30
4/ +120	56-63	58		120	54,58	43,98	51,58
4/ +140	57-63	59		140	53,10	42,21	50,10
4/ +160	48-58	51		160	51,80	40,73	48,80
4/ +180	55	55	Grundpegel	180	50,63	39,45	47,63
4/ +200	53	53	Grundpegel	200	49,86	38,02	46,86
							Hypotetisch: weicher Boden
	Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)
5/ 0	65-74	68		43	61,03	53,05	58,03
5/ +10	68-75	70		44,1	60,80	52,68	57,80
5/ +20	67-69	68		47,4	60,15	51,64	57,15
5/ +30	57-65	60	A	52,4	57,75	48,76	54,75
5/ +40	62-68	64	A	58,7	56,20	46,58	53,20
5/ +50	57-62	58	A	65,9	54,42	44,55	51,42
5/ +60	51-62	54	A	73,8	52,60	41,96	49,60
5/ +70	53-60	55	A	82,1	51,05	40,95	48,05
							Hypotetisch: weicher Boden
	Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)
6/ 0	57-65	60		86,5	54,65	44,45	51,65
6/ +10	56-64	59		87,1	54,59	44,25	51,59
6/ +20	58-62	59		88,8	54,41	44,10	51,41
6/ +30	59-63	61	Baustelle + A	91,6	51,75	41,34	48,75
6/ +40	56-62	57	A	95,3	50,64	40,63	47,64
6/ +50	54-61	56	A	99,9	49,34	39,33	46,34
6/ +60	53-58	55	A	105,3	48,47	38,26	45,47
6/ +80	52	52	A	117,8	46,62	36,01	43,62
							Hypotetisch: weicher Boden
	Sprachdurchsage Pegel dB (A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)
7/ -10	55-62	57		67,7	56,91	47,10	53,91
7/ 0	56-71	61		67	57,01	47,02	54,01
7/ +10	55-60	56		67,7	56,91	47,1	53,91
7/ +20	58-60	59	A	69,9	52,69	42,68	49,69
7/ +30	61	61	A	73,4	51,04	41,03	48,04
7/ +40	56	56	A	78	49,97	40,87	46,97
7/ +50	53	53	A	83,6	49,17	40,39	46,17
7/ +60	51	51	A	89,9	48,40	39,76	45,40
7/ +80	47-50	48	A	104,4	48,12	37,72	45,12
7/ +100	53-55	54	A	112,2	48,51	36,92	45,51
			A = Abschirmung				

