

# **BACHELORARBEIT**

Herr Paul Robert Thomas

Empirische Ermittlung von Geräuschemissionen durch die Bewegung von Einkaufswagen

2020

Fakultät: Medien

# **BACHELORARBEIT**

# Empirische Ermittlung von Geräuschemissionen durch die Bewegung von Einkaufswagen

Autor/in: Herr Paul Robert Thomas

Studiengang: Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe: MG15wC

Erstprüfer: **Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübelt** 

Zweitprüfer: **Dipl.-Ing. Hannes Löschke** 

Einreichung: Mittweida, 17.04.2020

# **BACHELOR THESIS**

# Empirical determination of noise emissions by the movement of shopping carts

author:

Mr. Paul Robert Thomas

course of studies:

Media and Acoustical Engineering

seminar group:

MG15wC

first examiner:

Prof. Dr.-Ing. Jörn Hübelt

second examiner:

Dipl.-Ing. Hannes Löschke

submission:

Mittweida, 17.04.2020

#### Bibliografische Angaben

Thomas, Paul Robert:

Empirische Ermittlung von Geräuschemissionen durch die Bewegung von Einkaufswagen

Empirical determination of noise emissions by the movement of shopping carts

47 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2020

#### **Abstract**

Die Beurteilung der Schallabstrahlung von Parkplätzen an Einkaufsmärkten ist besonders im innerstädtischen Bereich ein essenzieller Bestandteil der Genehmigungsplanung. Als Datengrundlage dient dabei häufig die Parkplatzlärmstudie. Die Betrachtung der, durch die Bewegung von Einkaufswagen erzeugten, Rollgeräusche fehlt jedoch in dieser Untersuchung. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eben diese Geräuschquelle näher untersucht. Dabei wurde mit Hilfe von Schalldruckpegelmessungen und Verkehrszählungen eine empirische Datengrundlage für die Prognose der verursachten Schallemissionen von Einkaufswagen ermittelt. Dabei wurde ein Messverfahren nach DIN 45642 erprobt und auf die Ermittlung von Rollgeräuschen durch Einkaufswagenbewegungen erweitert. Mit diesen neu gewonnenen Erkenntnissen wird einerseits eine alternative Simulationsmethode zur Parkplatzlärmstudie für Schallimmissionsprognosen aufgezeigt, andererseits werden bisher angenommene Verhaltensweisen von Einkaufswagenmodell und Fahrbahnoberfläche in Bezug auf die Lärmentwicklung aufgezeigt.

Inhaltsverzeichnis II

# Inhaltsverzeichnis

Inh	naltsve	rzeichnis		II	
Αb	kürzur	ngsverzei	chnis	IV	
Fo	rmelve	erzeichnis	<u></u>	V	
Αb	bildun	gsverzeio	chnis	VI	
Та	bellenv	verzeichn	is	VII	
1	Einleitung				
	1.1	Allgemeiner Lärmschutz			
		1.1.1 1.1.2 1.1.3	Richtlinien für den städtebaulichen Lärmschutz	2	
2	Theoretische Vorbetrachtungen				
	2.1	Situation	nsbeschreibung	4	
	2.2	Strahler	modelle	5	
		2.2.1 2.2.2 2.2.3 2.2.4 2.2.5	Schallleistungspegel Punktquelle Linienquelle Flächenschallquelle Vergleich von Linienquellen	6 7	
	2.3	Ermittlung der Geräuschemissionen			
		2.3.1 2.3.2	Emissionsmessung nach DIN 45642Auswahl des Auswerteverfahrens	9	
	2.4	Messort		11	
		2.4.1 2.4.2	Bedingungen des Messortes Theoretischer Messaufbau		
	2.5	Verkehrsstärke M		14	
		2.5.1 2.5.2 2.5.3 2.5.4	Benötigte Parameter  Datenverwendung  Erhebungsvorgang  Auswahl der Messorte	15	
3	Messvorbereitung				
	3.1	Auswahl des Messortes			
	3.2	Auswahl der Messsysteme			
	3 3	Tactetra	ncka	10	

		3.3.1	Auswahl der Fahrbahnbeläge	20		
	3.4	Auswahl der Wagentypen				
4	Mess	Messung				
	4.1	Erster Me	24			
	4.2	Zweiter M	25			
	4.3	Besucher	26			
5	Ausw	27				
	5.1	Vergleich	27			
	5.2	Vergleich	27			
	5.3	Zeitlicher	Verlauf des Schalldruckpegels	28		
		5.3.1 5.3.2	GeräuschentstehungGlättung			
6	Ausw	ertung de	er Besucherzählungen	32		
	6.1	Interpreta	ation der Ergebnisse	33		
7	Anwe	Anwendung in der Praxis		34		
8	Untersuchung des Reflexionseinflusses			35		
	8.1	Interpreta	ation der Ergebnisse	36		
9	Einschränkung des zu messenden Dynamikbereiches			38		
	9.1	Theoretis	sche Überprüfung	38		
		9.1.1	Einfluss der Geschwindigkeit	39		
	9.2	Überprüf	ung mit den Messwerten	40		
	9.3	Ergebnisse4				
10		Diskussi	43			
	10.1	Vergleich der Fahrbahnoberfläche		43		
	10.2	Vergleich	n der Einkaufswagentypen	44		
11		Fazit und	d Ausblick	46		
Lite	eraturv	erzeichnis	S	XIV		
Anl	agen			xv		
Eig	enstär	ndigkeitse	rklärung	XVI		

# Abkürzungsverzeichnis

TA-Lärm Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm

RLS-90 Richtlinie für Lärmschutz an Straßen

Schall'03 Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen

PKW Personenkraftwagen

PLS Parkplatzlärmstudie

## **Formelzeichen**

P Schallleistung

p Schalldruck

v Schallschnelle

A Schall abstrahlende Fläche

 $L_w$  Schallleistungspegel

I Schallintensität

 $L_{t0}$  zeitbezogener Schalldruckpegel

 $L_{Aea}$  equivalenter Dauerschalldruckpegel

 $T_M$  Messzeit

T<sub>0</sub> Referenzzeit

 $L_{t0ges}$  gemittelter, zeitbezogener Schalldruckpegel

 $L_{t0,25m,4m}$  gemittelter, zeitbezogener Schalldruckpegel in 25m Entfernung und 4m

Höhe

 $L_{mE}$  Emissionspegel M Verkehrsstärke

 $L_{max}$  maximaler Vorbeifahrtspegel

v Geschwindigkeit

t Zeit s Weg

 $k_{PA}$  Zuschlag für Parkplatz mit Einkaufswagenbewegung

 $k_{5dB}$  Zuschlag für verminderten Dynamikbereich

Formelverzeichnis

# **Formelverzeichnis**

(1) Schallleistung	5
(2) Schallleistungspegel	5
(3) Schallintensität für eine Punktquelle	6
(4) Zusammenhang zwischen Schallintensität und dem Abstand zur Punktquelle	6
(5) Schallintensität für eine Linienquelle	6
(6) Zusammenhang zwischen Schallintensität und dem Abstand zur Linienquelle	7
(7) gemittelter, gemessener Vorbeifahrtspegel mit zeitlichem Bezug	9
(8) Mittelung der einzelnen, gemessenen Vorbeifahrtspegel mit Zeitbezug	10
(9) Umrechnung auf einen entfernteren Messpunkt	10
(10) Errechnung des Emissionspegel in Abhängigkeit zur Verkehrsstärke	10
(11) Umrechnung auf einen entfernteren Messpunkt	11
(12) Berechnung der maximal notwendigen Entfernung von Schallquelle und	
Messposition	13
(13) Berechnung der maximalen Länge der Messstrecke	14
(14) Dämpfung des Schalldruckpegels in Abhängigkeit zur Distanz zwischen Sender	r
und Empfänger	38
(15) Berechnung der Fahrzeit	40
(16) Mittelung der einzelnen Vorbeifahrtspegel mit Berücksichtigung der Korrektur in	n 5
dB Dynamikbereich	42

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messaufbau	13
Abbildung 2: asphaltierte Fahrbahn	20
Abbildung 3: gepflasterte Fahrbahn	21
Abbildung 4: Modell lärmarm	22
Abbildung 5: Modell Standard	22
Abbildung 6: Modell Schwerlast	23
Abbildung 7: ungeglätteter Schalldruckpegelverlauf eines Messdurchlaufes	29
Abbildung 8: geglättete, zeitliche Schalldruckpegelverläufe für Messungen mit	
ungeradem Messindex	30
Abbildung 9: geglättete, zeitliche Schalldruckpegelverläufe für Messungen mit g	eradem
Messindex	30
Abbildung 10: Position der simulierten, einzelnen Punktschallquellen (lila) und M	/lessort
	35
Abbildung 11: Schalldruckpegel (LAT)- und Reflexionspegelverlauf (Refl. Ant.) s	simuliert
	36
Abbildung 12 Simulierter theoretischer Pegel Verlauf bei Vorbeifahrt	39

Tabellenverzeichnis VII

# **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Ermittelte [Lt0ges] in Bezug auf Wagentyp und Fahrbahnbelag	27
Tabelle 2: ermittelte Verkehrsstärke pro Stunde bezogen auf den Einkaufsmarkttyp	33
Tabelle 3: Anzusetzende Emissionspegel [Lme] für Discountmärkte	34
Tabelle 4: Anzusetzende Emissionspegel [Lme] für Verbrauchermärkte	34
Tabelle 5: theoretisch ermittelter Fehleroffset	41
Tabelle 6: Vergleich des Fehleroffset für Wagentyp sowie Fahrbahnbelag	42
Tabelle 7: Differenz des [Lt0ges] zwischen Asphalt- und Pflasterbelag für den	
eweiligen Wagentyp	44
Tabelle 8:Differenzen der Emissionspegel [Lme] von Standard- und lärmarmen	
Einkaufswagen in Abhängigkeit des Fahrbahnbelages	45

Einleitung 1

# 1 Einleitung

Schall ist omnipräsent in unserem Leben. In jeder Lebenslage sind wir verschiedensten Schalleindrücken ausgesetzt. Dies kann gewollt oder ungewollt passieren. Sei es das Radio, welches im Supermarkt läuft um eine angenehme Atmosphäre für den Kunden zu erzeugen. Oder die Schallplatte, die man nach einem langen Arbeitstag auflegt, um sich ein wenig zu entspannen. Auch ist die Empfindung von Schall sehr subjektiv. Dies lässt sich am einfachsten mit den verschiedenen Musikgeschmäckern darlegen. Die eine Person hört persönlich lieber Popmusik und empfindet Rockmusik als störend, wenn nicht sogar als Lärm. Doch die Empfindung von Schall kann auch abhängig von der Tageszeit sein. Beispielsweise wird der Straßenverkehrslärm am Tag nicht so störend empfunden wie in der Nacht. Das grundlegende Problem, welches sich aus dieser Thematik ergibt, liegt darin, dass der Mensch auf Grund seiner Ortsgebundenheit, dem Schall, der als störend empfunden wird, nicht immer aus dem Weg gehen kann. Dies kann weitreichende gesundheitliche Auswirkungen zur Folge haben. Kurzzeitige Lärmeinwirkungen können beispielsweise Unkonzentriertheit, Einschlafstörungen oder Ermüdungserscheinungen zur Folge haben. Ist ein Mensch einer Lärmquelle über einen längeren Zeitraum ausgesetzt kann dies weitaus gravierendere Folgen haben. Es kann zu allgemeinen Schlafstörungen, Herz-Kreislauferkrankungen oder zu Depressionen führen<sup>1</sup>.

# 1.1 Allgemeiner Lärmschutz

Um Menschen vor Lärmeinwirkungen und den daraus resultierenden gesundheitlichen Beeinträchtigungen zu schützen gibt es verschiedene Gesetze, Richtlinien und Genehmigungsverfahren. Diese versuchen einen Großteil der Lärmemissionen zu kategorisieren und zu quantifizieren. Daraus werden dann Schutzkonzepte erarbeitet.

#### 1.1.1 Richtlinien für den städtebaulichen Lärmschutz

Im städtebaulichen Lärmschutz gibt es die TA-Lärm, in der Vorgaben und Empfehlungen zum Schutz vor Lärmemissionen empfohlen werden. Diese werden im Regelfall auch von den Behörden als Vorgabe in Genehmigungsverfahren für Neubauprojekte angesetzt. Des Weiteren gibt es die RLS90 welche für die Betrachtung für Lärmemissi-

\_

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> (Umweltbundesamt, 2015)

Einleitung 2

onen durch Straßenverkehr und die Schall'03, welche für Prognose von Schienenlärm herangezogen werden kann.

#### 1.1.2 Parkplatzlärmstudie

Für den Neubau von beispielsweise Einkaufsmärkten wird vom Umweltamt meist eine detaillierte Schallimmissionsprognose für den gesamten Betriebsablauf des Marktes gefordert. Dies ist Teil des Genehmigungsverfahrens, in dem geprüft wird, ob in der Planung alle relevanten Aspekte des Immissionsschutzes betrachtet und berücksichtigt sind. Dabei werden beispielsweise die Lärmemissionen der haustechnischen Anlagen, des Anlieferverkehrs und auch der Parkplatzbewegungen, welche sich aus An- und Abfahrt der PKW, und den Ein- und Ausstapelvorgängen an den Einkaufswagenboxen zusammensetzten, betrachtet. Für diese Lärmquellen wird als Anhaltspunkt die Parkplatzlärmstudie genutzt. In dieser wurden empirisch die Lärmemissionen der oben genannten Schallquellen betrachtet und die anzusetzenden Emissionspegel erarbeitet.

