

Umwelt und Geologie
Lärmschutz in Hessen, Heft 3

Technischer Bericht: LKW-Studie: Untersuchung von Geräuschemissionen durch logistische Vorgänge von Lastkraftwagen



Umwelt und Geologie
Lärmschutz in Hessen, Heft 3

**Technischer Bericht:
LKW-Studie: Untersuchung von Geräusche-
missionen durch logistische Vorgänge von
Lastkraftwagen**

Wiesbaden, 2024

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Impressum

Umwelt und Geologie Lärmschutz in Hessen, Heft 3

**Technischer Bericht:
LKW-Studie: Untersuchung von Geräuschemissionen durch logistische Vorgänge
von Lastkraftwagen**

ISSN: 1617-4038

ISBN: 978-3-89026-405-9

Autoren:

- Teil 1 B. Sc. Mihael-Nikola Romer
Hochschule für angewandte Wissenschaften München
Matthias Ziegler
BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH
Messstelle §29b BImSchG
Morellstraße 33
86159 Augsburg
- Teil 2 Andreas Lingenau
TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH
Messstelle §29b BImSchG
Industrie Service, Geschäftsfeld Umwelttechnik
Am Römerhof 15
60486 Frankfurt am Main
- Teil 3 Knut Lenkewitz
TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co.KG
Am TÜV 1
D-45307 Essen
- Teil 4 & 5 Tibor Benarik
Dezernat I4 – Lärm, Erschütterungen, Abfall, Luftreinhaltung Anlagen
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Sämtliche Abbildungen (© HLNUG)

Herausgeber:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Postfach 3209, 65022 Wiesbaden

Telefon: 0611 6939-0

Telefax: 0611 6939-555

www.hlnug.de

© Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – alle Rechte vorbehalten

Diese Broschüre wurde mit FSC-Zertifizierung gedruckt.

Inhalt

Impressum	2
Vorwort	4
Einleitung	5
Teil 1: Messtechnische Ermittlung von Fahrzeuggeräuschen konventioneller Lastkraftwagen ..	6
1 Messtechnische Ermittlung von Fahrzeuggeräuschen konventioneller Lastkraftwagen ..	6
1.1 Zusammenfassung	6
1.2 Grundlagenerfassung	6
1.3 Berechnungsmethode	8
1.4 Ergebnisse	9
1.5 Vergleich mit vorangegangenen Studien	11
1.6 Vergleich Literatur	12
Teil 2: Fahrgeräusche durch Elektro-LKW im Vergleich zu Diesel-LKW	13
2 Fahrgeräusche durch Elektro-LKW im Vergleich zu Diesel-LKW	13
2.1 Einleitung	13
2.2 Vorgehensweise	13
2.3 Messdurchführung	13
2.4 Messergebnisse	14
2.5 Zusammenfassung und Ausblick	18
Teil 3: Verladegeräusche an Einkaufsmärkten	19
3 Verladegeräusche an Einkaufsmärkten	19
3.1 Zusammenfassung	19
3.2 Ausgangslage und Zielsetzung	19
3.3 Untersuchungsumfang – Verladerrampen im Lebensmitteleinzelhandel	20
3.4 Schilderung der untersuchten Verladevorgänge	22
3.5 Methodik der Messdurchführung	23
3.6 Synopse	25
3.7 Fazit	27
Anhang zu Teil 3: Verladegeräusche an Einkaufsmärkten	28
Teil 4: Verladegeräusche in Logistikunternehmen	60
4 Verladegeräusche in Logistikunternehmen	60
4.1 Ausgangslage und Zielsetzung	60
4.2 Untersuchungsumfang	60
4.3 Durchführung der Messungen	63
Anhang zu Teil 4: Verladegeräusche in Logistikunternehmen	65
Teil 5: Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen	70
5 Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen	70
5.1 Einleitung	70
5.2 Fahrgeräusche von LKW	70
5.3 Verladegeräusche	71
5.4 Automatische Be- und Entladesysteme	73
5.5 Ein- und Ausstapeln von Einkaufswagen	74
5.6 Handhubwagen auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen	74
Anhang zu Teil 5: Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen	76
Literaturverzeichnis	78

Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

Geräuschemissionen, die auf Betriebsgrundstücken durch logistische Vorgänge von Lastkraftwagen verursacht werden, führen oft zu Konflikten mit den Anwohnern.

Ein hohes Konfliktpotenzial besteht durch den innerbetrieblichen Verkehr und durch Verladevorgänge. Die Situation an Einkaufsmärkten ist meist besonders kritisch, da sich diese meist in unmittelbarer Nähe zu Wohnnachbarschaft befinden. Aber auch der Betrieb von Logistikunternehmen kann zu Lärmkonflikten führen.

Zur Überprüfung der Genehmigungsfähigkeit von konkreten Vorhaben wird von den Genehmigungsbehörden eine Schallimmissionsprognose gefordert. Die Erstellung einer solchen schalltechnischen Untersuchung erfordert detaillierte Kenntnisse über das Emissionsverhalten aller geräuschrelevanten Betriebsabläufe. Diese bilden die Grundlage für eine detaillierte Prognose im Sinne des Schallimmissionsschutzes.

Erste Untersuchungen wurden hierzu vom Rheinisch-Westfälischen Technischen Überwachungs-Verein e.V. bereits im Jahr 1982 durchgeführt. Die Hessische Landesanstalt für Umwelt, jetzt Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), hat im Jahr 1995 die LKW- und Ladegeräusche auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern und Speditionen in einer Studie untersucht. Der entsprechende Bericht wurde in der Schriftenreihe „Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz Heft

192“ veröffentlicht. Im Jahr 2005 wurde diese Veröffentlichung durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) als technischer Bericht in der Reihe Umwelt und Geologie, Lärmschutz in Hessen, Heft 3 fortgeschrieben. Neben der Aktualisierung der LKW-Fahrgeräusche wurden weitere typische Geräusche z. B. beim Ein- und Ausstapeln von Einkaufswagen im Bereich der Einkaufswagenboxen und Fahrgeräusche von Handhubwagen beim Transport von unterschiedlichen Warengbinden auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen bei Verbrauchermärkten ermittelt.

Die Schriften aus den Jahren 1995 und 2005 sind bis heute die Standardwerke zur Ermittlung von Geräuschemissionen logistischer Vorgänge.