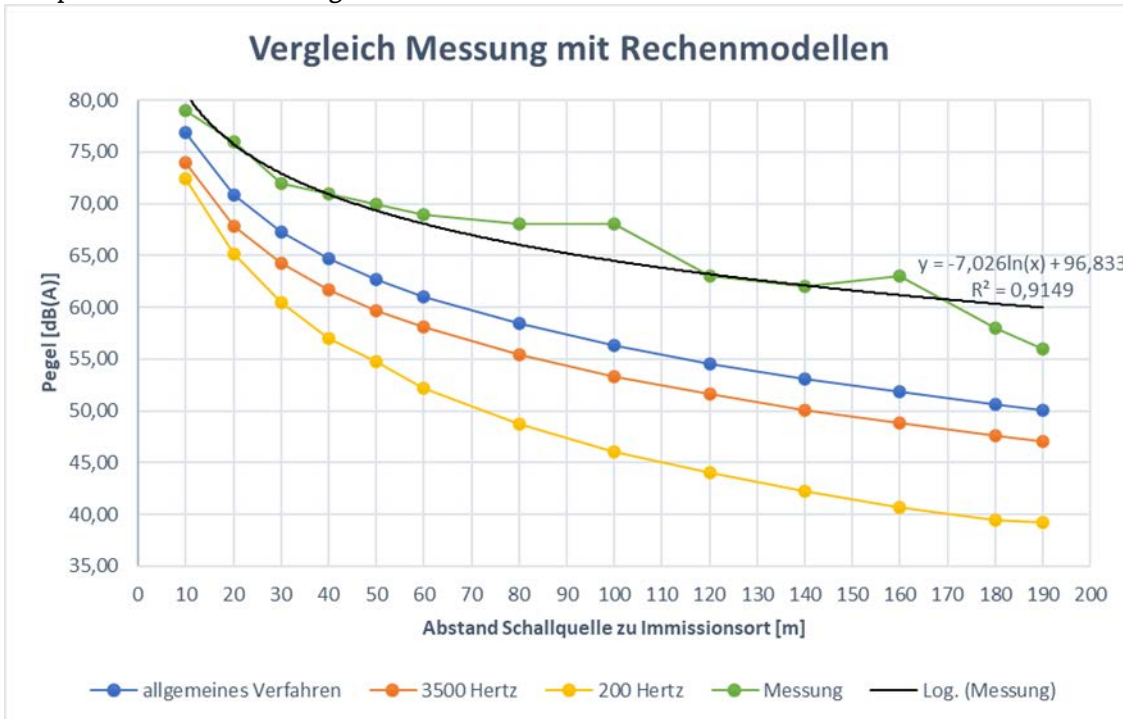
MESSUNG 5 der Sprachdurchsage			Wärmittel: kleine Solitarius (POS. 7/ +0)				
Temperatur:	14°C	Frequenz:	-	Höhe Schallquelle:	4,50 m		
rel. Luftfeuchte:	75%	Pegel Sirene:	105 dB	Höhe Immissionsort:	1,50 m		
							Hypotetisch: weicher Boden
Dauer- Pegel dB(A)	Sprachdurchsage Mittelwert dB(A)	Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
7/ -10	65-76		10	76,93	72,46	73,93	
7/ +10	75-83		10	70,84	65,16	67,84	
7/ +20	70-80		20	67,25	60,46	64,25	
7/ +30	70-78		30	64,68	57,04	61,68	
7/ +40	70-75		40	62,67	54,75	59,67	
7/ +50	68-75		50	61,07	52,20	58,07	
7/ +60	60-72		60	58,39	48,68	55,39	
7/ +80	61-70		80	56,30	46,03	53,30	
7/ +100	60-70		100	54,58	43,98	51,58	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)		Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
8/ -15	69	PKW-Verkehr + B	60	60,41	50,42	57,41	
8/ -10	62	B	57	59,82	49,84	56,82	
8/ 0	62	B	55	59,51	49,53	56,51	
8/ +20	58	B	55	57,42	47,44	54,42	
8/ +40	57	A+B	65	52,21	41,99	49,21	
8/ +60	59	A+B	75	51,18	40,95	48,18	
8/ +80	53	A+B	93	47,95	37,70	44,95	
8/ +100	53	A+B	110	45,43	34,90	42,43	
8/ +120	55	A+B	125	43,45	32,92	40,45	
8/ +140	56	A+B	148	40,45	29,57	37,45	
8/ +160	55	A+B	167	38,88	27,97	35,88	
8/ +180	52	A+B	186	36,80	25,81	33,80	
8/ +200	58	A+B	209	34,47	23,55	31,47	
8/ +220	57	A+B	228	32,57	22,07	29,57	
							Hypotetisch: weicher Boden
Sprachdurchsage Pegel Mittelwert dB (A)		Bemerkung	Abstand	allgemeines Verfahren DIN dB(A)	200 Hertz DIN dB(A)	3500 Hertz DIN dB(A)	
9/ 0	57	PKW-Verkehr + B	80	51,02	40,75	48,02	
9/ +20	58	PKW-Verkehr + B	85	50,61	40,31	47,61	
9/ +40	53	A+B	91	49,01	38,67	46,01	
9/ +60	57	A+B	100	47,89	37,35	44,89	
9/ +80	54	A+B	115	45,45	34,79	42,45	
9/ +100	54	A+B	123	44,22	33,62	41,22	
9/ +120	56	A+B	139	42,21	31,70	39,21	
9/ +140	52	A+B	151	40,48	30,65	37,48	
9/ +160	60	A+B	175	38,01	28,09	35,01	
9/ +180	58	A+B	188	36,62	26,62	33,62	
9/ +200	56	A+B	207	34,64	24,67	31,64	
9/ + 220	62	PKW-Verkehr + A+B	228	32,57	22,79	29,57	
		A = Abschirmung					
		B = zusätzlich Dämpfung Bewuchs					