## 1.1.3 Schallimmissionsprognose

Diese Emissionspegel können dann in ein Immissionsmodell eingepflegt werden. Dabei werden auf einem Kartenauszug des zu bebauenden Gebietes, das Bauvorhaben und alle relevanten Wohnbebaungen sowie bereits vorhandene Lärmquellen wie beispielsweise Straßen- und Schienenverkehrsanlagen oder Industrieanlagen eingezeichnet. Im Anschluss werden die durch das Bauvorhaben, entstehenden Lärmquellen angesetzt. Dies erfolgt durch die Eintragung von Schallquellen, die mit einer spezifischen Schallleistung versehen werden. Wenn beispielsweise eine Abluftanlage simuliert werden soll, wird eine Punktschallquelle an dem Punkt eingezeichnet, an der später auch die tatsächliche Anlage stehen soll. Die nun anzugebende Schallleistung wird in diesem Fall aus dem Datenblatt des Herstellers entnommen. Die Daten werden durch genormte Messverfahren ermittelt. Neben der Schallleistung kann die theoretische Schallquelle auch mit einer spezifischen Richtcharakteristik und einem Spektrum versehen werden, um eine detailliertere Betrachtung der Schallabstrahlung zu ermöglichen.

Nachdem im Modell alle Gebäude und Schallquellen eingetragen wurden und mit den relevanten Eingangsdaten versehen wurden, kann nun geprüft werden, ob die angenommenen Lärmemissionen des Bauvorhabens die Richtlinien der TA-Lärm erfüllen. Dabei wird mittels einer Schallausbreitungsrechnung ermittelt, wie stark die nächste angrenzende Wohnbebauung, welche als schutzbedürftig gilt, von den neu entstandenen Lärmbelastungen betroffen ist. Für die Genehmigung ist nun ausschlaggebend,

Einleitung 3

dass die gesetzlich vorgeschriebenen Immissionsrichtwerte in den eventuell, angrenzenden Wohngebieten nicht überschritten werden. Wenn eine Überschreitung stattfindet, müssen lärmmindernde Maßnahmen erarbeitet werden. Wenn beispielsweise die Einfahrt auf einen Kundenparkplatz ausschlaggebend dafür ist, dass die schalltechnischen Grenzwerte überschritten werden, muss in Erwägung gezogen werden, die Einfahrt an einen anderen Ort zu verlegen. Ebenfalls können auch die Art der Fahrbahnbeläge eine Auswirkung auf die Lärmentwicklung haben. Die Auswahl eines speziellen Asphaltes oder Pflasters mit einer geringeren Geräuschentwicklung können demnach auch als Lärmminderungsmaßnahme angesehen werden.

Die Betrachtung der Rollgeräusche, die bei der Bewegung von Einkaufswagen entstehen, wird in dieser Studie allerdings nur durch den Korrekturterm  $[k_{PA}]$  berücksichtigt. Dieser sagt aus, dass auf asphaltierten Parkplätzen, welche von "lärmenden Einkaufswagen" befahren werden können, ein pauschaler Zuschlag von 3 bzw. 5 dB, je nach Art des Fahrbahnbelages, zuzugeben ist.<sup>2</sup>

Es ist aus der Erfahrung heraus allerdings durchaus zu vermuten, dass diese spezielle Geräuschart einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die gesamte Schallemission eines Parklatzes hat. Zumal die Stärke des Geräusches auch davon abhängt, wie viele Einkaufswagen auf einem solchen Parkplatz in einem bestimmten Zeitraum bewegt werden. Die folgende Abschlussarbeit wird sich genau mit diesen Geräuschemissionen befassen. Im Zuge dessen soll ermittelt werden, wie stark der tatsächliche Einfluss von Rollgeräuschen durch Einkaufswagenbewegung ist. Außerdem sollen die Emissionspegel von verschiedenen Einkaufswagentypen und Untergrundbelägen erfasst werden, um gegebenenfalls eine genauere Planungssicherheit und mögliche Lärmminderungsoptionen zu ermöglichen.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> (Möhler + Partner, beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik, 2007)

# 2 Theoretische Vorbetrachtungen

Um einen verlässlichen Ansatz für die Ermittlung der Emissionspegel von Rollgeräuschen, welche durch die Bewegung von Einkaufswagen verursacht werden, zu gewährleisten, muss im Vorfeld der gesamte Mess- und Auswertevorgang erarbeitet werden. Dies ist notwendig, um einen reibungslosen Messablauf und die Richtigkeit der resultierenden Ergebnisse zu gewährleisten.

# 2.1 Situationsbeschreibung

Zu aller erst muss die allgemeine Situation der Schallentstehung und -ausbreitung beschrieben werden.

Der allgemein zu betrachtende Vorgang besteht darin, dass der Einkaufswagen vom Nutzer aus der Einkaufswagenbox herausgezogen wird. Dieser Vorgang wird noch von der Parkplatzlärmstudie berücksichtigt<sup>3</sup>. Danach wird er im leeren Zustand über den Parkplatz geschoben, bis dieser den Eingang des Einkaufsmarktes erreicht. Die Ermittlung betrachtet quasi den Abschnitt von Einkaufswagenbox bis Einkaufsmarkteingang.

Da durch die Bewegung Geräusche entstehen, kann der Einkaufswagen als Geräuschquelle angenommen werden.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es sich bei dem zu betrachtenden Vorgang um eine Schallquelle handelt, welche auf einem Weg [l] bewegt wird.

Nun muss ein Ansatz gefunden werden, wie man die Geräuschquelle durch ein theoretisches Modell beschreiben kann.

\_

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> (Möhler + Partner, beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik, 2007)

#### 2.2 Strahlermodelle

In der grundlegenden Theorie gibt es drei Strahlermodelle, in die man Geräuschquellen einteilen kann:

- Punktschallquelle
- Linienschallquelle
- Flächenschallquelle

Alle drei Schallquellen benötigen als Grundlage einen Schallleistungspegel.

## 2.2.1 Schallleistungspegel

Der Schallleistungspegel  $[L_w]$  wird aus der Schallleistung [P] gebildet, welche in einem definierten Zeitintervall in den Raumwinkel abgegeben wird. Diese setzt sich aus dem Schalldruck [p], der Schallschnelle [v] und der Abstrahlfläche [A] zusammen<sup>4</sup>.

$$P = p \cdot v \cdot A \tag{1}$$

Der Schallleistungspegel ist somit der zehnfache, dekadische Logarithmus aus dem Verhältnis von Schallleistung zu einer Bezugsschallleistung  $P_0=1pW^5$ .

$$L_w = 10 \cdot lg(\frac{P}{10^{-12}W}) \, dB \tag{2}$$

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> (Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., 2006)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> (Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V., 2006)

#### 2.2.2 Punktquelle

Die Punktschallquelle beschreibt die Schallausbreitung, welche von einem festen Punkt ausgeht. Diese lässt beispielsweise mit einem gewöhnlichen Lautsprecher vergleichen. Dieser steht an einem festen Ort und gibt Schall in den Raum ab. Die Ausbreitung erfolgt annäherungsweise kugelförmig. Dabei wird eine bestimmte Schallleistung [P] auf einen bestimmten Abschnitt der Kugeloberfläche abgegeben. Dies lässt sich mittels der Schallintensität [I] erklären<sup>6</sup>.

$$I(r) = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{3}$$

Daraus ergibt sich die Abhängigkeit von Intensität zum Abstand:

$$I \sim \frac{1}{r^2} \tag{4}$$

J

e größer der Abstand [r] der Schallwelle zur Quelle wird, desto größer wird auch deren Oberfläche. Da die Fläche sich mit zunehmendem Abstand quadratisch vergrößert, hat dies zur Folge, dass der Schalldruckpegel um 6 dB pro Abstandsverdopplung abnimmt.

# 2.2.3 Linienquelle

Bei der Linienquelle stellt sich die Betrachtung durchaus komplexer dar. Hierbei wird der Schall von einer zylinderförmigen Oberfläche aus in den Raum hinein gestrahlt. Wenn man von einem unendlich langen Zylinder ausgeht, dann kann die Schallintensität mit folgender Formel 5 beschrieben werden.<sup>7</sup>

$$I(r) = \frac{P}{2\pi r} \tag{5}$$

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> (Prof. Dr. sc. nat. dipl. Phys. Christoph Zürcher, 2018)

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> (Prof. Dr. sc. nat. dipl. Phys. Christoph Zürcher, 2018)

Hier besteht die Abhängigkeit von Intensität zum Abstand wie folgt:

$$I \sim \frac{1}{r} \tag{6}$$

Hierbei stellt man fest, dass diesmal der Abstand [r] nicht quadratisch in die Schallintensität eingeht. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass der Schalldruckpegel bei einer Abstandsverdopplung nur um 3 dB abnimmt<sup>8</sup>.

## 2.2.4 Flächenschallquelle

Eine Flächenschallquelle beschreibt, wie schon im Namen erkennbar, eine Schallabstrahlung über eine bestimmte Fläche. Diese Quelle findet sich beispielsweise bei der Betrachtung von Lärmemissionen von Parkplätzen wieder. Hierbei stellt der Parkplatz die Fläche dar, welche mit einer gewissen Schallleistung  $[L_w]$  Geräusche abstrahlt.

Auf Grund dessen, dass es sich bei der Betrachtung, ähnlich wie beim Straßenverkehr, um eine bewegte Quelle entlang eines vorgegebenen Weges handelt, liegt es nahe, die zu betrachtende Quelle als Linienquelle zu beschreiben.

# 2.2.5 Vergleich von Linienquellen

Dabei muss jedoch beachtet werden, dass in der Praxis die Linienquelle, wie Sie in DEGA-Empfehlung 101 beschrieben wird, kaum Anwendung findet.

Vielmehr findet die Definition von Linienquellen nach ISO 9613-2 Verwendung. Hier wird die Linie durch eine Aneinanderreihung von Punktschallquellen realisiert. Dabei wird jeder einzelnen Punktschallquelle eine Schallleistung und eine Abstrahlcharakteristik zugeordnet.<sup>9</sup>

Dieses Modell wird auch als "Punktreihenquelle"<sup>10</sup> bezeichnet. Diese kommt der Eigenschaft einer Linienquelle sehr nahe. Entscheidend hierbei ist das Verhältnis vom Ab-

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> (Prof. Dr. sc. nat. dipl. Phys. Christoph Zürcher, 2018)

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 1999)

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> (Prof. Dr. sc. nat. dipl. Phys. Christoph Zürcher, 2018)

stand zwischen den einzelnen Punktstrahlern und dem Immissionsort. Wenn die Distanz zwischen Immissionsort und Punkschallquelle viel kleiner ist als die Distanz von Punktschallquelle, dann tritt eine theoretische Dämpfung um 6 dB bei Abstandsverdopplung auf. Grund dafür ist, dass bei solch kleinen Distanzen, der Einfluss der benachbarten Punktschallquellen noch zu gering ist. In diesem Bereich wirkt die Linienquelle quasi noch als Punktschallquelle.

Wenn sich nun der Abstand von Immissionsort zu Punktstrahler erheblich vergrößert, so dass der Abstand größer als die Distanz zwischen den benachbarten Punktstrahlern wird, können sich die einzelnen abgestrahlten Wellen ausreichend überlagern. Aus vielen einzelnen, sich kugelförmig ausbreitenden Wellen, wird dann bei ausreichendem Abstand eine einheitliche Wellenfront.

Dieses Verhalten wird in der ISO 9613-2 unter (4.c) beschrieben. Demnach wird die Bedingung aufgestellt, dass wenn der Abstand von zwei benachbarten Schallquellen mindestens doppelt so groß ist, als der Abstand zwischen einer Punktschallquelle und dem Immissionsort.<sup>11</sup>

# 2.3 Ermittlung der Geräuschemissionen

Nach dem ein theoretisches Modell gefunden wurde, mit dem sich das Rollgeräusch beschreiben lässt, muss nun ein Ansatz erarbeitet werden, mit dem die Schallleistungspegel für die Geräuschart ermittelt werden können. Dabei wurde sich an den, in der Parkplatzlärmstudie beschriebenen Emissionsmessungen orientiert.

# 2.3.1 Emissionsmessung nach DIN 45642

Wenn ein Straßenabschnitt in seiner Schallabstrahlung prognostiziert werden soll kann eine Emissionsmessung nach DIN 45642 durchgeführt werden. Da die Betrachtung von Straßenverkehrslärm ähnlich der von Rollgeräuschen ist, kann die Messvorschrift als eine verlässliche Ermittlungsart angesehen werden.

In dieser Norm wird der Emissionspegel durch Vorbeifahrtsmessungen ermittelt. Dabei muss eine Fahrstrecke definiert werden, auf der sich das Fahrzeug oder in diesem Fall der Einkaufswagen mit einer annähernd konstanten Geschwindigkeit entlang bewegt.

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 1999)

Mit einem Messmikrofon wird dann der Schalldruckpegel während der Vorbeifahrt aufgezeichnet.