Die Weiterentwicklung der Verladetechnik macht es notwendig, die oben genannten Untersuchungen zu aktualisieren und die neuen Erkenntnisse zur Bestimmung der Lärmemissionen einfließen zu lassen. Beispielsweise hat die E-Mobilität inzwischen auch die Logistikbranche erreicht. In der vorliegenden Studie wird gezeigt, welches Potenzial auch hinsichtlich des Lärmschutzes diese Technologie birgt.

Ich bin mir sicher, dass auch diese Untersuchung, wie auch ihre Vorgänger in jedem Büro von Sachverständigen, Planungsbüros und Umweltschutzbehörden als Standardwerk zur Ermittlung von Geräuschemissionen logistischer Vorgänge verwendet wird.

A handwritten signature in black ink that reads "Thomas Schmid". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Prof. Dr. Thomas Schmid
Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz,
Umwelt und Geologie

Einleitung

Der innerbetriebliche Fahrzeugverkehr insbesondere durch LKW gehört bei vielen Betrieben zu den wesentlichen Lärmquellen. Bei Fahrzeugverkehr denkt man in erster Linie an Speditionen, Auslieferungslager, Deponien oder ähnliche Betriebe. Aber auch bei vielen Großbetrieben, wie Chemische Fabriken, Raffinerien, Kraftwerken und Seefrachtenanlagen, bei denen Ein- und Ausgangsstoffe per LKW oder per Bahn transportiert werden müssen, sind LKW-Geräusche ein bestimmender Lärmfaktor. Fahrzeuggeräusche treten aber auch bei nahezu allen Mittel- und Kleinbetrieben mit einer vergleichsweise ruhigen Produktion auf. Meist sind sie hier die einzige wesentliche Geräuschquelle.

Inzwischen ist es gelebte Praxis, die Geräusche durch logistische Vorgänge, die auf dem Betriebsgrundstück entstehen, bei der Beurteilung der Anlage z. B. in Genehmigungsverfahren zuzurechnen.

Die Fahrzeuggeräusche, die auf dem Betriebsgelände entstehen, unterscheiden sich vom üblichen Straßenverkehr durch die Frequenzzusammensetzung, die Impulshaltigkeit, die Informationshaltigkeit und dem zeitlichen Pegelverlauf wesentlich.

Sobald die erste Achse eines Fahrzeuges die Betriebsgrenze überquert, werden die Geräusche bis zum Verlassen des Grundstücks mit der letzten Achse der Anlage zugerechnet. Außerhalb des Betriebsgeländes vermischen sich die Geräusche mit den Verkehrsgläuschen auf der öffentlichen Straße.

Da geringe Fahrgeschwindigkeiten auf Betriebsgeländen die Regel sind, dominiert das Motorengeräusch bei dem Vortrieb der Fahrzeuge. Liegt der Fahrweg eines Betriebes in unmittelbarer Nachbarschaft zu empfindlichen Wohnnutzungen, besteht hier ein

hohes Konfliktpotential. Elektrofahrzeuge haben bekanntlich einen leisen Antrieb und können zur Lärmreduzierung im Anlagenverkehr eingesetzt werden. Der Einsatz von elektrisch betriebenen Fahrzeugen könnte dabei helfen, diesen Lärmkonflikt zu lösen.

Lärmbelastungen entstehen nicht nur durch die Fahrgeräusche, sondern auch durch die Verladegeräusche beim Umschlag der Waren. In der Regel werden Logistikunternehmen „auf der grünen Wiese“ fernab von jeglicher Wohnnutzung geplant. Dort sind die Verladegeräusche selten für einen Konflikt verantwortlich. Die Situation ist bei den so genannten Nahversorgern anders. Hier werden in der Regel die Waren in den frühen Morgenstunden, teilweise vor 6:00 Uhr angeliefert. Wenn das Schlafzimmer eines Wohnhauses zur Verladerampe orientiert ist, kann es zu einer Störung des Nachbarn kommen. Bei der Neuplanung oder dem Umbau bestehender Geschäfte sollte aus Sicht des Lärmschutzes die richtige Platzierung der Anlieferzone eine zentrale Rolle einnehmen. Die in dieser Studie aufgeführten Lärmemissionen zeigen gegenüber dem Stand von 1995 einen leichten Rückgang der Lärmemissionen. Ganz geräuschlos lässt sich die Verladung nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen jedoch nicht realisieren.

Um die verschiedenen Aspekte der oben genannten Konfliktmöglichkeiten aufzuführen, ist diese Studie in fünf Abschnitte unterteilt. Während sich die Teile 1 bis 4 mit der aktuellen Erfassung der Geräuschemissionen befasst, enthält der Teil 5 dieser Untersuchung empfohlene Emissionsansätze. Diese setzen sich die sich aus neuen, aber auch aus den Erkenntnissen der alten Studien zusammen. Damit liegt ein aktuelles Regelwerk vor, das die Erkenntnisse der letzten 30 Jahre zusammenfasst.

Teil 1: Messtechnische Ermittlung von Fahrzeuggeräuschen konventioneller Lastkraftwagen

MIHAEL-NIKOLA ROMER (Hochschule für Angewandte Wissenschaften München)
MATTHIAS ZIEGLER (BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH)

1 Messtechnische Ermittlung von Fahrzeuggeräuschen konventioneller Lastkraftwagen

1.1 Zusammenfassung

Als Standardwerk für die Grundlagen zur schalltechnischen Prognose von LKW Fahrgeräuschen auf Betriebsgrundstücken zählen seit vielen Jahren die Publikationen des HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie). Die beiden zugrundeliegenden Studien stammen aus den Jahren 2005 [1], sowie 1995 [2]. Im Zuge einer Bachelorarbeit [3] in Zusammenarbeit mit der Hochschule für angewandte Wissenschaften München und der BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH wurden im Jahr 2019 Vorbeifahrtmessungen bei Lastkraftwagen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit dienen als Grundlage der hier vorliegenden Untersuchung.

Es zeigte sich, dass sich, im Vergleich zur Studie aus dem Jahr 2005 [1], die Geräuschemissionen der LKW

nicht relevant geändert haben. Der Prognoseansatz aus der Studie von 2005 hat somit weiter Gültigkeit. Auf Grund des über die Jahre veränderten Motorleistung-Masse-Verhältnisses der LKW wird jedoch empfohlen, die Einteilung des Schalleistungspegels hinsichtlich der zulässigen Gesamtmasse der LKW anstatt der Fahrzeugleistung durchzuführen (Details siehe Kapitel 1.4).