Anhang A-8: Sprachdurchsage Diagramme der Hauptachsen

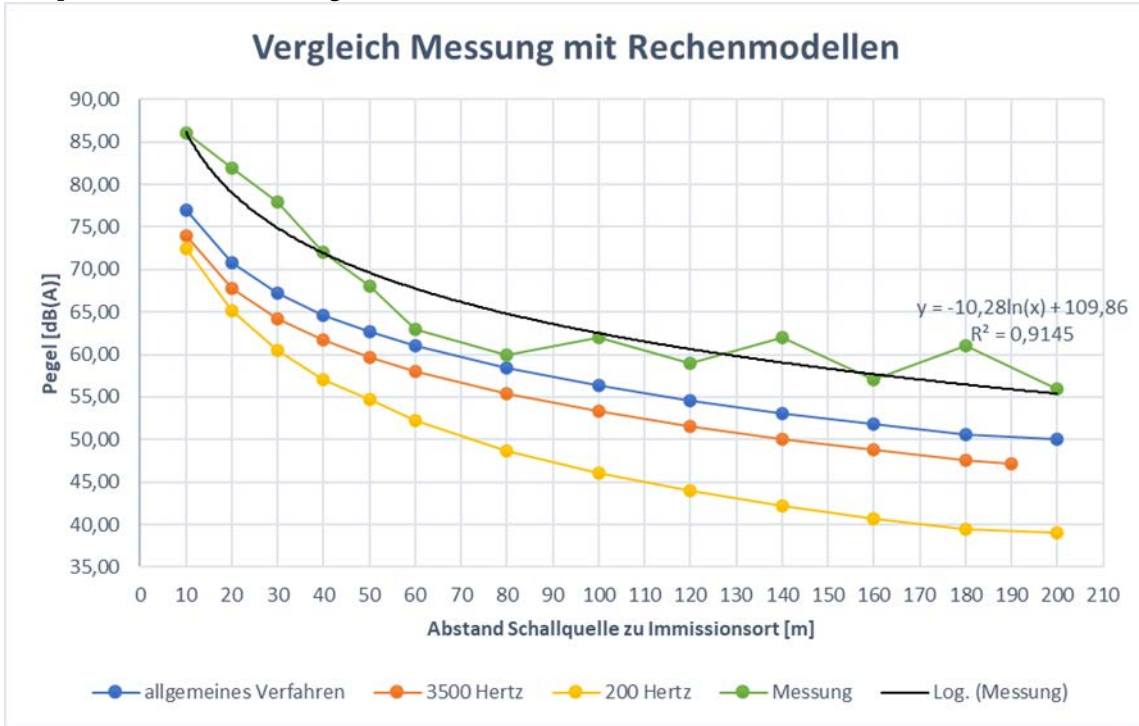
Hauptachse der 1. Messung: Achse 1



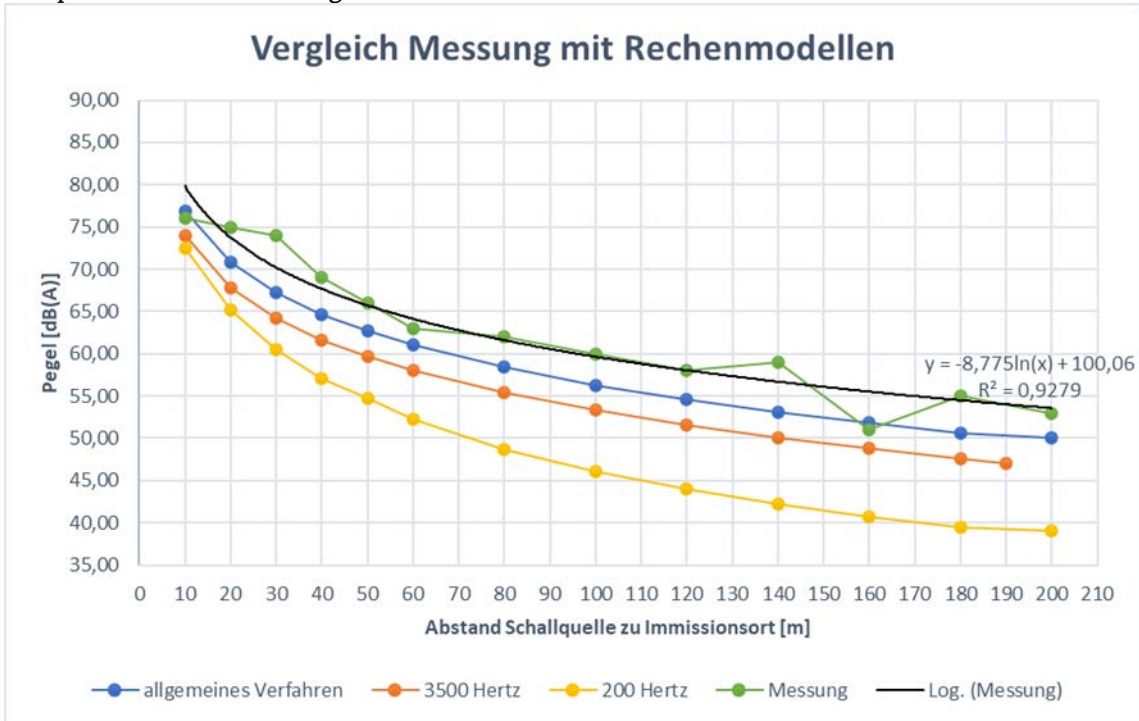
Hauptachse der 2. Messung: Achse 1



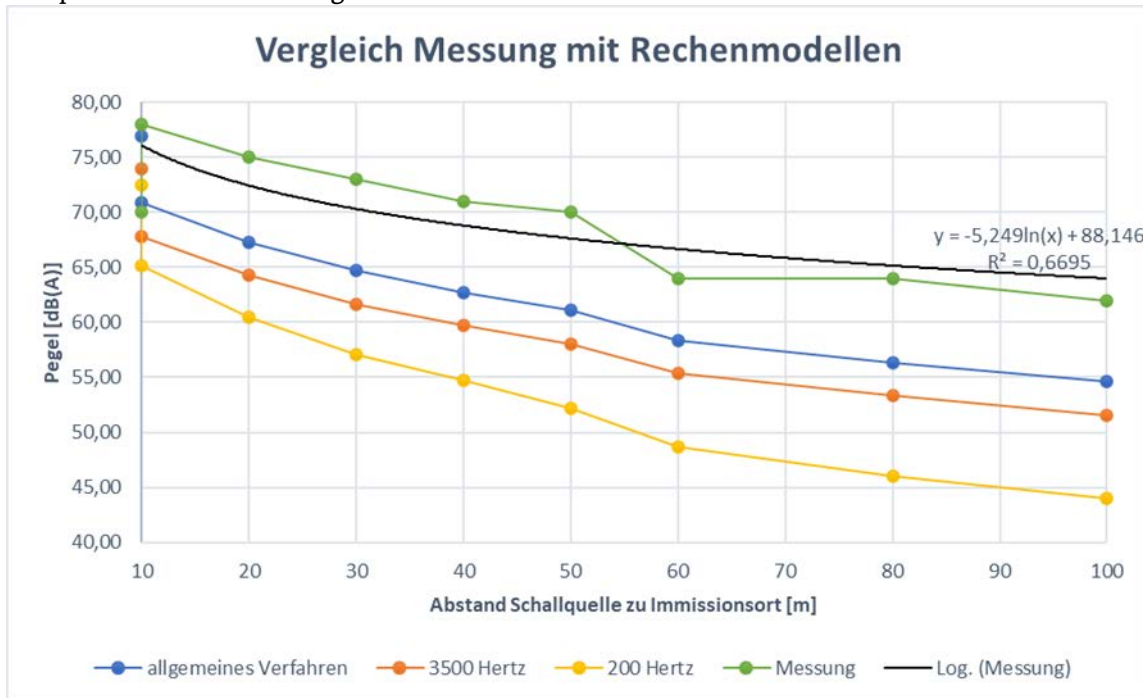
Hauptachse der 3. Messung: Achse 4



Hauptachse der 4. Messung: Achse 4



Hauptachse der 5. Messung: Achse 7



Anhang A-9: Sprachdurchsage Differenzen Messung mit Rechnung

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 1							
				hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
	Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		200 Hertz		3500 Hertz	
		dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	77	76,93	0,07	72,46	4,54	73,93	5,07
1/+20	76	70,84	5,16	65,16	10,84	67,84	8,16
1/+30	72	67,25	4,75	60,46	11,54	64,25	7,75
1/+40	69	64,68	4,32	57,04	11,96	61,68	9,32
1/+50	68,5	62,67	5,83	54,75	13,75	59,67	10,33
1/+60	67,5	61,07	6,43	52,20	15,30	58,07	10,93
1/+80	67	58,39	10,62	48,68	18,32	55,39	12,61
1/+100	67,5	56,30	11,20	46,03	21,47	53,30	14,70
1/+120	66,5	54,58	11,92	43,98	22,52	51,58	11,42
1/+140	68 *	53,10	9,90	42,21	25,79	50,10	11,90
1/+160	56,5	51,80	4,70	40,73	15,77	48,80	14,20
1/+180	56,2	50,63	5,57	39,45	16,75	47,63	10,37
1/ +190	55,8	50,09	5,71	39,26	16,54	47,09	8,91
		\emptyset Differenz	6,36			14,94	10,31
Messung 2							
				hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
	Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		200 Hertz		3500 Hertz	
		dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB
1/+10	79	76,93	2,07	72,46	6,54	73,93	5,07
1/+20	76	70,84	5,16	65,16	10,84	67,84	8,16
1/+30	72	67,25	4,75	60,46	11,54	64,25	7,75
1/+40	71	64,68	6,32	57,04	13,96	61,68	9,32
1/+50	70	62,67	7,33	54,75	15,25	59,67	10,33
1/+60	69	61,07	7,93	52,20	16,80	58,07	10,93
1/+80	68	58,39	9,61	48,68	19,32	55,39	12,61