Dabei ist es erforderlich eine ausreichende Anzahl von Vorbeifahrten zu messen, um einen verlässlichen Mittelungspegel zu erhalten.

Nachdem die einzelnen Vorbeifahrten zu einem Mittelungspegel zusammengefast wurden, kann durch ein Berechnungsverfahren ein Emissionspegel ermittelt werden.

#### 2.3.2 Auswahl des Auswerteverfahrens

In der Norm werden zwei Möglichkeiten zur Emissionsmessung aufgeführt. Beide weisen den gleichen Messaufbau auf, auch die Durchführung ist prinzipiell gleich. Der Einkaufswagen wird in beiden Varianten entlang dem definierten Fahrstreifen, am Mikrofon vorbei geschoben. In Ihrer Auswertung unterscheiden Sie sich jedoch. Dies hat Auswirkung auf die Gesamtdauer des Messvorganges und somit auch auf die Messbedingungen.

Um eine konkrete Messung durchführen zu können, ist also im Vorfeld für ein Auswerteverfahren wählen.

#### Emissionspegel aus Einzelereignispegel

Um die Messung ordnungsgemäß durchführen zu können, ist eine Bedingung im Messaufbau gegeben. Dabei muss das Rollgeräusch eine Differenz von mindestens 10 dB zum maximalen Vorbeifahrtspegel aufweisen. Dies setzt also voraus, dass die Länge des definierten Fahrstreifens im Vorfeld ausreichend dimensioniert wird.

Wenn die Messungen durchgeführt wurden, müssen zu aller erst die gemessenen Pegel auf eine definierte Zeiteinheit bezogen werden. Dies geschieht über folgende Beziehung:

$$L_{t0} = L_{Aeq} + 10 \lg \left(\frac{T_M}{T_0}\right) dB (A)$$
(7)

Dabei ist  $[T_M]$  die Messdauer und  $[T_0]$  die Zeit, auf die der gemessene Pegel  $[L_{Aeq}]$  bezogen werden soll.

Für die Wahl von  $[T_0]$  ist eine Betrachtung des weiteren Vorgehens sinnvoll. Die gemessenen Pegel stellen den Ausgangspunkt für die weitere Ermittlung des Emissionspegels dar, welcher in Abhängigkeit mit einer Verkehrsstärke steht. Dies wird im weiteren Verlauf in Formel (10) erläutert. Bei Verkehrsstärken ist es gängig, dass ein gewisses Verkehrsaufkommen pro Stunde angegeben wird. Daher ist es ratsam auch die gemessenen Pegel auf eine Stunde zu beziehen. Da sich die Messzeit auf einige Sekunden belaufen wird, muss für  $[T_0]$  3600 Sekunden eingesetzt werden. Dies entspricht einer Stunde.

Im Anschluss werden die ermittelten Pegel der Einzelereignisse, welche auf eine Stunde bezogen wurden,  $[L_{t0}]$  zu einem Gesamtpegel  $[L_{t0ges}]$  energetisch mit Formel (8) gemittelt.

$$L_{t0ges} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{0.1} \frac{L_{t0,i}}{dB} \right) dB$$
 (8)

Im nächsten Schritt wird der resultierende Gesamtpegel auf einen Aufpunkt in 25 m Entfernung und 4 m Höhe mit Formel (9) umgerechnet.

$$L_{t0,25m,4m} = L_{t0ges} - 6,8dB (9)$$

Mit dem letzten Schritt wird dann der Emissionspegel gebildet. Dies erfolgt über die Gleichung:

$$L_{mE} = 10 \lg \left(\frac{M}{h^{-1}}\right) dB + 10 \lg \left[10^{0.1} \frac{L_{t0.25m,4m}}{dB}\right] dB + 15,6 dB$$
 (10)

Dabei ist [M] die Verkehrsstärke.

#### Emissionspegel aus maximalem Vorbeifahrtspegel

Dieses Verfahren ist dem oberen relativ ähnlich. Allerdings muss die Differenz zwischen Maximalpegel und minimalem Vorbeifahrtspegel nur 5 dB betragen. Der erste Schritt der Auswertung erfolgt ebenfalls analog zu dem des Einzelereignispegels. Im zweiten Berechnungsschritt unterscheiden sich jedoch die beiden Verfahren.

$$L_{t0,25m,4m} = L_{max} - 10\lg\left(\frac{v}{\underline{km}}\right) - 12,3dB \tag{11}$$

Dabei wird der Maximalpegel durch Subtraktion mit einem Logarithmus der Geschwindigkeit und einer Konstanten, welches einen Korrekturtherm der Schallausbreitung darstellt und aus dem Schallausbreitungsmodell der RLS90 resultiert.<sup>12</sup>

Der dritte und letzte Berechnungsschritt erfolgt wieder analog zum Auswerteverfahren aus Einzelereignispegeln.

Da die Geschwindigkeit des Einkaufswagens nur rudimentär bestimmbar ist und es dadurch ebenfalls zu einem größeren Messaufwand kommen würde, wurde sich für die Emissionsmessung mit Einzelereignispegeln entschieden.

#### 2.4 Messort

Anhand der Vorgaben, die dieses Auswerteverfahren benötigt, können nun konkrete Bedingungen an den Messort gestellt werden.

# 2.4.1 Bedingungen des Messortes

Der Messort sollte vorzugsweise ein bereits bestehender Kundenparkplatz eines Einkaufscenters sein. Es muss eine ausreichende Anzahl an Einkaufswagen vorhanden

<sup>&</sup>lt;sup>12</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 2004)

sein. Außerdem ist es von Vorteil, wenn es eine Auswahl an verschiedenen Einkaufswagentypen gäbe. Dieses Kriterium ist jedoch weniger relevant.

Es muss sichergestellt werden, dass etwaige Fremdgeräusche den Messablauf und die Messwerterfassung nicht beeinträchtigen. Dabei muss beachtet werden, dass der minimal messbare Pegel 10 dB unterhalb des maximalen Vorbeifahrtspegel liegen muss. Ein zu messendes Signal ist dann ausreichend messbar, wenn die Differenz aus zu messendem Geräusch und Störgeräusch größer gleich 10 dB ist<sup>13</sup>. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Störgeräusch minimal 20 dB leiser als der maximale Vorbeifahrtspegel sein muss.

Des Weiteren muss der Kundenparkplatz möglichst eben und weitläufig sein, um ungewünschte Reflexionen von zu nahen Gebäudefassaden zu vermeiden. Außerdem wird somit sichergestellt, dass der Messfahrstreifen ausreichend lang dimensioniert werden kann. Dies ist wichtig, um die Mindestschallpegeldifferenz von 10 dB beim Messdurchlauf einhalten zu können.

#### 2.4.2 Theoretischer Messaufbau

Die DIN 45642 stellt einen detaillieren Messaufbau zur Verfügung. Dabei wird empfohlen, das Messmikrofon 7,5 m von dem im Vorfeld definierten Fahrstreifen entfernt zu positionieren. Die Höhe sollte dabei 1,2 m betragen<sup>14</sup>.

Der Schalldruckpegel wird mit einem Schallpegelmessgerät ermittelt. Dabei wird der Pegellauf [ $L_{Aeq}$ ] über die Messzeit [t] aufgezeichnet.

Die Länge der Fahrbahn ist so auszulegen, dass die Kriterien nach 2.4.1 mindestens eingehalten werden. Dabei wurde die minimal benötigte Länge der Fahrbahn errechnet.

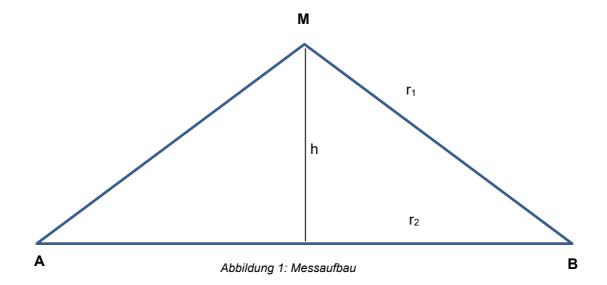
Wenn man Start-Position, Stop-Position und Messposition aus der Vogelperspektive betrachtet, erhält man ein gleichschenkliges Dreieck. (Siehe Abbildung 1: Messaufbau)

Dabei entspricht die Höhe [h] der Entfernung vom Messmikrofon zum Fahrstreifen, also 7,5 m.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 2004)

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 2004)

Dabei ist Punkt M die Mikrofonposition. Die Punkte A und B stellen die Start- bzw. Stopp-Position dar.



Die Länge der Kathete  $[r_1]$  entspricht der Entfernung von Messmikrofon und Start-Position. Also der Entfernung, bei der eine Mindestschallpegeldifferenz von 10 dB eingehalten wird.

Somit ergibt sich, dass die Hypotenuse  $[r_2]$  dem Weg entspricht, der zurückgelegt werden muss, um ein An- und Absteigen des Schalldruckpegels von 10 dB zu erreichen.

Anhand dieser Erkenntnisse kann mit Hilfe von Formel (12) die Mindestlänge der Fahrbahn ermittelt werden.<sup>15</sup>

$$r_1 = h \cdot 10^{\frac{L1 - L2}{10}} dB \tag{12}$$

R1 ist dabei der Abstand von Schallquelle zum Mikrofon, wenn der Vorbeifahrtspegel seinen Maximalwert erreicht, also 7,5 m.

Der Term [(L1-L2)] entspricht dem maximalen Anstieg bzw. Abfall des Schalldruckpegels an der Mikrofonposition. Für diesen Term wird 10 dB angenommen.

<sup>15 (</sup>Sengpiel)

Der Resultierende Wert  $r_1$  entspricht dem Abstand von Start- bzw. Endpunkt zur Mikrofonposition. Also der Hälfte der Hypotenuse, welche oben beschrieben wurde.

Die Länge von  $[r_2]$ , welche eine Hälfte der Teststrecke darstellt, kann nun aus den Werten von [h] und  $[r_1]$  ermittelt werden. Da  $[r_2]$  eine Kathete in einem rechtwinkligen Dreieck darstellt, kann für die Ermittlung von  $[r_2]$  der Satz des Pythagoras angewendet werden. Um die Gesamtlänge der Teststrecke zu erhalten, muss im Anschluss lediglich der resultierende Wert von  $[r_2]$  verdoppelt werden. Dies wird in folgender Formel beschrieben.

$$l = 2 \cdot \sqrt{r_2^2 - h^2} \tag{13}$$

Somit erhält man eine geforderte Gesamtlänge von 45m.

#### 2.5 Verkehrsstärke

Bei genauerer Betrachtung der wird ersichtlich, dass der resultierende Emissionspegel in direkter Abhängigkeit mit der Verkehrsstärke [M] steht. Die Verkehrsstärke, oder auch Bewegungshäufigkeit, beschreibt einen gewissen Durchfluss von Verkehrsobjekten über einen definierten Zeitraum. Die Abhängigkeit erscheint logisch, denn je mehr Einkaufswagen pro Stunde auf einem bestimmten Streckenabschnitt vorbeifahren, desto lauter muss auch der über eine Stunde gemittelte Schalldruckpegel werden.

# 2.5.1 Benötigte Parameter

Da in der Bayrischen Parkplatzlärmstudie nur Bewegungshäufigkeiten von PKW-Bewegungen auf Kundenparkplätzen von Einkaufsmärkten erhoben wurden, müssen eigene Datenerhebungen vorgenommen werden. Dies erfolgt in Form von Verkehrszählungen.

Doch ähnlich wie bei der Emissionsmessung, muss auch hier im Vorfeld definiert werden, welche Daten man erheben muss und wie Sie in Abhängigkeit mit anderen Bedingungen gebracht werden müssen.

Zunächst muss die Anzahl der Personen erhoben werden, welche den Einkaufsmarkt besuchen. Ebenfalls muss gezählt werden, wie viele von diesen Personen einen Einkaufswagen benutzen. Dadurch kann schon eine erste Abhängigkeit hergestellt werden.

Ebenfalls kann in Erwägung gezogen werden, einen Bezug auf die bereits bestehenden Bewegungshäufigkeiten der Bayrischen Parkplatzlärmstudie herzustellen. Dies kann durch eine Zählung der Personen realisiert werden, welche mit einem PKW den Einkaufsmarkt aufsuchen und einen Einkaufswagen benutzen. Somit ist ein Bezug zwischen Verkehrsstärke von PKW-Bewegungen und Einkaufswagennutzung hergestellt. Zudem können nebenbei auch die vorhandenen Verkehrsstärken auf Aktualität überprüft werden. Dies hätte allerdings zur Folge, dass die Datenerhebung durch eine direkte Befragung der Besucher realisiert werden muss. Eine einfache Zählung ist in diesem Fall nicht durchführbar, da dies voraussetzt, dass der Weg eines jeden Besuchers nachvollzogen wird. Auf Grund des eventuellen hohen Besucheraufkommens und der teilweise unübersichtlichen Lage der Parkplätze ist hier eine Zählung nicht gut durchführbar.

## 2.5.2 Datenverwendung

Da die resultierenden Daten für Prognosezwecke verwendet werden sollen, ist es wichtig die Ergebnisse in eine dafür passende Form zu bringen.