Die meteorologischen Parameter dienen dazu, die für die Entstehung und die Ausbreitung von Luftverunreinigungen bedeutsamen meteorologischen Bedingungen zu erfassen. Gemessen werden Windrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur, relative Feuchte, Luftdruck, Globalstrahlung und Niederschlag.

Tab. 1: Empfohlener Prognoseansatz LKW Fahrgeräusche [1]

zul. Gesamtmasse	LWA 1 m, 1 h [dB(A)]
< 12 t	62
> 12 t	63

1.2 Grundlagenerfassung

1.2.1 Messkonzept

Die Messungen der Lärmemissionen wurden an einer öffentlichen Kreisstraße durchgeführt. Für den Zeitraum der Messung wurde durch den Straßenbau-

lastträger die Geschwindigkeit auf einem Teilstück von 350 Metern in beide Richtungen auf 30 km/h reduziert. Die ausgewählte Kreisstraße dient unter

anderem als Zufahrt zu einem Stahlwerk und einem Gewerbegebiet. Somit wurde sichergestellt, dass ein großer Stichprobenumfang an vollen und leeren LKW erfasst werden konnte. Es wurden die Schalldruckpegel bei der Vorbeifahrt fahrtrichtungsabhängig erfasst. Auf Grund der günstigen Fremdgeräuschsituation konnten die Lärmemissionen der LKW auf einer Messstrecke von 100 Metern erfasst werden. Die folgenden Parameter wurden erfasst und dokumentiert:

1.2.2 Messaufbau

Die Messungen wurden mit einem Schallpegelmessgerät der Klasse 1 durchgeführt. Die Messsituation

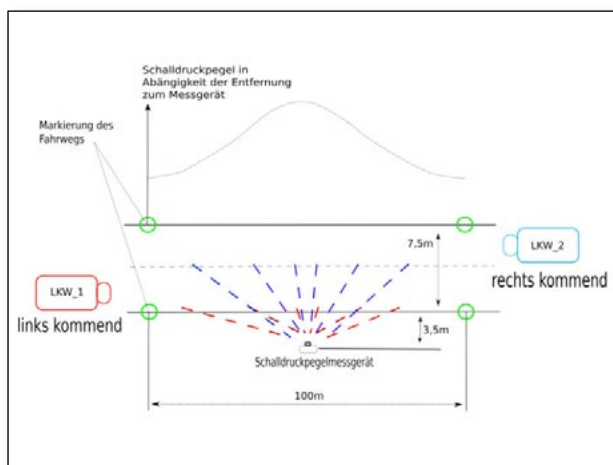


Abb. 1: Messsituation

1.2.3 Umgebungsbedingung

Der Messort wurde hinsichtlich der folgenden Rahmenbedingungen gewählt:

- Freie Schallausbreitung: Es waren keine relevanten Reflexionskörper (Gebäude etc.) im Umfeld vorhanden.

1.2.4 Stichprobenumfang

Es wurden insgesamt 244 LKW-Fahrten erfasst. Hinsichtlich der erfassten Marken zeigte sich die folgende Verteilung gemäß Tabelle 2.

- Zeitverlauf Schalldruckpegel
- Geschwindigkeit der LKW
- Fahrtrichtung
- Marke
- Zulässige Gesamtmasse gemäß EG Fahrzeugklasse (N1, N2, N3)

kann der Abbildung 1 entnommen werden.



Abb. 2: Messposition (BEKON Lärmschutz & Akustik GmbH)

- Fremdgeräusche: Es waren keine relevanten Fremdgeräusche während der Messzeit vorhanden.
- Straßenbelag: Im Bereich der Messstrecke befand sich die Straßenoberfläche in einem guten Zustand. Es waren keine Ausbesserungen, Schlaglöcher oder Kanaldeckel vorhanden.

Die Gruppierung der zulässigen Gesamtmasse der erfassten LKW wurden gemäß der EG-Fahrzeugklassen für LKW [4] in LKW „kleiner 12 Tonnen“, entspricht

der Fahrzeugklasse N2, sowie LKW „größer 12 Tonnen“, entspricht der Fahrzeugklasse N3, unterteilt. LKW kleiner 3,5 Tonnen (Klasse N1, Kleintransporter etc.) wurden bei der vorliegenden Untersuchung nicht ausgewertet.

ter etc.) wurden bei der vorliegenden Untersuchung nicht ausgewertet.

Tab. 2: Stichprobenumfang nach Marke

Marke	Anzahl
Mercedes	87
MAN	68
Scania	30
Volvo/Renault	29
DAF	23
Iveco	5
Unbekannt	2
Summe:	244

Tab. 3: Stichprobenumfang nach zulässiger Gesamtmasse

Marke	Anzahl
< 12 t	22
> 12 t	222
Summe:	244

1.3 Berechnungsmethode

Prinzipiell können für die Ermittlung des Schalleistungspegels der LKW zwei unterschiedliche Berechnungsansätze gewählt werden:

- Betrachtung der LKW-Vorbeifahrt unter der Annahme von Punktschallquellen. Dieser Ansatz kann unter der Bedingung „Messabstand r größer als Ausdehnung $l/2$ der Schallquelle“ herangezogen werden.
- Betrachtung der LKW-Vorbeifahrt unter der Annahme einer Linienschallquelle.

Zu Validierungszwecken wurden die Schalleistungspegel einiger LKW-Vorbeifahrten mit beiden Ansätzen bestimmt und verglichen. Für die Annahme „Punktquelle“ wurde der Zeitverlauf des Pegelschriebes für die Gesamtmessstrecke in 10 Meter Stücke unterteilt

und die Schalleistungspegel jedes Teilstückes unter der Annahme einer Punktquelle bestimmt.

Der Unterschied der ermittelten Schalleistungspegel wurde fahrspurabhängig für beide Ausbreitungsmodelle bestimmt. Es zeigte sich, dass fahrtrichtungsabhängig das Modell „Punktschallquelle“ oder „Linienschallquelle“ im Vergleich zum anderen Modell, geringfügig höhere Schalleistungspegel in der Größenordnung von ca. 0,7 dB generiert. Es wurde eine ähnliche Anzahl von LKW-Bewegungen der unterschiedlichen Fahrtrichtungen erfasst und die Vorbeifahrtpegel beider Fahrspuren gemittelt. Somit entspricht der ermittelte Schalleistungspegel bei der Nutzung eines Modells in etwa dem energetischen Mittelwert der Ergebnisse der beiden Ausbreitungsmodelle.