1/+100	68	56,30	11,70	46,03	21,97	53,30	14,70
1/+120	63	54,58	8,42	43,98	19,02	51,58	11,42
1/+140	62	53,10	8,90	42,21	25,79	50,10	11,90
1/+160	63	51,80	11,20	40,73	22,27	48,80	14,20
1/+180	58	50,63	7,37	39,45	18,55	47,63	10,37
1/ +190	56	50,09	5,91	39,26	16,74	47,09	8,91
		\emptyset Differenz	7,44			16,81	10,44

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 3							
				hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		200 Hertz		3500 Hertz		
	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB	
4/ +10	86	76,93	9,07	72,46	13,54	73,93	12,07
4/ +20	82	70,84	11,16	65,16	16,84	67,84	14,16
4/ +30	78	67,25	10,75	60,46	17,54	64,25	13,75
4/ +40	72	64,68	7,32	57,04	14,96	61,68	10,32
4/ +50	68	62,67	5,33	54,75	13,25	59,67	8,33
4/ +60	63	61,07	1,93	52,20	10,80	58,07	4,93
4/ +80	60	58,39	1,61	48,68	11,32	55,39	4,39
4/ +100	62	56,30	5,70	46,03	15,97	53,30	8,70
4/ +120	59	54,58	4,42	43,98	15,02	51,58	7,42
4/ +140	62	53,10	8,90	42,21	19,79	50,10	6,35
4/ +160	57	51,80	5,20	40,73	16,27	48,80	8,20
4/ +180	61	50,63	2,37	39,45	4,11	47,63	14,54
4/ +200	56	50,09	0,42	38,02	7,02	47,09	17,15
		ϕ Differenz	6,49		15,03		8,97
Messung 4							
				hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		200 Hertz		3500 Hertz		
	dB	Δ dB	dB	Δ dB	dB	Δ dB	
4/ +10	76	78,93	2,93	72,46	3,54	73,93	2,07
4/ +20	75	70,84	4,16	65,16	9,84	67,84	7,16
4/ +30	74	67,25	6,75	60,46	13,54	64,25	9,75
4/ +40	69	63,68	5,32	57,04	11,96	61,68	7,32
4/ +50	66	61,67	4,33	54,75	11,25	59,67	6,33
4/ +60	63	60,27	2,73	52,20	10,80	58,07	4,93
4/ +80	62	57,39	4,61	48,68	13,32	55,39	4,39
4/ +100	60	55,91	4,09	46,03	13,97	53,30	6,70
4/ +120	58	54,58	3,42	43,98	14,02	51,58	6,42
4/ +140	59	53,10	5,90	42,21	16,79	50,10	6,35
4/ +160	51	52,80	1,80	40,73	10,27	48,80	2,20
4/ +180	55	51,63	2,37	39,45	4,11	47,63	14,54
4/ +200	53	49,86	5,42	38,02	7,02	46,86	17,15
		ϕ Differenz	4,51		11,75		6,91