Zunächst spielen dabei zwei zeitliche Parameter eine Rolle. Da nach TA-Lärm unterschiedliche Betrachtungen von Tag- und Nachtzeitrauf von Nöten sind, ist es wichtig diese zwei relevanten Zeiträume auch für diesen Sachverhalt zu untersuchen. Laut TA-Lärm erstreckt sich der Tageszeitraum von 6 Uhr in der Früh bis 22 Uhr am Abend. Dabei gelten jeweils die beiden ersten Stunden (6:00 – 8:00) und die beiden letzten Stunden (20:00 – 22:00) bereits als Ruhezeiten. Von 22 Uhr bis 6 Uhr erstreckt sich dann der Nachtzeitraum.

Da im Nachtzeitraum die aller meisten Einkaufsmärkte geschlossen sind, muss die Betrachtung der Verkehrsstärke in diesem Zeitraum nicht berücksichtigt werden. Somit kann bereits eine Eingrenzung des Erhebungszeitraumes von 6 Uhr bis 22 Uhr erfolgen. Dies hat zur Folge, dass bei einer Prognose auch nur die Lärmemissionen berücksichtigt werden müssen, welche während des Tages entstehen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass nur ein Emissionspegel für den Tagzeitraum benötigt wird.

Anhand dieser Erkenntnisse kann angenommen werden, dass auch nur ein Gesamtwert für die Verkehrsstärke benötigt wird. Daraus ergibt sich auch, dass dieser Ge-

samtwert die mittlere Bewegungshäufigkeit für den gesamten Tageszeitraum abbilden muss.

## 2.5.3 Erhebungsvorgang

Um eine möglichst genaue Erhebung der Verkehrsstärke zu gewährleisten müsste theoretisch eine Verkehrszählung über den gesamten Öffnungszeitraum unternommen werden. Dieser erstreckt sich in dem meisten Fällen von ca. 7 Uhr bis ca. 21 Uhr. Dies stellt allerdings einen zu großen zeitlichen Aufwand dar. Daher müssen die Daten in sinnvollen Tageszeiten erhoben werden. Um zunächst eine grobe Einteilung vornehmen zu können liegt es nahe, den Öffnungszeitraum in drei Teilabschnitte (Morgen, Mittag und Abend) einzuteilen. Um den Zeitaufwand zu minimieren kann für jeden Teilabschnitt eine Erhebungsdauer von einer Stunde eingeplant werden. Dadurch kann bereits eine Trendkurve für die Bewegungshäufigkeit in Abhängigkeit zur Tageszeit realisiert werden.

Ähnlich wie in der Parkplatzlärmstudie ist es sinnvoll die Datenerhebung an verschiedenen Einkaufsmärkten zu wiederholen. Ausschlaggebende Parameter sind dabei die Lage und die Art des Einkaufsmarktes. Dies ermöglicht eine größere Variabilität der zu betrachtenden Situationen.

#### 2.5.4 Auswahl der Messorte

Auch bei den Messorten wurde sich wieder an der Bayrischen Parkplatzlärmstudie orientiert. Dabei wird sich speziell auf zwei Arten der untersuchten Einkaufszentren konzentriert. Dabei handelt es sich um kleine bzw. große Verbrauchermärkte sowie Discountmärkte bzw. Getränkemärkte.

Die Unterscheidung bei Verbrauchermärkten bezieht sich dabei auf die Nettoverkaufsfläche, welche in m² angegeben wird. Hierbei wird ein Verbrauchermarkt als klein definiert, solang die Nettoverkaufsfläche 5000 m² nicht überschreitet. Im Gegenzug wird ein Verbrauchermarkt als groß angesehen, wenn dieser Wert überschritten wird.<sup>16</sup>

Dieser Markt Typ ist sowohl im innerstädtischen Bereich als auch in städtischen Randgebieten sowie in ländlicheren Regionen aufzufinden.

<sup>&</sup>lt;sup>16</sup> (Möhler + Partner, beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik, 2007)

Ein Discountmarkt hingegen besitzt eine deutlich kleine Verkaufsfläche und sind vor allem im innerstädtischen Bereich anzutreffen.

Für die Datenerhebung wird der Fokus auf Discount- und kleine Verbrauchermärkte gelegt. Grund dafür ist, dass diese beiden Arten besonders häufig in Wohn- bzw. Mischgebieten aufzufinden sind. Also Gebieten, in denen besonders benachbarte Wohnbebauungen von den Schallimmissionen der Märkte betroffen sind.

# 3 Messvorbereitung

#### 3.1 Auswahl des Messortes

Bevor die Messungen erfolgen können, müssen potenzielle Messorte gefunden werden, die den Kriterien unter 2.4.1 gerecht werden.

Prinzipiell wurde nach Parkplätzen von Einkaufscentern gesucht. Diese verfügen meist über eine ausreichend große Parkplatzfläche. Außerdem ist die Auswahl an verschiedenen Einkaufswagenmodellen größer, welches den Messaufwand erheblich erleichtert. Der wichtigste Grund ist allerdings, dass solche Einkaufszentren auf Grund Ihrer Größe außerhalb der Städte gebaut wurden. Dies hat zur Folge, dass es erwartungsgemäß nur wenige eventuelle Störschallquellen gibt.

Nach einigen Recherchen standen zwei Einkaufszentren zur Auswahl:

- Globus Weischlitz
- Plauenpark Kauschwitz

Beide verfügen über einen sehr großen Kundenparkplatz und haben eine günstige Lage, welche nicht vielen potenziellen Lärmquellen ausgesetzt zu sein scheinen.

Um sicherzustellen, dass der geforderte Störgeräuschabstand gewährleistet werden kann, wurde im Vorfeld eine Grundgeräuschmessung durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass der Kundenparkplatz des Globus Marktes in Weischlitz nicht geeignet ist. Es wurde ein äquivalenter Dauerschallpegel von ca. 55 dB(A) gemessen. Ein Hauptteil der Lärmemissionen ist auf die Bundesautobahn 72 zurückzuführen, welche in südlicher Richtung in einer Entfernung von ca. 450 m verläuft.

Beim Parkplatz des Einkaufscenters Plauenpark in Kauschwitz ist dies nicht der Fall. Hier verläuft die Bundesstraße 92 in nord-östlicher Richtung und einer Entfernung von ca. 180 m. Da Bundesstraßen in der Regel ein geringeres Verkehrsaufkommen als Autobahnen aufweisen, wurde davon ausgegangen, dass auch die Störgeräuschemissionen bedeutend niedriger sind. Dies wurde auch durch eine ebenfalls durchgeführte Grundgeräuschmessung bestätigt. Hier lag der  $[L_{Aeq}]$  im Durchschnitt bei ca. 40 dB(A).

Aufgrund dieser Vorbetrachtungen wurde sich schlussendlich für den Kundenparkplatz des Plauenpark Einkaufscenter entschieden.

3.2 Auswahl der Messsysteme

Laut den Vorgaben der DIN 45642 müssen neben dem zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels auch Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung sowie Geschwindigkeit des bewegten Objektes aufgezeichnet werden<sup>17</sup>. Die Lufttemperatur wurde mit Hilfe eines herkömmlichen Thermometers ermittelt. Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden mit einem Windmesser stichprobenartig über den gesamten Messzeitraum ermittelt. Die Geschwindigkeit des Einkaufswagens wurde durch ein portables, GPS gestütztes Ortungssystem gemessen.

Für die Aufzeichnung des zeitlichen Schalldruckpegelverlaufes wurde ein Handschallpegelmesser der Firma Casella genutzt. Dieser ist Bauartgeprüft und besitzt die Qualitätsklasse 1. Die Schalldruckpegel werden im Messgerät über einen Zeitintervall von 100 ms gemittelt und über die spektrale A-Gewichtung bewertet. Der kurze Mittelungszeitraum wird so gewählt, dass der zeitliche Schalldruckpegelverlauf möglichst genau dargestellt werden kann. Außerdem ist eine Mittelung über einen größeren Zeitintervall immer noch möglich.

#### 3.3 Teststrecke

Für eine ordnungsgemäße Durchführung der Messreihen, ist es notwendig einen ausreichend langen Streckenabschnitt zu finden, der als Teststrecke dienen kann. Dabei ist es wichtig, dass die Beschaffenheit des Untergrunds ausreichend homogen ist. Dies bedeutet, dass der Fahrbahnbelag über die gesamte Länge der Teststrecke aus einem Material besteht. Ebenfalls muss die Beschaffenheit des Fahrbahnbelages in einem ausreichend repräsentativen Zustand sein. Also keine Fehlerstellen wie etwa Schlaglöcher, Risse oder ähnliches aufweisen.

Die Teststrecke sollte ebenfalls in einer ausreichenden Entfernung zu etwaiger Bebauung festgelegt werden, da eventuelle Reflexionen an Gebäudefassaden oder anderen schallharten Oberflächen, die Messergebnisse beeinflussen können.

Aus diesen Anforderungen heraus wurde am Messort ein Streckenabschnitt definiert, der alle geforderten Kriterien erfüllt.

<sup>&</sup>lt;sup>17</sup> (Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI, 2004)

3.3.1 Auswahl der Fahrbahnbeläge

Einen ebenso großen Einfluss, wie die Bauart des Wagens, hat auch die Beschaffenheit des Fahrbahnuntergrundes. Um den Einfluss des Untergrundes auf das Rollgeräusch abschätzen zu können, müssen alle zu betrachtenden Wagentypen auf verschiedenen Fahrbahnbelägen gemessen werden. Dabei ist es von Vorteil, wenn Materialien verwendet werden, die möglichst häufig auf Kundenparkplätzen anzutreffen sind. Dabei ist die Auswahl auf einen Asphaltbelag und einen Pflasterbelag gefallen.



Abbildung 2: asphaltierte Fahrbahn

Die hier untersuchten Pflastersteine gehören zur Gattung der Betonpflastersteine und besitzen keine Fase. Dies bedeutet, dass die Kanten spitz aufeinander zulaufen. Die Fugenbreite beläuft sich hierbei auf  $3-5\,\mathrm{mm}$ .



Abbildung 3: gepflasterte Fahrbahn

# 3.4 Auswahl der Wagentypen

Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Einkaufswagentypen zu gewährleisten ist es notwendig, eine Vorauswahl an verschiedenen Einkaufswagenmodellen zu treffen.

Dabei wurden drei Einkaufswagenmodelle festgelegt, welche sich in Bauart, Alter und Nutzungsart unterscheiden.

Das erste Modell ist von der Firma Wanzl, aus dem Jahr 2013 und trägt die Bezeichnung SW140. Die maximale Beladung beträgt 190 kg. Korb und Bodenrost sind aus Metall gefertigt. Die Rollen, der ausklappbare Kindersitz und die Griffe sind dagegen aus Kunststoff. An den Stellen, wo bewegliche Metallteile aufeinanderprallen können, sind Stoßdämpfer aus Kunststoff angebracht.



Abbildung 4: Modell lärmarm

Das zweite Modell hat die Bezeichnung GE155BTC von der Firma J.D.Geck GmbH. Das Baujahr dieses Wagens beziffert sich auf 2018. Die maximale Beladung beträgt 193 kg. Ähnlich zum ersten Modell bestehen auch hier Korb und Bodenrost aus Metall. Auch Kindersitz, Rollen und Griffe sind aus Kunststoff. Allerdings fehlen die Kunststoffstoßdämpfer.



Abbildung 5: Modell Standard

Das dritte Modell mit der Bezeichnung GD3 und dem ist ebenfalls von der Firma J.D.Geck GmbH. Allerdings handelt es sich hierbei um einen Lastenwagen, der eine maximale Beladung von 400 kg gewährleistet. Hier gibt es ebenfalls keine Stoßdämpfer.



Abbildung 6: Modell Schwerlast

Messung 24

# 4 Messung

Da nun alle relevanten Details für den Messvorgang betrachtet wurden und ein Messaufbau und die Messdurchführung im Vorfeld erarbeitet wurden, kann nun die tatsächliche Messung stattfinden.

Bei einer ersten Erkundung des Parkplatzes kam es vermehrt zu stärkeren Windböen. Dabei fiel auf, dass durch die auf dem Gelände befindlichen Fahnenstangen, starke Geräusche zu vernehmen waren, welches durch das Flattern der Fahnen im Wind erzeugt wurde. Unter solchen Bedingungen kann eine möglichst ungestörte Messung der Einzelereignisse nicht stattfinden, da durch die "Flattergeräusche" der Fahnen ein zu hohes Störsignal emittiert wird. Dieses Geräusch würde die Ergebnisse der Schalldruckpegelmessungen erheblich verfälschen.

Deshalb mussten bei der Auswahl eines Messtermines auch die meteorologischen Bedingungen mit einbezogen werden.

#### 4.1 Erster Messdurchlauf

Die erste Messreihe wurde am 07.12.2019 ab 22:00 Uhr durchgeführt. Der späte Messzeitpunk ist nötig, da ab 22:00 alle Geschäfte des Einkaufscenters geschlossen sind. Dies stellt sicher, dass der Messvorgang nicht durch etwaige PKW Bewegungen durch Kunden oder Mitarbeiter gestört wird.

Zum Messzeitpunk hatte die Umgebungsluft eine Temperatur von 2,4°C und der Wind wehte mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 1 m/s aus süd-süd-westlicher Richtung.

Es wurden zunächst die Wagentypen auf Asphaltbelag untersucht. Als Teststrecke wurde ein asphaltierter Fahrbahnabschnitt verwendet.