Für die weitere Auswertung wurde das Ausbreitungsmodell der „100 m Linienschallquelle“ gewählt. Die Ausbreitungsberechnungen erfolgten gemäß den Ausführungen der DIN ISO 9613-2 [5] mit dem Schallausbreitungsprogramm SOUNDPLAN.

Für die Berechnung wurde der energieäquivalente Mittelungspegel L_{Aeq} [dB(A)] gemäß DIN 45641 [6] ausgewertet.

Zum Vergleich mit den vorangegangenen Untersuchungen wurde der ermittelten Schalleistungspegel der 100 Meter Messstrecke (L_{WA100m}) auf ein 10 Meter Teilstück umgerechnet und eine Zeitkorrektur für einen LKW pro Stunde über die ermittelte Geschwindigkeit durchgeführt:

Gleichung 1

$$L_{WA10m,1h} = L_{WA100m} - 10 \cdot \log \frac{T}{3600 \text{ s}}$$

L_{WA100m} : Schalleistungspegel 100 Meter Fahrstrecke in dB(A)
 $L_{WA10m,1h}$: Schalleistungspegel 10 Meter Fahrstrecke bezogen auf 1 Stunde in [dB(A)]
T: Fahrzeit Fahrstrecke 10 Meter in Sekunden

Die Berechnung des Vertrauensbereiches des ermittelten energieäquivalenten Mittelungspegels erfolgte gemäß den Vorgaben der DIN 45641 Anhang B3 [6] für ein Vertrauensniveau von 90 % für den einseitigen Fall. Der Unterschied zwischen dem energieäquivalenten Mittelungspegel L_{Aeq} und der oberen Vertrauensgrenze L_o beträgt 0,2 dB.

1.4 Ergebnisse

1.4.1 Schalleistungspegel in Abhängigkeit der Geschwindigkeit

Im Folgenden werden die ermittelten Schalleistungspegel der gesamten 100 Meter Messstrecke (L_{WA100m}) der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit gegenübergestellt. Die Geschwindigkeiten resultieren aus der ermittelten Durchfahrtszeit der 100 Meter Messstrecke. Der Hauptteil der LKW fuhr mit einer mittleren Geschwindigkeit von 25 km/h bis 40 km/h durch

die Messstrecke. Die Durchschnittsgeschwindigkeit lag bei 34 km/h. In diesem Geschwindigkeitsbereich spielen die Rollgeräusche und Straßendeckschichttypen nur eine untergeordnete Rolle gegenüber den Antriebsgeräuschen. Es zeigt sich eine geringfügige Erhöhung des Schalleistungspegels bei Zunahme der Geschwindigkeit.

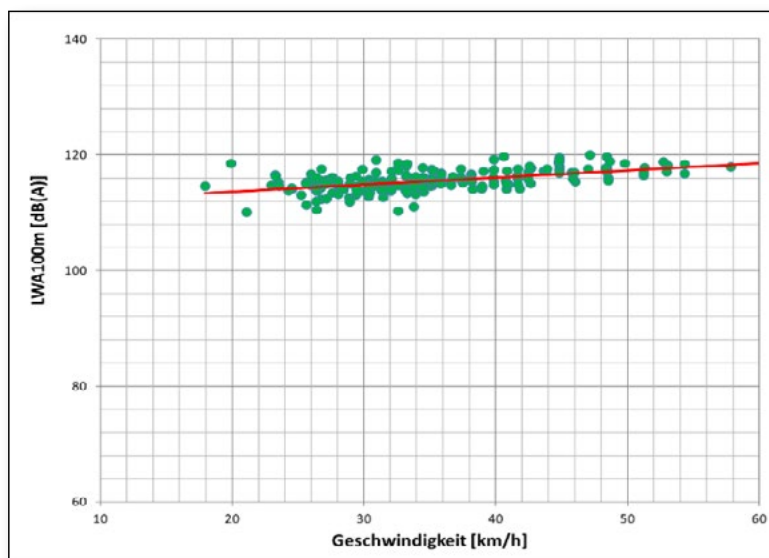


Abb. 3: Schalleistungspegel L_{WA100m} in Abhängigkeit von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit [3]

1.4.2 Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der Fahrrichtung

Die LKW-Vorbeifahrten wurden für beide Fahrrichtungen erfasst. Für eine große Zahl von LKW konnte daher der Schalleistungspegel L_{WA100m} für beide Fahrrichtungen ausgewertet werden (siehe Abbildung 5). Bei genauer Analyse zeigte sich, dass der geringfügige Unterschied im richtungsabhängigen Schalleistungspegel aus den unterschiedlichen mittleren fahrtrichtungsabhängigen Geschwindigkeiten der Stichprobe rührt.

Es ist daher kein relevantes richtungsabhängiges Schallabstrahlverhalten der LKW während der Vorbeifahrt zu erkennen. Unter der Annahme, dass der jeweilige erfasste LKW in Abhängigkeit von der Fahrtrichtung einen unterschiedlichen Ladezustand aufgewiesen hat, da er zwischenzeitlich den Zielort im Stahlwerk angefahren hat, zeigt sich, dass auch der Ladezustand keinen relevanten Einfluss auf den ermittelten Schalleistungspegel aufweist.

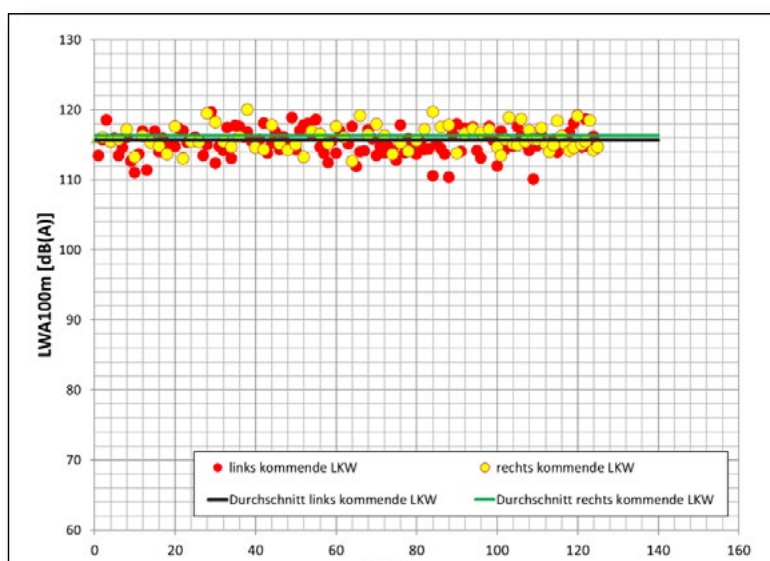


Abb. 4: Schalleistungspegel L_{WA100} in Abhängigkeit von der Fahrzeuigrichtung [3]

1.4.3 Schalleistungspegel in Abhängigkeit von der zulässigen Gesamtmasse

Im Folgenden wurden die Schalleistungspegel $L_{WA10m,1h}$ in Abhängigkeit von der zulässigen Gesamtmasse aufgetragen.