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton je Hauptachse:

Messung 5							
	Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
		dB	ΔdB	200 Hertz		3500 Hertz	
				dB	Δ dB	dB	Δ dB
7/ -10	70	76,93	6,93	72,46	2,46	73,93	3,93
7/ +10	78	70,84	7,16	65,16	12,84	67,84	10,16
7/ +20	75	67,25	7,75	60,46	14,54	64,25	10,75
7/ +30	73	64,68	8,32	57,04	15,96	61,68	11,32
7/ +40	71	62,67	8,33	54,75	16,25	59,67	11,33
7/ +50	70	61,07	8,93	52,20	17,80	58,07	11,93
7/ +60	64	58,39	5,61	48,68	15,32	55,39	8,61
7/ +80	64	56,30	7,70	46,03	17,97	53,30	10,70
7/ +100	62	54,58	7,42	43,98	18,02	51,58	10,42
		ø Differenz	7,57			14,57	9,91

Nebengeräusche durch Lärmspitzen

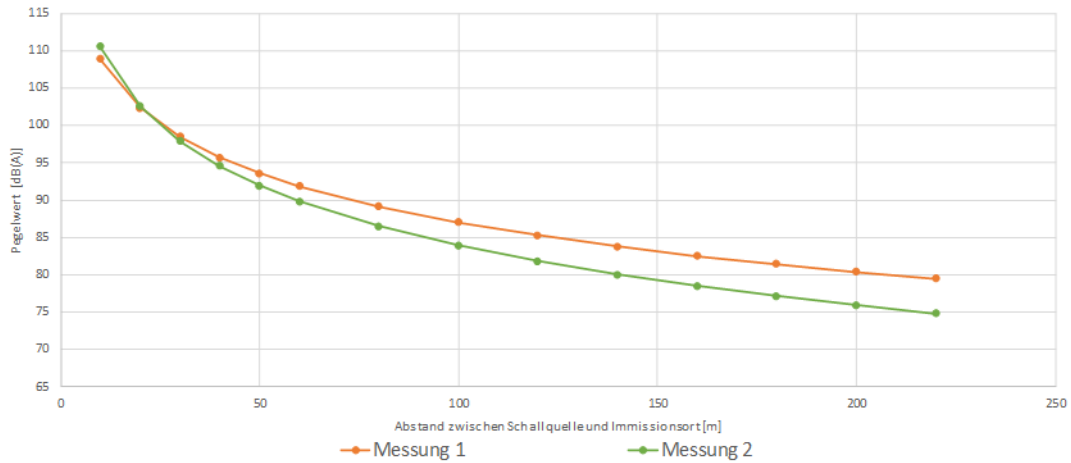
ø Differenz pro Messung der jeweiligen Rechenmodelle:

	DIN allgemeines Verf.		hypothetisch: weicher Boden [G=1,0]			
	ΔdB	ΔdB	200 Hertz		3500 Hertz	
			ΔdB	ΔdB	ΔdB	ΔdB
Messung 1	6,36	ΔdB	14,94	ΔdB	10,31	ΔdB
Messung 2	7,44	ΔdB	16,81	ΔdB	10,44	ΔdB
Messung 3	6,49	ΔdB	15,03	ΔdB	8,97	ΔdB
Messung 4	4,51	ΔdB	11,75	ΔdB	6,91	ΔdB
Messung 5	7,57	ΔdB	14,57	ΔdB	9,91	ΔdB
ø Differenz	6,47	dB	14,62	dB	9,31	dB