Zunächst wurde entlang der mittleren Fahrbahnachse eine Linie aufgezeichnet. Diese stellt die Referenzlinie dar, die der Einkaufswagen bei jeder Messung passieren muss. Außerdem wurde anhand der Referenzlinie der Abstand zur Mikrofonposition abgemessen und das Messmikrofon, wie in Punkt 2.4.2 beschrieben, in einer Entfernung von 7,5 m zur Referenzlinie aufgestellt.

Im Anschluss wurde der erste Wagentyp gemessen. Dabei handelt es sich um das Model SW140 der Firma Wanzel. Die Geschwindigkeit, mit der der Wagen bewegt wurde, betrug 5 m/s.

Messung 25

Bei den Messdurchläufen wurde festgestellt, dass der Straßenverkehrslärm der naheliegenden Bundesstraße durchaus Auswirkungen auf die Messergebnisse hat. Zu diesem Messzeitpunkt wurde der Straßenverkehrsfluss durch eine stationäre Lichtsignalanlage reguliert. Folglich war es notwendig, dass jeder Messvorgang erst dann stattfindet, wenn alle Kraftfahrzeuge die Lichtsignalanlage passiert haben. Dies verzögerte den Messablauf zwar merklich, jedoch hat sich diese Methode als sehr effektiv erwiesen. Da in periodischen Abständen keine Fahrzeuge auf der Straße verkehrten, ermöglichte dies eine annähernd störgeräuschfreie Aufzeichnung des Messvorganges.

Falls wiedererwartend doch ein Messvorgang durch ein vorbeifahrendes KFZ gestört wurde, konnte diese Messung natürlich nicht verwendet werden und musste erneut durchgeführt werden.

Insgesamt wurden fünfzehn Messdurchläufe mit dem Modell SW140 durchgeführt.

Die beiden folgenden Wagentypen wurden analog zum ersten Modell vermessen. Allerdings wurden diese bloß jeweils zehn Messdurchläufen unterzogen. Dies begründet sich darauf, dass diese beiden Modelle deutlich lautere Rollgeräusche aufwiesen als der erste Wagentyp. Dies vergrößerte den Störabstand zum Grundgeräuschpegel bzw. zu eventuellen Störgeräuschen. Dadurch wird auch die Messsicherheit vergrößert.

#### 4.2 Zweiter Messdurchlauf

Die zweite Messreihe wurde am 14. Februar 2020 ab 22:00 Uhr durchgeführt. Diesmal wurde eine Umgebungstemperatur von 3,9°C und Wind mit durchschnittlich 0,7 m/s aus süd-westlicher bis süd-süd-westlicher Richtung festgestellt.

Analog zur ersten Messreihe wurden auch hier die Rollgeräusche der drei Einkaufswagentypen erfasst, welche bereits unter 3.4 beschrieben wurden. Auch der Messvorgang wurde identisch wiederholt. Der einzige Parameter, der verändert wurde, war der Untergrundbelag. Die Einkaufswagen wurden diesmal auf Pflaster bewegt. Die meteorologischen Bedingungen wurden diesmal mit einer Wetterstation der Firma Renkforce ermittelt. Diese beinhaltet Apparaturen für die Messung von Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Die erfassten Daten werden von der Wetterstation an ein Display übermittelt, an dem man die aktuellen Werte ablesen kann. Dies ermöglicht eine bessere und einfachere Überwachung der meteorologischen Einflüsse.

Anders als beim ersten Messvorgang, gab es keine temporäre Lichtsignalanlage an der angrenzenden Bundesstraße. Dies hatte zur Folge, dass es zu einem konstanten

Messung 26

Verkehrsfluss kam. Dieser war zwar, der Tageszeit entsprechend, gering, allerdings fehlten nun die Rotphasen, in denen der Verkehr gestoppt wurde. Diese waren allerdings sehr hilfreich, um abzuschätzen wann es zu erneuten Verkehrsbewegungen kommen wird und wann der Verkehr stillstehen wird. Daraus ergab sich schlussendlich das Problem, dass es zu einer erhöhten Zahl an fehlerhaften Messungen kam, da die Schallemissionen von plötzlich vorbeifahrenden Kraftfahrzeugen das Messsignal deutlich beeinflussten. Erschwert wurde dies zusätzlich dadurch, dass die Rollgeräusche der Einkaufswagen auf gepflastertem Untergrund, unerwarteterweise leiser waren als im Vorfeld angenommen.

Wie bereits unter Punkt 2.4.1 erwähnt, ist es notwendig, dass zwischen zu messendem Signal und Hintergrundgeräuschen beziehungsweise Störsignalen eine Pegeldifferenz von mindestens 10dB herrscht. Wenn das Messsignal leiser wird, müsste logischerweise auch das Hintergrundgeräusch gleichermaßen leiser werden. Andernfalls würde sich der Abstand zwischen Mess- und Störsignal verringern. Dadurch vergrößert sich wiederum der relative Fehler, da sich beide Schalldruckpegel addieren.

Da es in diesem Fall allerdings keinerlei Möglichkeit gab, die Hintergrundgeräusche zu beeinflussen, musste umso mehr darauf geachtet werden, dass es in dem Zeitraum der tatsächlichen messtechnischen Erfassung der Schalldruckpegel zu keinen Verkehrsbewegungen auf der Bundesstraße kam.

Anders wie bei der ersten Messreihe, wurden pro Wagentyp, auf Grund von Störgeräuschen, zehn Messungen durchgeführt.

# 4.3 Besucherzählung

Die Besucherzählung zur Ermittlung der Bewegungshäufigkeit wurde am 10.03.2020 durchgeführt. Der gesamte Erhebungszeitraum erstreckte sich von 10:30 bis 19:00 Uhr. Dabei wurden insgesamt sechs Discountmärkte und drei kleine Verbrauchermärkte untersucht. Bei der Zählung wurden über einen Zeitraum von einer halben Stunde die Besucherzahlen ermittelt. Außerdem wurde bei der Zählung die Anzahl der Personen, welche einen Einkaufswagen nutzen ermittelt. Alle Zählungen wurden im Großraum Leipzig durchgeführt. Die Zählung erfolgte händisch.

## 5 Auswertung der Einzelereignismessungen

Die Auswertung der schalltechnisch ermittelten Einzelereignisse erfolgte zunächst gemäß den Auswertungsvorschriften nach DIN 45642, welche bereits unter 2.3.2 Emissionspegel aus Einzelereignis beschrieben wurden. Dabei wurde die Auswertung durch das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel vorgenommen.

	Lärmarmer	Standard-	Schwerlast-
	Wagen in dB	Wagen in dB	Wagen in dB
Asphalt	34,12	39,93	37,27
Pflaster	32,60	32,84	25,75

Tabelle 1: Ermittelte [ $L_{t_0 ges}$ ] in Bezug auf Wagentyp und Fahrbahnbelag

### 5.1 Vergleich der Einkaufswagentypen

Aus dem Vergleich der verschiedenen Einkaufswagentypen ist ersichtlich, dass der Einkaufswagen der Firma Wanzel den geringsten Emissionspegel aufweist. Danach folgt der Schwerlastwagen. Den höchsten Emissionspegel wird dem Einkaufswagen der Firma J.D. Geck GmbH zugeordnet.

Das Modell der Firma Wanzel besitzt, wie bereits unter 3.4 erwähnt, kleine Stoßdämpfer aus Kunststoff. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen wider, da diese Art von Stoßdämpfern bei dem Wagenmodell von J.D. Geck GmbH fehlen.

Daraus kann schlussfolgernd gesagt werden, dass durchaus ein Zusammenhang zwischen Aufbau des Einkaufswagens und der höhe des emittierten Schalldruckpegels hergestellt werden kann. Allerdings sind im Zuge der Auswertung auch einige Besonderheiten zum Vorschein getreten.

## 5.2 Vergleich der Fahrbahnbeläge

Untersucht man den ermittelten Emissionspegel eines Einkaufswagens auf den zwei betrachteten Oberflächen, ist zunächst sichtbar, dass der Pflasteruntergrund bei jedem Modell eine Verminderung des Pegels bewirkt. Dies bedeutet zunächst, dass entgegen der Parkplatzlärmstudie, Pflasteroberflächen zu einer Erhöhung der Geräuschentwick-

lung führen. Vielmehr muss auf die Beschaffenheit der gepflasterten Fahrbahn eingegangen werden.

Es wird allerdings auch sichtbar, dass die Dämpfung für jedes Modell sehr unterschiedlich ist. Beim Einkaufswagen der Firma Wanzel ist die geringste Emissionspegelminderung zu verzeichnen. Das äquivalente Wagenmodell der Firma Decker weist zwar bei beiden Fahrbahnoberflächen einen höheren Emissionspegel auf, jedoch wird dieser auf der Pflasterfahrbahn deutlich stärker gedämpft.

### 5.3 Zeitlicher Verlauf des Schalldruckpegels

Bei den Betrachtungen des zeitlichen Verlaufes des Schalldruckpegels wird deutlich, dass eine Darstellung eines gleichmäßig ansteigenden und abfallenden Schalldruckpegels nur sehr schwer erkennbar ist. Dies liegt an der sehr feinen zeitlichen Auflösung des Schalldruckpegels in Abhängigkeit zur Zeit. Es ist zu erkennen, dass das Geräusch aus vielen einzelnen Spitzenpegeln besteht. Dies ist dadurch zu erklären, wie die Geräusche entstehen. Dieses Phänomen wird in den Abbildungen 7 und 8 ersichtlich.

### 5.3.1 Geräuschentstehung

Dies hat zwei Hauptfaktoren. Zum Ersten weist der Untergrund, auf dem der Wagen bewegt wird, zahlreiche Unebenheiten auf. Aus der Ferne wirken die meisten Fahrbahnbeläge relativ eben. Bei einer genaueren Betrachtung fällt allerdings auf, dass die strukturelle Beschaffenheit von Asphalt oder Pflaster durch kleine Löcher und Erhebungen gekennzeichnet ist. Wenn ein Einkaufswagen nun über diese Oberfläche gerollt wird, sorgen diese Löcher und Erhebungen für eine Auf- und Ab-Bewegung des Wagens. Er wird quasi in Vibration versetzt. Doch dieser Fakt allein reicht nicht aus, um die Entstehung des spezifischen Rollgeräusches zu erklären.

Dafür muss der Aufbau der untersuchten Einkaufswagen näher betrachtet werden. Neben dem Metallkorb und den Rollen verfügen die beiden ersten Wagentypen zusätzlich über einen Kindersitz, welcher sich an der Außenwand des Korbes befindet. Dieser ist ein- und ausklappbar und somit ein bewegliches Bauelement. Ebenfalls verfügen viele Modelle über einen zusätzlichen Rost unterhalb des Korbes. Dieser ist ebenfalls beweglich gelagert, da dies ein widerstandsfreieres Ein- und Ausstapeln ermöglicht.

Wenn nun der Wagen durch die Rollbewegung in Vibration versetzt wird, dann überträgt sich die Vibration auch auf die beweglich gelagerten Bauteile. Durch diese Vibration schlägt beispielsweise der Kindersitz immer wieder gegen die Außenwand des Metallkorbes. Durch dieses Aufschlagen entsteht nun das "Rollgeräusch", welches als "Knallen" oder "Klackern" wahrgenommen wird. Dieses Geräusch zeichnet sich auch im Schaldruckpegelverlauf ab. Dies wird in Abbildung 7 ersichtlich.

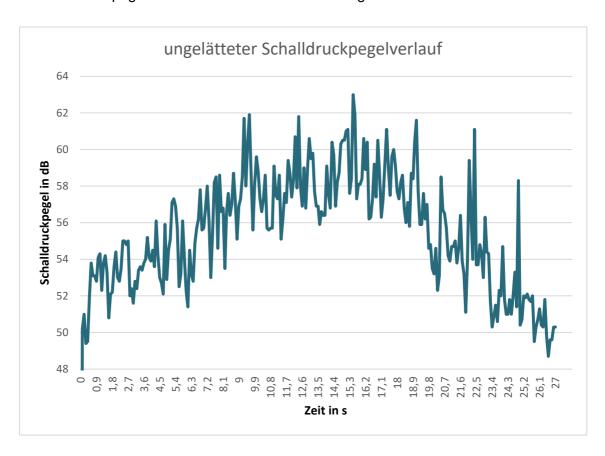


Abbildung 7: ungeglätteter Schalldruckpegelverlauf eines Messdurchlaufes

### 5.3.2 Glättung

Um das gleichmäßigere Ansteigen und Abfallen des Schalldruckpegels sichtbar zu machen, ist es nötig, den Originalverlauf mathematisch zu glätten. Dies wurde über eine exponentielle Glättung realisiert.

Die geglätteten Pegelverläufe offenbaren ein interessantes Verhalten. Es wird beobachtet, dass sich die einzelnen Messungen in zwei Muster einteilen lassen. Das erste Muster ist durch einen stark ansteigenden und einen mäßig abfallenden Schalldruckpegel gekennzeichnet. Beim zweiten Muster ist dieses Verhalten genau invers zum Ersten. Der Pegel steigt mäßig an und fällt danach stark ab.