In Tabelle 4 sind die gemittelten Schalleistungspegel gruppiert nach Gewichtsklassen ersichtlich. Es zeigt sich, dass die LKW mit einer zulässigen Gesamtmasse von kleiner 12 t einen um ca. 2 dB geringeren Schalleistungspegel, im Vergleich zu den LKW mit einer zulässigen Gesamtmasse größer 12 t, aufweisen.

Tab. 4: Mittelwerte Schalleistungspegel nach zulässiger Gesamtmasse

zul. Gesamtmasse	$L_{WA10m,1h}$ [dB(A)]
< 12 t	68,3
> 12 t	70,5

Legende:

$L_{WA10m,1h}$: Schalleistungspegel je Stunde und LKW bezogen auf ein 10 m Wegelement

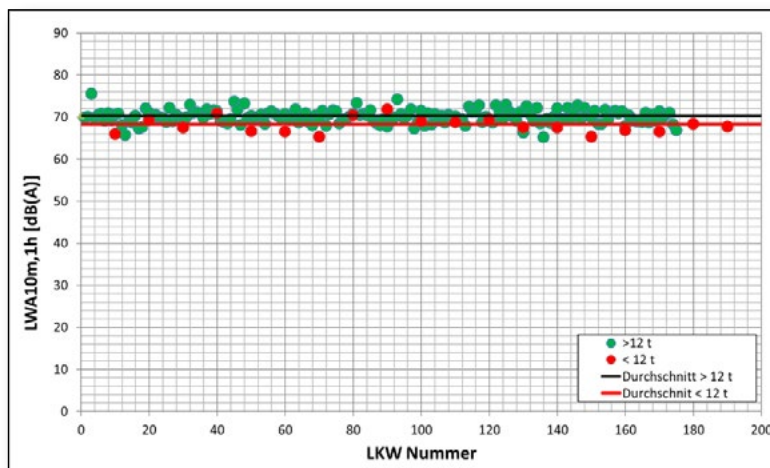


Abb. 5: Schalleistungspegel $L_{WA10m,1h}$ in Abhängigkeit von der zulässigen Gesamtmasse [3]

1.5 Vergleich mit vorangegangenen Studien

Im Folgenden wurden die ermittelten Schalleistungspegel mit den Untersuchungen aus 2005 [1], sowie 1995 [2] für die gleichförmige Vorbeifahrt verglichen (siehe Tabelle 4). Hierbei wurden die Ergebnisse der Kategorisierung bis / über 12 t den Leistungsangaben bis / über 105 kW der vorangegangenen Studie zugeordnet. Gemäß der Studie aus dem Jahr 1995 [2] wurden die Leistungsklassen einer Veröffentlichung des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 1980 zur Vorbereitung von Rechtsvorschriften und EG Richtlinien zur Festsetzung und Herabsetzung von Emissionsgrenzwerten entnommen. Die Einteilung bis / über 105 kW muss, für die aktuellen auf deutschen Straßen vorherrschende LKW-Flotte, als nicht mehr zeitgemäß angesehen werden. Eine stichprobenartige Recherche bei LKW-Herstellern zeigte, dass die Motorleistung von LKW mit einer zulässigen Gesamtmasse von 12 t mindestens 130 kW beträgt. Selbst bei LKW Neufahrzeugen mit einer zulässigen Gesamtmasse von 7,5 t beträgt die Motorleistung ak-

tuell oft mehr als 105 kW. Eine Unterscheidung hinsichtlich der Leistung bis / über 105 kW kann daher als nicht mehr zielführend angesehen werden.

Die angewendete Gruppierung der Schalleistungspegel entspricht somit auch der aktuell gelten Gliederung der Geräuschpegelgrenzwerte hinsichtlich der EG Fahrzeugklassen (N2, N3) durch die Verordnung (EU) Nr. 540/2014 [7].

Unter diesen Voraussetzungen zeigt sich, dass die aktuellen Messungen aus dem Jahr 2019 die Messergebnisse aus dem Jahr 2005 für die gleichförmige Vorbeifahrt bestätigen.

In der Studie von 2005 [1] wird für den anzusetzenden längenbezogenen Schalleistungspegel ein Pegel von $L_{WA1m,1h} = 62$ dB(A) für Motorleistungen kleiner 105 kW sowie ein Pegel von $L_{WA1m,1h} = 63$ dB(A) für Motorleistungen größer gleich 105 kW empfoh-

Tab. 5: Vergleich Messergebnisse mit Literaturwerten

Studie	$L_{WA10m,1h}$ [dB(A)]	
	<105 kW/ ≤ 12 t	>105 kW/ > 12 t
2019	68,3	70,5
2005	68,3	70,3
1995	69,8	72,8

Legende:

$L_{WA10m,1h}$: Schalleistungspegel je Stunde und LKW bezogen auf ein 10 m Wegelement

len. Zusätzlich zur gleichförmigen Vorbeifahrt wurden bei dieser Studie auch die Fahrzustände Beschleunigung und Verzögerung erfasst. Um auf der sicheren Seite zu liegen, resultieren die damals empfohlenen anzusetzenden Schallleistungspegel aus dem Fahrzustand „Beschleunigung“.

Die Fahrzustände „Beschleunigung“ und „Verzögerung“ waren nicht Teil des Untersuchungsumfanges

der vorliegenden Untersuchung. Da jedoch die Messergebnisse die Schallleistungspegel für die gleichförmige Vorbeifahrt bestätigen, kann davon ausgegangen werden, dass die empfohlenen längenbezogenen Schallleistungspegel der Studie von 2005 [1] weiterhin angewendet werden können.

Es sollte jedoch eine Gliederung hinsichtlich der zulässigen Gesamtmasse erfolgen.