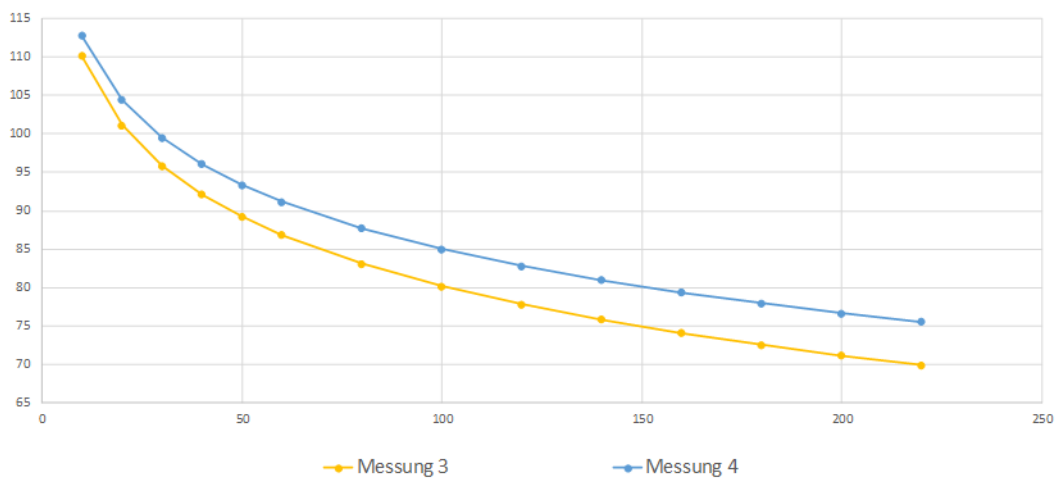
Anhang A-10: Vergleich der Trendlinien von Messstelle 1 und 4

	Messungs Nr.	Hauptachse	Messhöhe	Trendlinie Formel
Messstelle 1	Messung 1	Achse 1	4,50 m	$f(x) = -9,507 \ln(x) + 130,79$
	Messung 2	Achse 1	8,00 m	$f(x) = -11,56 \ln(x) + 137,18$
Messstelle 4	Messung 3	Achse 4	4,50 m	$f(x) = -13,01 \ln(x) + 140,1$
	Messung 4	Achse 4	8,00 m	$f(x) = -12,05 \ln(x) + 140,51$

Vergleich der Trendlinien Messstelle der 1/ 0



Vergleich der Trendlinien der Messstelle 4/ 0



Anhang A-11: Dauerton Differenzen Pegelabweichungen der Nebenachsen

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit dem Dauerton entlang der Nebenachsen der verschiedenen Messungen.

MESSUNG 1				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf. dB ΔdB		Nebengeräusche durch Lärmspitzen
Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB ΔdB			Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB	ΔdB			
			3/ 0	94	90,87	3,13			
			3/ +10	90	90,50	0,50			
			3/ +20	80	84,27	4,27			
2/ 0	91	90,87	0,13	3/ +30	80	82,49	2,49		
2/ +10	93	90,50	2,50	3/ +40	73	81,25	8,25		
2/ +20	85	89,61	4,61	3/ +50	71	79,95	8,95		
2/ +60	87	84,67	2,33	3/ +60	76	78,37	2,37		
2/ +80	82	82,57	0,57	3/ +80	74	75,33	1,33		
2/ +100	84	80,76	3,24	3/ +100	70	72,82	2,82		
2/ +140	72	71,51	0,49	3/ +120	72	70,75	1,25		
2/ +160	68	69,83	1,83	3/ +140	67	68,59	1,59		
		ø Differenz	1,96		ø Differenz	3,97			

MESSUNG 2				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf. dB ΔdB	
Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB ΔdB			Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB	ΔdB		
			3/ 0	92	90,87	1,13		
			3/ +10	85	90,52	5,52		
			3/ +20	88	84,27	3,73		
2/ 0	97	90,87	6,13	3/ +30	81	82,49	1,49	
2/ +10	92	90,52	1,48	3/ +40	81	81,25	0,25	
2/ +20	87	89,61	2,61	3/ +50	76	79,95	3,95	
2/ +60	93	84,67	8,33	3/ +60	71	78,37	7,37	
2/ +80	90	82,57	7,43	3/ +80	72	75,33	3,33	
2/ +100	81	80,76	0,24	3/ +100	69	72,82	3,82	
2/ +140	65	71,51	6,51	3/ +120	63	70,75	7,75	
2/ +160	71	69,83	1,17	3/ +140	65	68,59	3,59	
		ø Differenz	4,24		ø Differenz	4,19		

MESSUNG 3				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf. dB ΔdB				
Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB ΔdB			Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf. dB	ΔdB	7/ -10	79	84,91	5,91	
			6/ 0	89	82,65	6,35	7/ 0	81	85,00	4,00	
5/ 0	97	89,03	7,97	6/ +10	85	82,59	2,41	7/ +10	77	84,91	7,91
5/ +10	92	88,80	3,20	6/ +20	84	82,41	1,59	7/ +20	65	77,69	12,69
5/ +20	85	88,13	3,13	6/ +30	74	76,75	2,75	7/ +30	61	76,04	15,04
5/ +30	88	82,75	5,25	6/ +40	75	75,64	0,64	7/ +40	68	74,97	6,97
5/ +40	82	81,20	0,80	6/ +50	73	74,33	1,33	7/ +50	68	74,17	6,17
5/ +50	84	79,42	4,58	6/ +60	68	73,46	5,46	7/ +60	64	73,39	9,39
5/ +60	78	77,60	0,40	6/ +80	64	71,62	7,62	7/ +80	68	73,12	5,12
5/ +70	75	76,05	1,05		ø Differenz	3,52	7/ +100	76	73,01	2,99	
		ø Differenz	3,30		ø Differenz	3,52		ø Differenz	8,02		