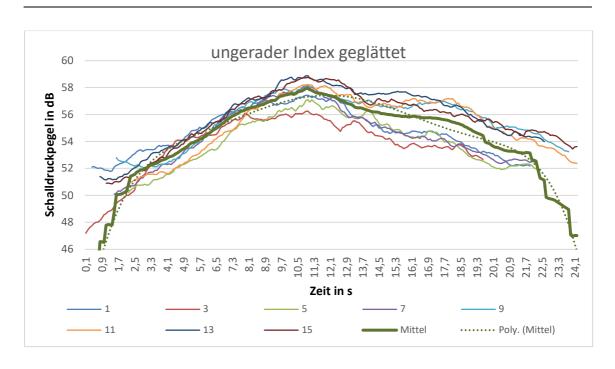


Abbildung 8: geglättete, zeitliche Schalldruckpegelverläufe für Messungen mit ungeradem Messindex

Um ausschließen zu können, dass es sich nicht etwa um stochastische Fehler handelt, wurden alle einzelnen Messkurven des jeweiligen Musters auf den Zeitpunkt des maximalen Vorbeifahrtpegels synchronisiert und im Anschluss energetisch, zu einer Gesamtkurve gemittelt. Im Zuge dessen ist deutlich, dass interessanterweise das erste Verhalten nur auf Messungen mit einem geraden Index zutrifft. Das zweite Muster betrifft wiederum nur Messungen mit einem ungeraden Index zu.

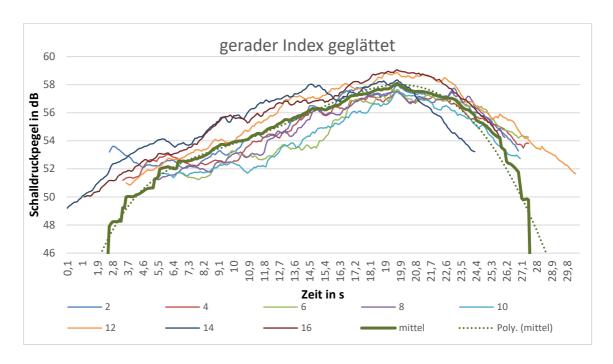


Abbildung 9: geglättete, zeitliche Schalldruckpegelverläufe für Messungen mit geradem Messindex

Dies beweist, dass es sich hierbei nicht nur um ein zufällig auftretendes Phänomen handelt, sondern es einen tieferen Zusammenhang geben muss. Ein weiterer Grund für diese Annahme ist, dass das Messobjekt bei Messreihen mit ungeradem Index immer von Ost nach West bewegt wurden. Bei Messreihen mit ungeradem Index war dies genau umgedreht der Fall.

Der erste Ansatz, um dieses Verhalten zu erklären war, dass es eine richtungsabhängige Geräuschabstrahlung besteht. Wenn angenommen wird, dass der Einkaufswagen bei der Bewegung mehr Schall in Bewegungsrichtung abgibt, wird ausgehend von der Startposition, der größere Teil der Schallenergie in Richtung abgestrahlt. Mit abnehmender Distanz zur Mikrofonposition steigt der Schalldruckpegel kontinuierlich an. Nach dem der Wagen das Schalldruckpegelmessgerät passiert hat, wird der größere Anteil der Schallenergie vom Mikrofon weg abgestrahlt. Dies hat zur Folge, dass bei der zunehmenden Entfernung zwischen Messgerät und Wagen, der Schalldruckpegel an der Messposition schneller abfallen müsste, als wenn sich das Messobjekt auf das Mikrofon zubewegt. Dies erklärt das zweite Muster. Jedoch lässt sich das Verhalten im ersten damit nicht erklären, da die Einkaufswagen bei jeder Messung immer in Richtung der Messposition geschoben wurden.

Auf Grund dieser Erkenntnisse ist anzunehmen, dass dieses Verhalten auf die eher räumliche Situation zurückzuführen ist.

Wenn man das Luftbild des Messortes betrachtet stellt man fest, dass der östliche Flügel des Einkaufszentrums in Richtung des Parkplatzes abknickt. Dadurch ist es durchaus denkbar, dass ein Teil des abgestrahlten Schalls an der Gebäudefassade in Richtung der Messposition reflektiert wird.

Wenn man annimmt, dass das Messobjekt aus der Richtung des abknickenden Gebäudeabschnittes startet, so wird anfangs ein gewisser Anteil der abgestrahlten Schallenergie durch Reflexion zum Mikrofon zurückgeworfen. Wenn sich der Wagen nun in Richtung Messposition bewegt vergrößert sich der Abstand zur abknickenden Gebäudefassade. Der Einfluss des reflektierten Schalls nimmt also ab. In entgegengesetzter Richtung ist anfangs der Einfluss des reflektierten Schalls sehr gering. Dieser wächst allerdings, wenn sich der Einkaufswagen in Richtung Messmikrofon bewegt. Der Schalldruckpegel beginnt stark anzusteigen und fällt nach passieren der Messposition mäßig ab, da nun der Anteil des reflektierten Schalldruckes den Schalldruckpegel am Messort beeinflusst. Dies kann einen Erklärungsansatz für das anfangs mäßige ansteigen und zum Ende hin starke abfallen des Schalldruckpegels bieten.

# 6 Auswertung der Besucherzählungen

Alle ermittelten Besucherzahlen wurden zunächst mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogrammes Microsoft Excel digitalisiert und ausgewertet. Dabei wurde von vorn herein die Unterscheidung zwischen Discount Mark und kleinem Verbrauchermarkt berücksichtigt.

Dabei werden zunächst alle gezählten Besucher ohne und mit Einkaufswagen je betrachtetem Markt eingetragen. Danach muss aus diesen beiden Werten die Gesamtbesucherzahl für den jeweiligen Markt errechnet werden.

Im Anschluss werden die Werte der einzelnen Märkte zusammengefasst. Dies geschieht für Märkte, die der Kategorie Discountmarkt bzw. kleiner Verbrauchermarkt angehören. Somit wird also eine Gesamtbesucherzahl gebildet, die sich ebenfalls aus den Besucherzahlen mit und ohne Einkaufswagen. Aus diesen Ergebnissen können nun die prozentualen Anteile der Einkaufswagennutzung ermittelt werden.

Der geforderte Wert der Verkehrsstärke bezieht sich auf einen Zeitraum von einer Stunde. Der Erhebungszeitraum der Zählung erstreckte sich allerdings nur über eine halbe Stunde. Somit ist es notwendig, zunächst einen Mittelwert der Gesamtbesucheranzahl zu bilden. Dies erfolgt, indem die gesamten Besuche einer Marktkategorie in das Verhältnis mit der Anzahl der jeweils untersuchten Märkte gebracht werden. Daraus ergibt sich eine Verkehrsstärke für Discount Märkte und kleine Verbrauchermärkte. Diese Verkehrsstärke bezieht sich allerdings immer noch auf eine halbe Stunde. Deshalb muss der resultierende Wert im Anschluss noch mit dem Faktor 2 multipliziert werden.

Diese errechnete Verkehrsstärke bezieht sich zunächst noch auf die Gesamtbesucherzahl. Um eine schlussendliche Aussage über die Nutzung von Einkaufswagen zu erhalten, muss die Gesamtverkehrsstärke mit dem prozentualen Anteil der Einkaufswagennutzung multipliziert werden.

Verkehrsstärke [ $M$ ] in $h^{-1}$	Discountmarkt	Verbrauchermarkt
Gesamt	97	163
Mit Einkaufswagen	19	66
Ohne Einkaufswagen	78	97

Tabelle 2: ermittelte Verkehrsstärke pro Stunde bezogen auf den Einkaufsmarkttyp

### 6.1 Interpretation der Ergebnisse

Nach der vollständigen Auswertung der Besucherzahlen wird festgestellt, dass in kleinen Verbrauchermärkten die prozentuale Nutzung von Einkaufswagen und das allgemeine Besucheraufkommen pro Stunde höher ist als in Discountmärkten.

Dies kann vor allem auf die Größe der Märkte und die damit verbundene Auswahl des Sortiments zurückgeführt werden. Discountmärkte haben neben einer kleineren Nettoverkaufsfläche auch oft ein kleineres Sortiment, welches sich vor allem auf Lebensmittel, alltägliche Hygieneprodukte und Haushaltsmittel fixiert.

Bei Verbrauchermärkten ist die Vielfalt des Sortiments wesentlich größer. Dies liegt wahrscheinlich auch daran, dass einem Verbrauchermarkt mehr Verkaufsfläche zur Verfügung steht.

Auch die Größe der Kundenparkplätze kann einen Einfluss auf die Einkaufswagennutzung haben. Bei den Erhebungsvorgängen wurde beobachtet, dass bei Verbrauchermärkten eine wesentlich größere Fläche an Kundenparkplätzen bereitgestellt wird, als bei Discount Märkten.

Ein Bezug zu den Bewegungshäufigkeiten, die in der Parkplatzlärmstudie ermittelt wurden, kann mit den momentanen Erkenntnissen noch nicht hergestellt werden, da sich diese in Abhängigkeit mit der Nettoverkaufsfläche stehen. Außerdem bezieht sich die resultierende Bewegungshäufigkeit auf PKW Verkehr. Die hier ermittelten Verkehrsstärken beziehen sich nur auf die Art des Einkaufsmarktes und stehen in keinerlei Zusammenhang mit PKW Bewegungen auf den Kundenparkplätzen.

# 7 Anwendung in der Praxis

Die Ergebnisse aus den generierten Datenmengen können nun die Emissionspegel errechnet werden, welche die Schallleistungspegel der simulierten Linienquelle darstellen. Die Linienquelle wiederum stellt den Fahrtweg, welcher mit dem Einkaufswagen beispielsweise zwischen Einkaufswagenbox und Markeingang zurückgelegt wird.

Als Grundlage der Berechnung dienen die ermittelten Schalldruckpegel [ $L_{t0ges}$ ] aus Tabelle 1, Formel (9) und Formel (10) sowie den Verkehrsstärken aus Tabelle 2.

Emissionspegel $[L_{me}]$ in dB	lärmarm	Standard	Verkehrsstärke [ $M$ ] in $h^{-1}$
Asphalt	48,50	55,50	
Pflaster	46,67	46,96	16

Tabelle 3: Anzusetzende Emissionspegel  $[L_{me}]$  für Discountmärkte

Emissionspegel $[L_{me}]$ in dB	lärmarm	Standard	Verkehrsstärke [ $M$ ] in $h^{-1}$
Asphalt	65,31	75,89	
Pflaster	62,55	62,99	66

Tabelle 4: Anzusetzende Emissionspegel  $[L_{me}]$  für Verbrauchermärkte

In der Simulation wird nun der Emissionspegel  $[L_{me}]$  für das jeweils zu betrachtende Einkaufswagenmodell samt Fahrbahnbelag aus Tabelle 3 und Tabelle 4 als Schallleistungspegel  $[L_m]$  der Linienquelle verwendet.

# 8 Untersuchung des Reflexionseinflusses

Da bei der Datenauswertung ein unregelmäßiges An- und Absteigen des Schalldruckpegels festgestellt wurde, muss dieses Phänomen genauer untersucht werden. Dabei muss quantitativ ermittelt werden, wie hoch der Einfluss des reflektierten Schalls ist. Außerdem wird nach einer Möglichkeit gesucht, wie dieser Reflexionseinfluss korrigiert werden kann.

Da sich eine Untersuchung vor Ort zu aufwendig und zu zeitintensiv darstellt, wird der Einfluss der Reflexionen mit einem Computermodell untersucht. Dabei wird das Immissions-Simulationsprogramm SAOS verwendet.

Zunächst wird das Messgelände samt Gebäuden digital rekonstruiert. Dies wurde mit Hilfe eines maßstabsgetreuen Satellitenfotos vorgenommen. Um nun den Einfluss des reflektierten Schalls ermitteln zu können, muss ein Immissionsort an der eigentlichen Mikrofonposition modelliert werden. Danach werden Punktschallquellen in einem Abstand von 2m zueinander, entlang der Messstrecke positioniert. (siehe Abbildung 10)



Abbildung 10: Position der simulierten, einzelnen Punktschallquellen (lila) und Messort

Dies dient dazu, um herauszufinden, ab wann der Reflexionseinfluss vernachlässigbar wird. Den einzelnen Punktschallquellen wird dabei der jeweils gleiche Schallleistungspegel versehen. Die Höhe dieses Pegels ist dabei nicht relevant, da zunächst bloß untersucht werden soll, wie groß die Differenz zwischen direktem und reflektiertem Schall ist.

Nun wird für jede Punktschallquelle eine Simulation getätigt. In der Ergebnistabelle (siehe Anhang A1) werden dabei die am Messort anliegenden Schallimmissionspegel, sowie der Anteil des reflektierten Schalls angezeigt.

Um einen genaueren Wert für den Reflexionseinfluss zu erhalten, wurde die Simulation erneut getätigt. Diesmal wurde aber die Höhe des Gebäudes auf 0 m gesetzt, so dass es quasi nicht existent ist und dadurch eine freie Schallausbreitung simuliert wird.

Im Anschluss wurde die Differenz aus den Immissionspegeln beider Simulationen gebildet. Daraus lässt sich entnehmen, wie stark Reflexionen das Ergebnis im Vergleich zur ungehinderten Schallausbreitung beeinflussen.