Tab. 6: Empfohlener Prognoseansatz

zul. Gesamtmasse	$L_{WA1m,1h}$ [dB(A)]
< 12 t	62
> 12 t	63

Legende:

$L_{WA1m,1h}$: Schallleistungspegel je Stunde und LKW bezogen auf ein 1 m Wegelement

1.6 Vergleich Literatur

Die aktuell (Stand Sept. 2021) europaweit geltenden Grenzwerte hinsichtlich der Geräuschemissionen sind in Anhang III der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 vom 16. April 2014 [7] geregelt. Die Grenzwerte unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse und sind in drei zeitliche Phasen gegliedert. Die Grenzwerte der Phase 1 gelten bereits für neue Fahrzeugtypen ab dem 1. Juli 2016. Da sich mit Einführung der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 [7] auch das Messverfahren zur Bestimmung des Schallleistungspegels geändert hat, lässt sich keine einheit-

liche Aussage hinsichtlich der Änderung des Schallleistungsgrenzwertes angeben. Das Durchschnittsalter der LKW in Deutschland beträgt aktuell ca. 8 Jahre. Daher ist nicht damit zu rechnen, dass sich die Änderungen durch die Phase 1 der Verordnung (EU) Nr. 540/2014 [7] in den Messergebnissen von 2019 widerspiegeln.

Mit einer Änderung des Schallemissionsverhaltens der LKW-Flotte ist somit voraussichtlich nicht vor 2024 zu rechnen.

Teil 2: Fahrgeräusche durch Elektro-LKW im Vergleich zu Diesel-LKW

ANDREAS LINGENAU (TÜV Technische Überwachung Hessen GmbH)

2 Fahrgeräusche durch Elektro-LKW im Vergleich zu Diesel-LKW

2.1 Einleitung

In diesem Kapitel wird das schalltechnische Minderungspotenzial beim Einsatz von Elektro-LKW gegenüber Diesel-LKW messtechnisch anhand einer beispielhaften Betriebsituation untersucht.

Im Rahmen einer Prognose sollten im Nachtzeitraum erstmals Anlieferung und Verladung auf dem Betriebsgelände beantragt werden. Die rechnerisch ermit-

telten Beurteilungspegel unter Berücksichtigung der Emissionsdaten der LKW-Studie [1] herkömmlicher Diesel-LKW überschritten die zulässigen Immissionsrichtwerte jedoch. Um nun einen genehmigungsfähigen Zustand herzustellen, sollte geprüft werden, ob mit dem Einsatz von Elektro-LKW statt Diesel-LKW die Immissionsrichtwerte eingehalten werden können.

2.2 Vorgehensweise

Zur Beantwortung der Frage, ob der Einsatz eines Elektro-LKW den Immissionskonflikt lösen kann, wurde eine Kombination aus Emissionsmessungen im Bereich des An- und Abfahrtsweges und Immissionsmessungen im Bereich der nächstgelegenen Immissionsorte durchgeführt.

Es wurden ein Diesel-LKW mit Auflieger und ein Elektro-LKW mit Auflieger gezielt für diese Messungen eingesetzt und jeweils Messwerte für den Ein-

fahrtsweg und Ausfahrtsweg separat ermittelt. Beide LKW weisen eine Nennleistung $P > 105$ kW auf.

Im Anschluss wurden anhand der Messdaten eine immissionswirksame Schalleistung sowohl für kurzzeitige Geräuschspitzen als auch für den Anfahrtsweg und Abfahrtsweg ermittelt und ein Vergleich mit einem üblichen Prognoseverfahren unter Verwendung von Literaturangaben zur Schalleistung von LKW-Fahrgeräuschen verwendet [1].

2.3 Messdurchführung

Die Messungen wurden in einer Kleinstadt zur Nachtzeit auf einem Betriebsgelände durchgeführt.

Folgende Geräuschvorgänge wurden hierbei erfasst:

Einfahrt: Abbremsen – Beschleunigen – Abbremsen – Halten – Rückwärtsbeschleunigung

Ausfahrt: Motorstart (innerhalb Verladehalle) – Beschleunigen – Abbremsen – Beschleunigen

Die Fahrer der LKW mussten das Führerhaus nicht verlassen, sodass die Messungen keine Geräusche beispielsweise durch Türeenschlagen enthalten. Im Messzeitraum sind keine Entspannungsgeräusche der Druckluftbremsen aufgetreten. Dies ist nach Angaben des Fahrers darin begründet, dass das Betriebsgelände an eine Tempo 30 Zone angrenzt und sich somit der für die Geräusche ursächliche Druck im Bremssystem nicht aufbaut. Die maximale Fahrgeschwindigkeit auf dem Betriebsgelände beträgt 10 Stundenkilometer.

Der Fahrbelag besteht zu circa 90 % aus Betonpflastersteinen mit Fugen < 2 mm und zu 10 % aus Asphalt. Die Anbindung an die öffentliche Straße erfolgt mit ebenerdig abgesenktem Bordstein. Größere Fahrune-

benheiten sind nicht gegeben. Die akustischen Rückfahrwarner wurden vor der Messung deaktiviert, da Sie hier vorliegend im Nachtzeitraum nicht eingesetzt werden müssen.

In den Abbildungen 6 und 7 ist die Lage der Messpunkte und der Fahrweg angegeben (MP1, MP2 und MP3). Hintergrund: An IO1 bis IO3 wurde nicht gemessen.

Die LKW fahren über die Betriebsgeländegrenze und Tor 1 auf den Innenhof in einer Linkskurve. Anschließend fahren die LKW rückwärts in die Verladehalle.

Die LKW fahren von der Verladehalle über den Innenhof in Richtung Tor 1 und verlassen das Betriebsgelände über die öffentliche Straße. Der Motor des Diesel-LKW wurde in der Verladehalle gestartet.