MESSUNG 4											
		DIN allgemeines Verf.				DIN allgemeines Verf.		Dauerton Pegel dB(A)	DIN allgemeines Verf.		
		dB	ΔdB			dB	ΔdB		dB	ΔdB	
	Dauerton Pegel dB(A)			Dauerton Pegel dB(A)				7/ -10	81	84,91	3,91
								7/ 0	88	85,01	2,99
5/ 0	97	89,03	7,97	6/ 0	78	82,65	4,65	7/ +10	72	84,91	12,91
5/ +10	93	88,80	4,20	6/ +10	75	82,59	7,59	7/ +20	71	77,69	6,69
5/ +20	87	88,15	1,15	6/ +20	71	82,41	11,41	7/ +30	65	76,04	11,04
5/ +30	84	82,75	1,25	6/ +30	71	76,75	5,75	7/ +40	66	74,97	8,97
5/ +40	86	81,20	4,80	6/ +40	67	75,64	8,64	7/ +50	63	74,17	11,17
5/ +50	81	79,42	1,58	6/ +50	70	74,33	4,33	7/ +60	64	73,39	9,39
5/ +60	77	77,60	0,60	6/ +60	62	73,46	11,46	7/ +80	70	73,12	3,12
5/ +70	81	76,05	4,95	6/ +80	62	71,62	9,62	7/ +100	65	73,01	8,01
		ø Differenz	3,31			ø Differenz	7,93			ø Differenz	7,69

MESSUNG 5								Nebengeräusche durch Lärmspitzen		
		DIN allgemeines Verf.				DIN allgemeines Verf.				
		dB	ΔdB			dB	ΔdB			
	Dauerton Pegel dB(A)			Dauerton Pegel dB(A)						
8/ -15	77	81,82	4,82	9/ 0	72	77,78	5,78			
8/ -10	77	82,49	5,49	9/ +20	71	76,87	5,87			
8/ 0	77	82,96	5,96	9/ +40	75	74,01	0,99			
8/ +20	71	82,96	11,96	9/ +60	65	72,89	7,89			
8/ +40	75	77,21	2,21	9/ +80	70	70,45	0,45			
8/ +60	71	76,18	5,18	9/ +100	67	69,22	2,22			
8/ +80	77	72,95	4,05	9/ +120	60	67,21	7,21			
8/ +100	72	70,43	1,57	9/ +140	64	65,48	1,48			
8/ +120	70	68,45	1,55	9/ +160	65	63,01	1,99			
8/ +140	85	65,45	19,55	9/ +180	60	61,62	1,62			
8/ +160	65	63,88	1,12	9/ +200	62	59,64	2,36			
8/ +180	61	61,80	0,80	9/ +220	58	57,57	0,43			
8/ +200	63	59,47	3,53			ø Differenz	3,39			
8/ +220	66	57,57	8,43			ø Differenz	3,39			
		ø Differenz	4,05			ø Differenz	3,39			

ø Pegeldifferenz pro Messung der Nebenachsen

	DIN allgemeines Verf.		DIN allgemeines Verf.		DIN allgemeines Verf.	
	ΔdB		ΔdB		ΔdB	
Messung 1	Achse2:	1,96	Achse3:	3,97	-	
Messung 2	Achse2:	4,24	Achse3:	4,19	-	
Messung 3	Achse5:	3,30	Achse6:	3,52	Achse7:	8,02
Messung 4	Achse5:	3,31	Achse6:	7,93	Achse7:	7,69
Messung 5	Achse8:	4,05	Achse9:	3,39	-	
		ø Differenz		4,63 ΔdB		

Anhang A-12: Sprachdurchsage – Differenzen Pegelabweichungen der Nebenachsen

Differenzen der Prognoseergebnisse zur Messung mit der Sprachdurchsage entlang der Nebenachsen der verschiedenen Messungen.