### 8.1 Interpretation der Ergebnisse

Es stellt sich dar, dass das Simulationsergebnis nicht in dem Maße beeinflusst wird, wie zuvor angenommen.

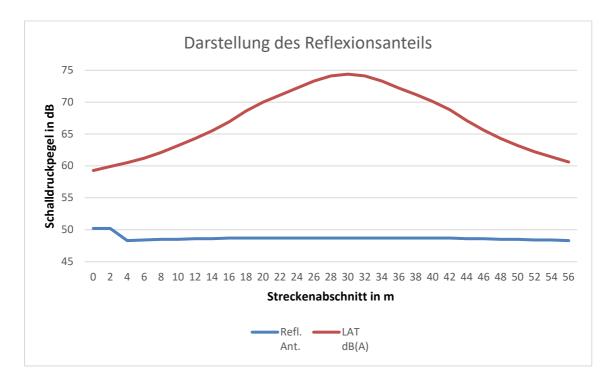


Abbildung 11: Schalldruckpegel (LAT)- und Reflexionspegelverlauf (Refl. Ant.) simuliert

Aus Abbildung 11 kann entnommen werden, dass die Differenz zwischen den beiden Simulationen im Maximalwert 0,6 dB beträgt. Der dabei ermittelte Anteil des Reflektierten Schalls liegt in seinem Maximalwert bei 50,2 dB. Dieser fällt nach den ersten zwei Streckenabschnitten allerdings um ca. 1,9 dB ab. Im weiteren Verlauf steigt er wieder allmählich um 0,4 dB an. Nach dem der maximale Vorbeifahrtspegel erreicht wurde, fällt der Schalldruckpegel der Reflexion wieder, relativ gleichmäßig, um 0,4 dB ab.

Auch wird im Pegelverlauf entlang der Messtrecke bemerkt werden, dass das asymmetrische An und Absteigen des Schalldruckpegels nicht reproduziert werden.

Theoretisch kann zwar bewiesen werden, dass die abknickende Gebäudefassade einen Einfluss auf den am Messgerät ankommenden, reflektierten Schalls hat. Allerdings ist die Differenz zwischen Direktschall und reflektiertem Schall deutlich zu groß, um die Anomalien in den Messergebnissen zu erklären

Dies deutet darauf hin, dass das Phänomen, welches unter Punkt 5.3.2 beschrieben wurde, einen anderen Ursprung haben muss.

Allerdings bedeutet dies auch, dass die Messergebnisse zunächst keiner Korrektur des Reflexionseinflusses unterzogen werden müssen.

# 9 Einschränkung des zu messenden Dynamikbereiches

Um zu überprüfen, ob der Messablauf für zukünftige Messungen vereinfacht werden kann, wird nun versucht, den zu messenden Dynamikbereich von 10 dB einzuschränken. Dies würde eine Verkürzung der Messstrecke und somit auch einen schnelleren Messablauf ermöglichen.

# 9.1 Theoretische Überprüfung

Dabei wird zunächst ein theoretisches Modell in dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel angelegt. Dies ist notwendig, um im Vorfeld einen etwaigen Fehleroffset zu ermitteln. Dieser Fehleroffset ist die Differenz der errechneten Schalldruckpegel  $[L_{t0ges}]$  der Dynamikbereiche von 10 dB bzw. 5 dB. Anhand dieser Differenz kann ein Korrekturwert ermittelt werden, der auf den errechneten  $[L_{t0ges}]$  addiert wird, wenn mit einem Dynamikbereich von 5 dB gemessen wurde.

Zunächst wird die Messstrecke, die eine Gesamtlänge von 50 m aufweist, in 0,5 m Abschnitte eingeteilt. Danach wird für jeden Teilabschnitt die Entfernung zur Mikrofonposition errechnet. Nachdem dies erfolgt ist, wird der Schalldruckpegel in Abhängigkeit zur Distanz [d] zwischen Schallquelle und Messposition errechnet. Dies geschieht mit der untenstehenden Gleichung. Der Schallleistungspegel  $[L_w]$  wurde hierbei exemplarisch mit 100 dB angenommen.

$$L_2 = L_w - 20 * \log(d) dB (14)$$

Daraus ergibt sich der theoretische Schalldruckpegelverlauf, wenn das Testobjekt entlang der Teststrecke geschoben wird.

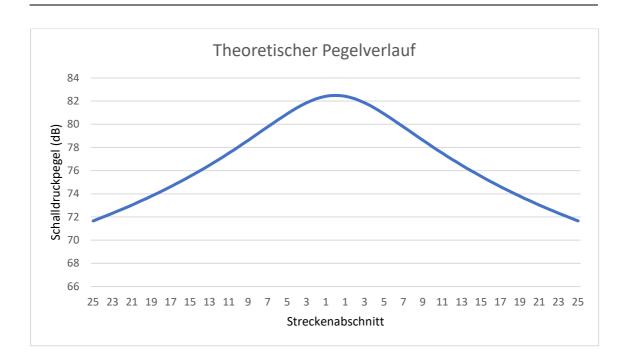


Abbildung 12 Simulierter theoretischer Pegel Verlauf bei Vorbeifahrt

Der Schalldruckpegel am Teilabschnitt 0 entspricht dem maximalen Vorbeifahrtspegel. Anhand dieses Pegels kann nun zunächst der 10 dB umfassende Dynamikbereich ermittelt werden. Dieser beginnt hier bei Abschnitt 22,5 in ansteigender Richtung und endet ebenfalls bei Abschnitt 22,5 in abfallender Richtung.

Alle errechneten Schalldruckpegel, die sich innerhalb dieses Dynamikbereiches befinden werden, nun nach dem Berechnungsverfahren für Emmissionspegel durch Einzelereignis errechnet. Dabei kommen ausschließlich Formel (7) und Formel (8) zum Einsatz.

Die Simulation zeigt, dass der  $[L_{t0ges}]$  für den Dynamikbereich von 10 dB um 1,05 dB höher ist, als des 5 dB Dynamikbereiches. Dieser Fehleroffset muss nun noch mit den Differenzen aus den Messergebnissen verglichen werden.

## 9.1.1 Einfluss der Geschwindigkeit

Im Zuge dieser Berechnung wurde auch überprüft, in wie weit die Geschwindigkeit einen Einfluss auf den resultierenden  $[L_{t0ges}]$  hat. Grund dafür ist, dass in Formel (7) bei der Bildung des  $[L_{t0}]$  der gemessene Schalldruckpegel  $[L_{Aeq}]$  auf einen Zeitraum von einer Stunde bezogen wird. Da die Messwerte allerdings in einem Zeitintervall von 100 ms ausgegeben werden, muss dieser Pegel zu erst auf eine Sekunde bezogen werden, bevor die weiteren Rechenschritte erfolgen können.

Die einzelnen Schalldruckpegel im Rechenmodell beziehen sich zunächst auf eine Abschnittlslänge und auf keinen Zeitintervall. Der Wagen benötigt zum Durchfahren des Teilabschnittes allerdings eine gewisse Zeit [t], die von der Geschwindigkeit [v] abhängig ist. Dazu muss zunächst die Zeit ermittelt werden, die es benötigt, um einen Abschnitt zu passieren.

Dies mit erfolgt Hilfe des Weg-Zeit-Gesetzes.

$$t = \frac{s}{v} \tag{15}$$

Dabei ist [s] die Strecke, welche 0,5 m beträgt und [v] die Geschwindigkeit, welche variabel sein soll. Es ist darauf zu achten, dass die Geschwindigkeit in m/s angegeben wird.

Nun wird der resultierende Wert der benötigten Zeit mit dem  $[L_{Aeq}]$  multipliziert. Dadurch ist der Schalldruckpegel zunächst auf eine Sekunde bezogen. Nun kann die weitere Berechnung gemäß Formel (7) durchgeführt werden.

Diese Berechnungen erfolgen jeweils für beide Dynamikbereiche. Die Geschwindigkeit bleibt hierbei variabel.

Durch das Verändern der Geschwindigkeit kann festgestellt werden, dass sich zwar die Werte für  $[L_{t0ges}]$  verändern. Die Differenz zwischen beiden Dynamikbereichen bleibt jedoch konstant.

Damit ist bewiesen, dass die Geschwindigkeit für diesen Überprüfungsansatz keinen Einfluss auf den Fehleroffset und somit auch auf den Korrekturwert hat.

## 9.2 Überprüfung mit den Messwerten

Die Ermittlung des Fehleroffset anhand der gemessenen Schalldruckpegelverläufe gestaltet sich wesentlich schwieriger. Grund dafür ist, dass das Signal nicht wie in der Simulation, gleichmäßig ansteigt. Vielmehr bestehen die Messsignale aus kleinen Pegelspitzen. Dies erschwert die Einschränkung des zu bewertenden Dynamikbereiches.

Für diesen Vorgang ist es erforderlich, die Beschränkung anhand eines bestimmten Schwellenwertes vorzunehmen. Hilfe bietet der maximale Vorbeifahrtspegel bieten.

Der benötigte Schwellwert bildet sich aus dem Maximalpegel, von dem 10 dB bzw. 5 dB abgezogen werden. Auf Grund der teilweise starken Schwankungen ist es ratsam, zusätzlich ca. 2 dB vom errechneten Schwellwert zu subtrahieren.

Danach wird der Schalldruckpegelverlauf bis zum relativen Überschreiten des ermittelten Schwellwertes aus den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

Die weitere Ermittlung des  $[L_{t0qes}]$  erfolgt wie unter 9.1 beschrieben.

Im Anschluss wird die Differenz aus den jeweiligen [ $L_{t0ges}$ ] für die Dynamikbereiche von 10 dB bzw. 5 dB ermittelt.

Diese Prozedur erfolgt jeweils für alle gemessenen Einkaufswagentypen und Fahrbahnbelägen.

### 9.3 Ergebnisse

In der theoretischen Betrachtung resultiert ein Fehleroffset von 1,05 dB, welcher aus Tabelle 5 entnommen werden kann.

Dynamikbereich	$L_{t0ges}$ in dB
5 dB theoretisch	52,68
10 dB theoretisch	51,63
Fehleroffset	1,05

Tabelle 5: theoretisch ermittelter Fehleroffset

Nach dem der Fehleroffset für jeden Einkaufswagentyp sowie jeden Untergrund errechnet wurde, wird deutlich, dass die einzelnen reellen Werte vom theoretischen Wert abweichen. Nach der Bildung eines Mittelwertes aller Einzelergebnisse beläuft sich dieser auf 0,93 dB.

	Lärmarm	Standard	Schwerlast
Dynamikbereich	$L_{t0ges}$ in dB	$L_{t0ges}$ in dB	$L_{t0ges}$ in dB
10 dB Asphalt	34,12	39,93	37,27
5 dB Asphalt	33,29	38,93	36,36
Fehleroffset in dB	0,83	1,00	0,91
10 dB Pflaster	32,60	32,84	25,75
5 dB Pflaster	31,65	32,00	24,73
Fehleroffset in dB	0,95	0,85	1,02

Tabelle 6: Vergleich des Fehleroffset für Wagentyp sowie Fahrbahnbelag

Bildet man nun den Mittelwert aus dem praktischen und dem theoretischen Fehler, beläuft sich dieser auf 0,99 dB.

Anhand, dass sich sowohl der theoretische sowie auch der praktisch ermittelte Fehler im Rundungsbereich von 1 dB befinden, wird der Korrekturwerte auf 1 dB festgesetzt und kann mit  $[k_{5dB}]$  beschrieben werden.

Um diesen Korrekturterm in die Berechnungsvorschrift einzupflegen, wird die Formel (8) in folgendem Maß umgeändert.

$$L_{t0ges} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} 10^{0.1 \frac{L_{t0,i}}{dB}} \right) + k_{5dB} dB$$
 (16)

Der Korrekturterm wird dann vergeben, wenn der Schalldruckpegel des vorbeifahrenden Einkaufswagens, um nur 5 dB an- und wieder abfällt.

# 10 Diskussion des Zuschlages $k_{PA}$

Wie bereits unter Punkt 1.1.3 erwähnt, werden in der Parkplatzlärmstudie die durch das Bewegen von Einkaufswagen erzeugten Rollgeräusche nicht als gesonderte Schallquelle betrachtet. Diese werden lediglich durch den Zuschlagsterm  $[k_{PA}]$  berücksichtigt und fließen in den anzusetzenden Schallleistungspegel des zu betrachtenden Parkplatzes ein.

Der Parkplatz wird dabei als Flächenschallquelle angesetzt. Dabei wird zunächst die Art des Parkplatzes unterschieden. Für den hier zu behandelnden Sachverhalt trifft die Parkplatzart "Parkplatz an einem Einkaufsmarkt" zu. In dieser Kategorie wir anschließend weiter zwischen "Standard-Einkaufswagen" und "lärmarme Einkaufswagen" unterscheiden. Diese beiden Kategorien werden jeweils noch einmal in Asphalt- und Pflasteroberfläche unterschieden. Somit stehen jeweils zwei Einkaufswagentypen mit jeweils zwei Fahrbahnoberflächen zur Auswahl.

Dabei wird ein Standard-Einkaufswagen auf Pflasteruntergrund mit 5 dB beaufschlagt. Alle weiteren Varianten werden mit 3 dB berücksichtigt.