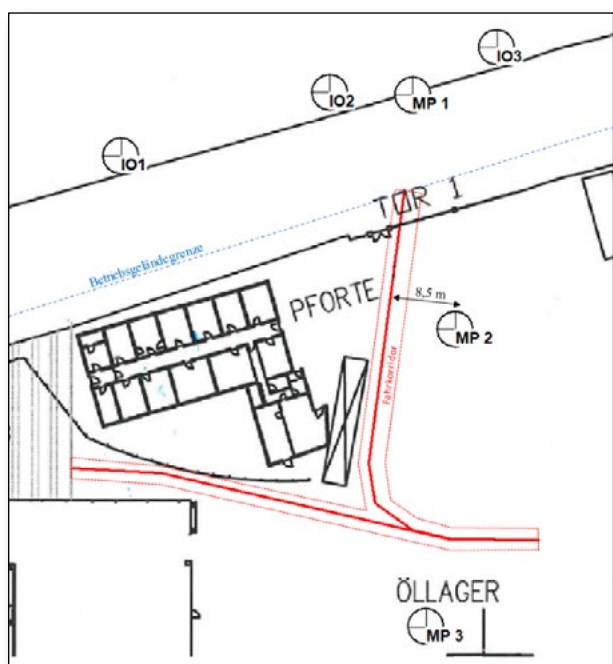


Abb. 6: Einfahrtsweg und Messpunkte Anschließend fahren die LKW Rückwärts in die Verladehalle

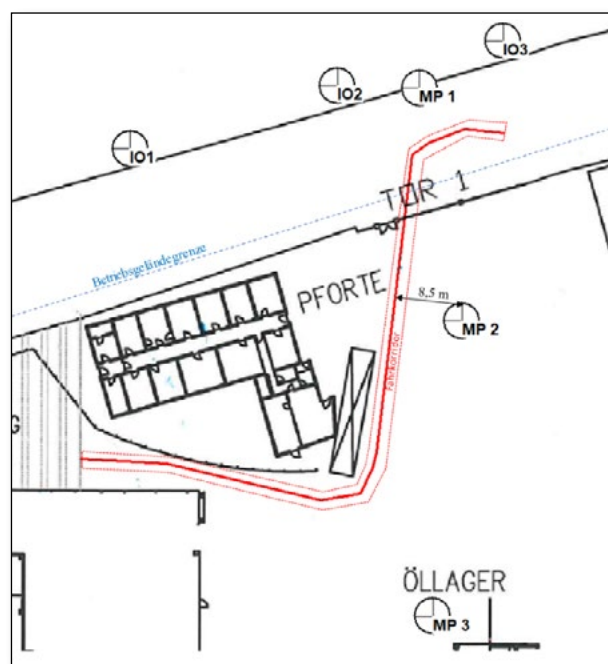


Abb. 7: Ausfahrtsweg und Messpunkte

2.4 Messergebnisse

In Abbildung 8 wird der Pegel-Zeit Verlauf an MP1 für je eine Ausfahrt und Einfahrt vergleichend zwischen Diesel und Elektro-LKW dargestellt.

Insgesamt wurden 7 Ein- und Ausfahrten des Elektro-LKW und 6 Ein- und Ausfahrten des Diesel-LKW gemessen. Es wurde jeweils nur die Fahrt auf dem Betriebsge-

lände berücksichtigt. In den nachfolgenden Tabellen 7 und 8 sind die Messergebnisse an MP1 dargestellt.

Insgesamt wurden 7 Ein- und Ausfahrten des Elektro-LKW und 6 Ein- und Ausfahrten des Diesel-LKW gemessen. Es wurde jeweils nur die Fahrt auf dem Betriebsgelände berücksichtigt.

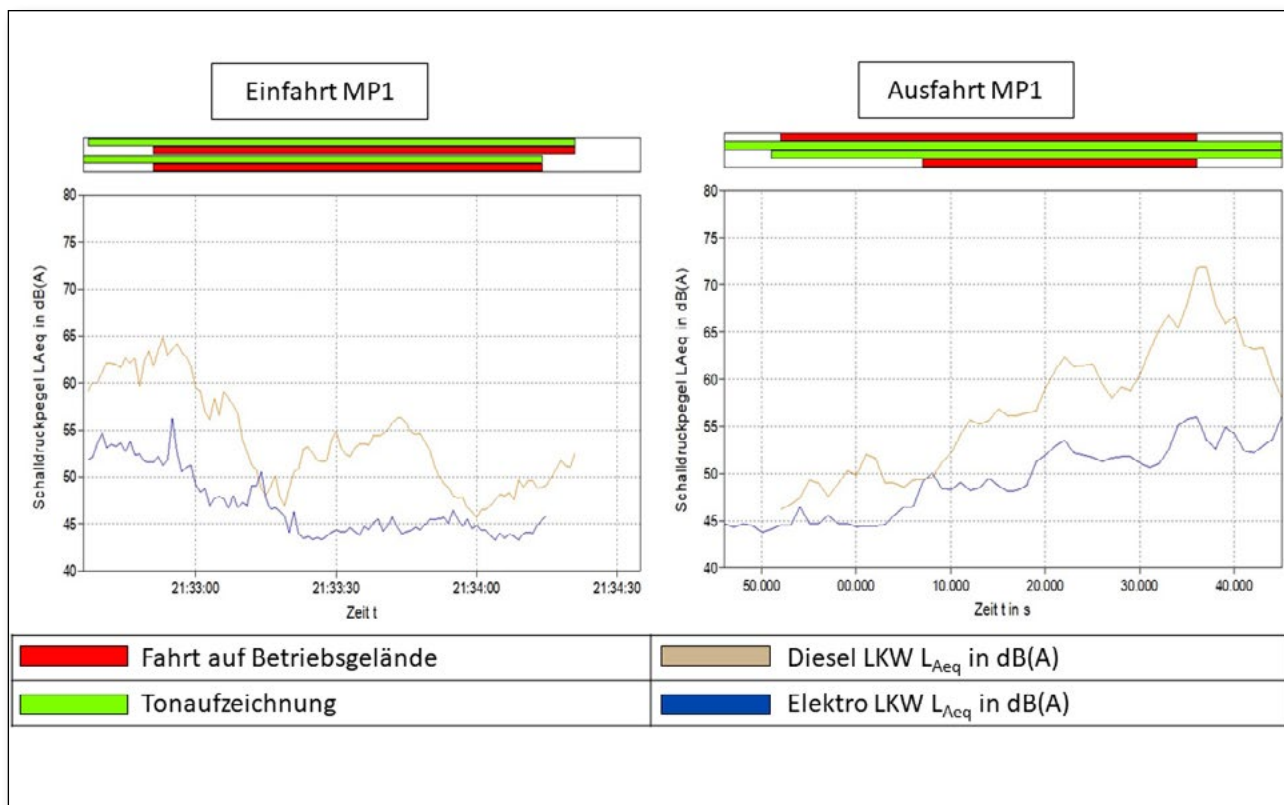


Abb. 8: Pegel-Zeit-Verlauf für eine Ein- und Ausfahrt MP1

Die Messergebnisse an MP1 zeigen, dass der energieäquivalente Schalldruckpegel an MP1 durch die Fahrgeräusche des Elektro-LKW bei der Einfahrt im Mittel um 6,8 dB(A) niedriger ist als der des Diesel-LKW. Der ermittelte Maximalpegel ist für den Elektro-LKW um 4,9 dB(A) niedriger.