MESSUNG 1				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf.			Nebengeräusche durch Lärmspitzen
				dB	Δ dB					
			3/ 0	77	65,87	11,13				
			3/ +10	70	65,52	4,48				
			3/ +20	67	59,33	7,67				
			3/ +30	66	58,51	7,49				
			3/ +40	62	56,27	5,73				
			3/ +50	59	54,75	4,25				
			3/ +60	56	53,17	2,83				
			3/ +80	57	50,42	6,58				
			3/ +100	58	47,85	10,15				
			3/ +120	52	45,72	6,28				
			3/ +140	55	43,55	11,45				
			σ Differenz			7,80				
MESSUNG 2				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf.			
					dB	Δ dB				
			3/ 0	71	65,87	5,13				
			3/ +10	68	65,52	2,48				
			3/ +20	65	59,33	5,67				
			3/ +30	60	58,51	1,49				
			3/ +40	58	56,27	1,73				
			3/ +50	55	54,75	0,25				
			3/ +60	54	53,17	0,83				
			3/ +80	48	50,42	2,42				
			3/ +100	50	47,85	2,15				
			3/ +120	51	45,72	5,28				
			3/ +140	52	43,55	8,45				
			σ Differenz			3,59				
MESSUNG 3				Dauerton Pegel dB(A)			DIN allgemeines Verf.			
					dB	Δ dB				
			7/ -10	61	56,91	4,09				
			7/ 0	66	57,01	8,99				
			7/ +10	57	56,91	0,09				
			7/ +20	55	52,69	2,31				
			7/ +30	52	51,04	0,96				
			7/ +40	50	49,97	0,03				
			7/ +50	48	49,17	1,17				
			7/ +60	50	48,40	1,60				
			7/ +80	52	48,12	3,88				
			7/ +100	53	48,51	4,49				
			σ Differenz			2,76				
			5/ 0	66	61,03	4,97				
			5/ +10	65	60,80	4,20				
			5/ +20	61	60,15	0,85				
			5/ +30	60	57,75	2,25				
			5/ +40	59	56,20	2,80				
			5/ +50	57	54,42	2,58				
			5/ +60	57	52,60	4,40				
			5/ +70	57	51,05	5,95				
			σ Differenz			3,50				
			6/ 0	64	54,65	9,35				
			6/ +10	57	54,59	2,41				
			6/ +20	59	54,41	4,59				
			6/ +30	60	51,75	8,25				
			6/ +40	56	50,64	5,36				
			6/ +50	59	49,34	9,66				
			6/ +60	60	48,47	11,53				
			6/ +80	52	46,62	5,38				
			σ Differenz			6,43				

MESSUNG 4								Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB				
Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB		Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB		7/ -10		57	56,91	0,09
5/ 0	68	61,03	6,97	6/ 0	60	54,65	5,35	7/ 0	61	57,01	3,99	7/ +10	56	56,91	0,91	
5/ +10	70	60,80	9,20	6/ +10	59	54,59	4,41	7/ +20	59	52,69	6,31	7/ +30	61	51,04	9,96	
5/ +20	68	60,15	7,85	6/ +20	59	54,41	4,59	7/ +40	56	49,97	6,03	7/ +50	53	49,17	3,83	
5/ +30	60	57,75	2,25	6/ +30	61	51,75	9,25	7/ +60	51	48,40	2,60	7/ +80	48	48,12	0,12	
5/ +40	64	56,20	7,80	6/ +40	57	50,64	6,36	7/ +100	54	48,51	5,49	ø Differenz		3,93		
5/ +50	58	54,42	3,58	6/ +50	56	49,34	6,66	ø Differenz		5,61	ø Differenz		3,93			
5/ +60	54	52,60	1,40	6/ +60	55	48,47	6,53									
5/ +70	55	51,05	3,95	6/ +80	52	46,62	5,38									
		ø Differenz		5,37												

MESSUNG 5								Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB	
Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB		Dauer- Pegel dB(A)		DIN allgemeines Verf. dB		DIN allgemeines Verf. ΔdB		Nebengeräusche durch Lärmspitzen	
8/ -15	69	60,41	8,59	9/ 0	57	51,02	5,98						
8/ -10	62	59,82	2,18	9/ +20	58	50,61	7,39						
8/ 0	62	59,51	2,49	9/ +40	53	49,01	3,99						
8/ +20	58	57,42	0,58	9/ +60	57	47,89	9,11						
8/ +40	57	52,21	4,79	9/ +80	54	45,45	8,55						
8/ +60	59	51,18	7,82	9/ +100	54	44,22	9,78						
8/ +80	53	47,95	5,05	9/ +120	56	42,21	13,79						
8/ +100	53	45,43	7,57	9/ +140	52	40,48	11,52						
8/ +120	55	43,45	11,55	9/ +160	60	38,01	21,99						
8/ +140	56	40,45	15,55	9/ +180	58	36,62	21,38						
8/ +160	55	38,89	16,12	9/ +200	56	34,64	21,36						
8/ +180	52	36,80	15,20	9/ +220	62	32,57	29,43						
8/ +200	58	34,47	23,53	ø Differenz		13,50							
8/ +220	57	32,57	24,43										
		ø Differenz		9,33									

ø Pegeldifferenz pro Messung der Nebenachsen

	DIN allgemeines Verf. ΔdB		DIN allgemeines Verf. ΔdB		DIN allgemeines Verf. ΔdB	
Messung 1	Achse2:	9,59	Achse3:	7,80	-	
Messung 2	Achse2:	6,67	Achse3:	3,59	-	
Messung 3	Achse5:	3,50	Achse6:	6,43	Achse7:	2,76
Messung 4	Achse5:	5,37	Achse6:	5,61	Achse7:	3,93
Messung 5	Achse8:	9,33	Achse9:	13,50	-	
		ø Differenz		6,51	ΔdB	
		ohne Achse 8 & 9		ø Differenz	5,53 ΔdB	



Dieses Projekt wird aus Mitteln
des Fonds für die Innere Sicherheit
der Europäischen Union kofinanziert.