Wenn man diese Werte des  $[k_{PA}]$  mit den Erkenntnissen der hier getätigten Messreihen vergleicht, kann festgestellt werden, dass Ergebnisse durchaus Unterschiede aufweisen.

Zunächst muss allerdings gesagt sein, dass beide Modelle einem unterschiedlichen Betrachtungsansatz unterliegen, da das erarbeitete Simulationsmodell darauf ausgelegt ist, durch eine Linienschallquelle simuliert zu werden. Die dabei betrachteten Lärmemissionen werden getrennt vom restlichen Parkplatzverkehr betrachtet. In der Parkplatzlärmstudie fließen diese in den, vor allem durch PKW-Bewegungen dominierten, Emissionen mit ein.

## 10.1 Vergleich der Fahrbahnoberfläche

Vergleicht man jedoch beispielsweise nur die Differenz der  $[k_{PA}]$ -Zuschläge zwischen den verschiedenen Fahrbahnoberflächen, mit der Differenz der ermittelten  $[L_{t0ges}]$  in der hier erklärten Erhebung, können die grundlegenden Unterschiede beider Erhebungen verdeutlicht werden.

Lärmarm in dB	Standard in dB
1,52	7,09

Tabelle 7: Differenz des [ $L_{t0aes}$ ] zwischen Asphalt- und Pflasterbelag für den jeweiligen Wagentyp

In der PLS beträgt der Unterschied der zu Vergebenden Zuschläge für einen Standard-Einkaufswagen auf Asphalt und Pflaster 2 dB. Durch die hier erfassten Messungen liegt der Unterschied allerdings bei ca. 7 dB (siehe Tabelle 6). Dieser Wert bezieht sich dabei auf das Einkaufswagenmodell der Firma Decker, welcher in diesem Fall als Standard-Einkaufswagen angesehen wird. Auffällig ist, dass im PLS Modell das Pflaster eine Erhöhung der Schallemission um 2 dB verursacht. Im Gegensatz dazu bewirkt der untersuchte Pflasterbelag eine Dämpfung um 7 dB.

Beim Vergleich des Wagentyps der Firma Wanzel, welches ein Äquivalent zum "lärmarmen Einkaufswagen" darstellt, treten ebenfalls Unterschiede auf. Im Modell der PLS wird für beide Fahrbahnbelägen derselbe  $[k_{PA}]$  vergeben. Die Differenz beträgt somit faktisch 0 dB. In den hier gewonnenen Erkenntnissen wurde jedoch festgestellt, dass der Pflasterbelage eine Dämpfung von ca. 1,5 dB bewirkt.

Diese beiden Ergebnisse zeigen, dass die untersuchte gepflasterte Fahrbahn eine durchweg, dämpfende Eigenschaft auf das Rollgeräusch hat. Die Erkenntnis geht dabei konträr zu der aus der PLS. Diese Gegensätze können zunächst dadurch relativiert werden, dass unterschiedliche Typen von gepflasterten Oberflächen untersucht wurden. Allerdings beweist dies auch, dass bei Pflasterbelag nicht pauschal von einer höheren Lärmbelastung ausgegangen werden kann. Eine genauere Untersuchung von verschiedenen Pflasterarten ist daher erforderlich.

### 10.2 Vergleich der Einkaufswagentypen

Auch die Betrachtung der Verschiedenen Einkaufswagentypen untereinander offenbart die Unterschiede zwischen den beiden Betrachtungsmodellen. Der Vergleich erfolgt dabei jeweils auf demselben Untergrund.

Laut PLS werden Standard- und lärmarme Einkaufswagen auf Asphalt mit einem Zuschlag von jeweils 3 dB beurteilt. Es besteht also faktisch kein Unterschied zwischen beiden Typen.

Diese Annahme wird durch die hier gewonnenen Erkenntnisse in Frage gestellt. Die Differenz der ausgewerteten Emissionspegel zeigt auf, dass der hier untersuchte Standard-Einkaufswagen im Schnitt um ca. 6 dB lauter ist als sein lärmarmer Konkurrent.

Fahrbahnbelag	Typ Differenz in dB
A 1 1/	5.04
Asphalt	5,81
Pflaster	0,24
	·

Tabelle 8:Differenzen der Emissionspegel  $[L_{me}]$  von Standard- und lärmarmen Einkaufswagen in Abhängigkeit des Fahrbahnbelages

Auf gepflastertem Untergrund ergibt sich ein gegensätzlicher Wert. Dabei beträgt der Zuschlag für das Standard-Modell nach PLS 5 dB, während das lärmarme Modell nur mit 3 dB beaufschlagt wird.

In der hier getätigten Untersuchung wird festgestellt, dass der Standard-Wagen lediglich um ca. 0,3 dB lauter ist als das lärmärmere Pendant. Dies ist in Tabelle 7 ersichtlich.

Ähnlich wie beim Vergleich der Fahrbahnoberflächen, lassen sich auch hier konträre Ergebnisse beider Prognosemodelle feststellen.

Auch hier sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Ergebnissen wahrscheinlich auf die unterschiedlichen Beschaffenheiten der untersuchten Oberflächenmaterialien der Fahrbahnen zurückzuführen.

Fazit und Ausblick 46

## 11 Fazit und Ausblick

Die Untersuchungen haben verdeutlicht, dass der hier erörterte Messvorgang eine geeignete Grundlage für die Ermittlung der Rollgeräusche von Einkaufswagen darstellt. Die Orientierung an der DIN 45642 hat sich dabei als sehr hilfreich erwiesen. Durch die Einführung des Korrekturterms  $[k_{5dB}]$  wird es ermöglicht, schalltechnische Messvorgänge auch an Orten durchzuführen, an denen aus platztechnischen Gründen die Einhaltung des 10 dB Dynamikbereiches nach DIN 45642 nicht möglich ist. Dieser Korrekturterm ermöglicht somit auch einen schnelleren Messablauf, welches zu einer größeren Datenmenge führen kann.

Die ersten Untersuchungen von ausgewählten Einkaufswagentypen sind eine erste Grundlage, um diese Art von Geräuschemission genauer zu betrachten. Es ist momentan noch nicht möglich eine Aussage über die Plausibilität der ermittelten Emissionspegel zu treffen und deren Anwendung in Schallimmissionsprognosen zu testen. Dies kann eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen darstellen.

Die Auswertung der Messergebnisse verdeutlicht, dass zwischen den bislang angenommenen Betrachtungsansätzen der Parkplatzlärmstudie und den hier gewonnenen Erkenntnissen, teilweise große Diskrepanzen auftreten.

Interessant ist, dass das Ausmaß der Dämpfung des Emissionspegels durch die Veränderung des Fahrbahnbelages auch vom Wagentyp abhängig ist, welches in Tabelle 6 dargestellt wird. Grundlegend findet eine Verminderung des abgestrahlten Schalldruckpegels statt. Allerdings ist kein gleichmäßiger Trend zwischen den verschiedenen Modellen erkennbar. Die Annahme, dass durch die Veränderung des Fahrbahnbelages zu einer gleichmäßigen Lärmreduktion, unabhängig vom Wagentyp führen könnte wird anhand dieser Resultate in Frage gestellt.

Die Untersuchung zeigt ebenfalls, dass Betonpflastersteine ohne Fase eine lärmmindernde Eigenschaft aufweisen. Diese Erkenntnis erweitert die Betrachtung der Fahrbahnoberflächenarten dahingehen, dass Pflastersteinarten differenziert betrachtet und auch als eine potenzielle Lärmminderungsmaßnahme in Erwägung gezogen werden können.

Auch die Daten der Verkehrsstärke stellen eine Ergänzung zu den bereits in der Parkplatzlärmstudie ermittelten Bewegungshäufigkeiten dar. Diese sind allerdings untereinander nicht vergleichbar. Die Bewegungsfähigkeiten der Parkplatzlärmstudie beziehen sich auf die Netto-Verkaufsfläche des jeweils zu betrachtenden Marktes, währen sich die Verkehrsstärke in dieser Untersuchung auf die Art des EinkaufsmarkFazit und Ausblick 47

tes bezieht. Eine Fortsetzung der Erhebung von relevanten Verkehrsdaten, wie sie in dieser Untersuchung bereits durchgeführt wurden kann einen weiteren Ansatzpunkt für

zukünftige Betrachtungen darstellen.

In zukünftigen Untersuchungen wird empfohlen weitere Messungen dieser Art mit einer größeren Auswahl an verschiedenen Einkaufswagentypen und Fahrbahnbelägen. Dies verbessert einerseits die Genauigkeit der bereits vorhandenen Messergebnisse, andererseits kann dadurch auch eine größere Datensammlung von diversen Wagentypen und Fahrbahnbelägen geschaffen werden. Dies präzisiert das Ergebnis von eventuellen Schallimmissionsprognosen für den Neubau von Einkaufsmärkten und bietet eine Auswahl an möglichen schalltechnischen Verbesserungsmöglichkeiten.

Literaturverzeichnis XIV

#### Literaturverzeichnis

**Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. 2006.** *Akustische Wellen und Felder.* Berlin : s.n., 2006.

Möhler + Partner, beratende Ingenieure für Schallschutz und Bauphysik. 2007. Parkplatzlärmstudie - 6. überarbeitete Auflage. Augsburg: Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2007. ISBN: 978-3-940009-17-3.

Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI. 1999. Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1999. DIN ISO 9613-2: 1999-10.

—. **2004.** *DIN 45642:2004-06.* Berlin : Beuth Verlag GmbH, 2004. ICS 03.220.01; 17.140.30.

Prof. Dr. sc. nat. dipl. Phys. Christoph Zürcher, Dipl. Ing. Thomas Frank. 2018. enbau-online.ch. [Online] 2018. [Zitat vom: 31. 01 2020.] https://enbau-online.ch/bauphysik/7-3-schallausbreitung-im-freien/.

**Sengpiel, Eberhard.** Forum für Mikrofonaufnahmetechnik und Tonstudiotechnik. [Online] [Zitat vom: 16. 01 2020.] http://www.sengpielaudio.com/Rechnerentfernung.htm.

**Umweltbundesamt. 2015.** Umwelt Bundesamt. [Online] 22. 12 2015. [Zitat vom: 10. 04 2020.] https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/stressreaktionen-herz-kreislauf-erkrankungen#auswirkungen-deslarms-auf-die-gesundheit.

Anlagen

# **Anlagen**

# A1 – Ergebnisstabelle Simulation der Reflexion

		Mit Reflexion			ohne Reflexion									
						Refl.	LAT				Refl.	LAT		
ı	dp	LW	Adiv	Aatm	Agr	Ant.	dB(A)	Adiv	Aatm	Agr	Ant.	dB(A)		Diff.
0	31,1	100	40,9	0,1	3,3	50,2	59,3	40,9	0,1	3,3		58,7		0,6
2	29,2	100	40,3	0,1	3,2	50,2	59,9	40,3	0,1	3,2		59,4		0,5
4	27,2	100	39,7	0,1	3,1	48,3	60,5	39,7	0,1	3,1		60,2		0,3
6	25,3	100	39,1		2,9	48,4	61,2	39,1		2,9		61		0,2
8	23,4	100	38,4		2,6	48,5	62,1	38,4		2,6		61,9		0,2
10	21,4	100	37,6		2,3	48,5	63,2	37,6		2,3		63		0,2
12	19,6	100	36,8		2	48,6	64,3	36,8		2		64,1		0,2
14	17,8	100	36		1,5	48,6	65,5	36		1,5		65,4		0,1
16	16	100	35,1		1	48,7	66,9	35,1		1		66,9		0
18	14,3	100	34,1		0,3	48,7	68,6	34,1		0,3		68,6		0
20	12,6	100	33			48,7	70	33				69,9		0,1
22	11,1	100	31,9			48,7	71,1	31,9				71,1		0
24	9,7	100	30,7			48,7	72,2	30,7				72,2		0
26	8,6	100	29,7			48,7	73,3	29,7				73,3		0
28	7,8	100	28,8			48,7	74,1	28,8				74,1		0
30	7,5	100	28,5			48,7	74,4	28,5				74,4		0
32	7,8	100	28,8			48,7	74,1	28,8				74,1		0
34	8,6	100	29,6			48,7	73,3	29,6				73,3		0
36	9,7	100	30,7			48,7	72,2	30,7				72,2		0
38	10,9	100	31,8			48,7	71,2	31,8				71,2		0
40	12,5	100	32,9			48,7	70,1	32,9				70		0,1
42	14,1	100	34		0,2	48,7	68,8	34		0,2		68,8		0
44	15,9	100	35		1	48,6	67,1	35		1		67		0,1
46	17,6	100	35,9		1,5	48,6	65,6	35,9		1,5		65,5		0,1
48	19,5	100	36,8		2	48,5	64,3	36,8		2		64,2	_	0,1
50	21,3	100	37,6		2,3	48,5	63,2	37,6		2,3		63	$\downarrow$	0,2
52	23,1	100	38,3		2,6	48,4	62,2	38,3		2,6		62,1	$\downarrow$	0,1
54	25	100	39		2,8	48,4	61,4	39		2,8		61,2		0,2
56	27	100	39,6	0,1	3	48,3	60,6	39,6	0,1	3		60,3		0,3

# Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Leipzig, 17.04.2020	Paul Robert Thomas
Ort, Datum	Vorname Nachname