Die Messergebnisse an MP1 zeigen, dass der energieäquivalente Schalldruckpegel an MP1 durch die Fahrgeräusche des Elektro-LKW bei der Ausfahrt im Mittel um 8,6 dB(A) niedriger ist als der des Diesel-LKW. Der ermittelte Maximalpegel ist für den Elektro-LKW um 10,3 dB(A) niedriger. Die Pegelunterschiede zwischen dem Diesel-LKW und dem Elektro-LKW sind im Wesentlichen durch das Wegfallen des Dieselmotorengeräusches begründet. Die Geräusche der Antriebseinheit des Elektro-LKW sind weniger dominant. Die weiteren fahrbedingten Geräuschquellen sind bei beiden Fahrzeugen ähnlich.

Aus den erfassten energetischen Mittelwerten der Messwerte an MP1 wurden in Tabelle 9 die oktavspektralen Schalleistungen der digitalisierten Linienquelle des Fahrweges mit Hilfe einer Ausbreitungs-

berechnung im digitalen Modell für die Ein- und Ausfahrt berechnet. Des Weiteren wird die durchschnittliche Einwirkzeit angegeben.

Tabelle 9 zeigt, dass für den Elektro-LKW in der 63 Hz Oktave die höchsten Pegelminderungen erreicht werden.

Zur Prüfung des Spitzenpegelkriteriums wurde eine Punktquelle an der Betriebsgeländegrenze auf dem Fahrweg modelliert und anhand der energetisch gemittelten Maximalpegel der Messergebnisse die Schalleistung der Punktquelle mit Hilfe einer Ausbreitungsberechnung im digitalen Modell ermittelt.

Für die Ausfahrt ergibt sich eine Pegeldifferenz von 10,3 dB(A) und für die Einfahrt eine Pegeldifferenz von 4,9 dB(A).

Mit Hilfe dieser aus Messwerten berechneten Schalleistungen wurden mittels einer Ausbreitungsberechnung die Beurteilungspegel für eine kombinierte Ein- und Ausfahrt innerhalb der lautesten Nachtstunde an den Immissionsorten berechnet.

Tab. 7: Messwerte an MP1 für die Einfahrt von Elektro LKW (E-LKW) und Diesel-LKW (D-LKW)

Messpunkt	Betriebszustand	LKW-Typ	L_{Aeq}	L_{AFmax}
			[dB(A)]	
MP1	1. Einfahrt	E-LKW	50,5	62,7
MP1	2. Einfahrt	E-LKW	50,5	63,8
MP1	3. Einfahrt	E-LKW	49,4	62,9
MP1	4. Einfahrt	E-LKW	47,3	57,7
MP1	5. Einfahrt	E-LKW	46,8	59,1
MP1	6. Einfahrt	E-LKW	48,0	61,7
MP1	7. Einfahrt	E-LKW	47,2	60,4
Energetischer Mittelwert:		E-LKW	48,8	61,6
MP1	1. Einfahrt	D-LKW	54,8	66,4
MP1	2. Einfahrt	D-LKW	55,7	68,1
MP1	3. Einfahrt	D-LKW	56,7	67,9
MP1	4. Einfahrt	D-LKW	56,0	66,1
MP1	5. Einfahrt	D-LKW	54,1	62,8
MP1	6. Einfahrt	D-LKW	55,8	65,9
Energetischer Mittelwert:		D-LKW	55,6	66,5
ΔL:		E-LKW	-6,8	-4,9

Tab. 8: Messwerte an MP1 für die Ausfahrt von Elektro LKW (E-LKW) und Diesel-LKW (D-LKW)

Messpunkt	Betriebszustand	LKW-Typ	L_{Aeq}	L_{AFmax}
			[dB(A)]	
MP1	1. Ausfahrt	E-LKW	56,0	67,2
MP1	2. Ausfahrt	E-LKW	52,6	58,7
MP1	3. Ausfahrt	E-LKW	50,0	56,7
MP1	4. Ausfahrt	E-LKW	52,7	61,5
MP1	5. Ausfahrt	E-LKW	54,2	62,9
MP1	6. Ausfahrt	E-LKW	53,7	62,0
MP1	7. Ausfahrt	E-LKW	53,4	60,0
Energetischer Mittelwert:		E-LKW	53,5	62,5
MP1	1. Ausfahrt	D-LKW	61,3	71,0
MP1	2. Ausfahrt	D-LKW	62,3	70,4
MP1	3. Ausfahrt	D-LKW	61,9	73,1
MP1	4. Ausfahrt	D-LKW	63,0	76,0
MP1	5. Ausfahrt	D-LKW	62,2	72,7
MP1	6. Ausfahrt	D-LKW	61,8	70,4
Energetischer Mittelwert:		D-LKW	62,1	72,8
ΔL:		E-LKW	-8,6	-10,3

Tab. 9: Oktavspektrale Schalleistung des Fahrwegs

Vorgang	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	Summe L_{WA}	Einwirkzeit
	[dB(A)]									
Diesel Einfahrt	77,8	79,4	83,5	87,2	92,0	89,8	85,7	77,5	95,9	84
Elektro Einfahrt	69,0	72,4	76,1	81,3	84,8	83,5	79,1	72,7	89,2	77
Pegeldifferenz	8,8	7,0	7,4	6,1	8,8	6,3	6,6	4,8	6,7	-
Diesel Ausfahrt	77,1	77,7	83,6	88,7	93,3	91,5	88,9	79,1	97,4	34
Elektro Ausfahrt	64,9	72	80,2	81,0	83,9	82,7	78,9	72,0	88,9	30
Pegeldifferenz	12,2	5,7	3,4	7,7	9,4	8,8	10,0	7,1	8,5	

Tab. 10: Schalleistung der kurzzeitigen Geräuschspitze

Vorgang	L_{WAFmax}
[dB(A)]	
Diesel Einfahrt	97,7
Elektro Einfahrt	92,8
Pegeldifferenz	4,9
Diesel Ausfahrt	104,0
Elektro Ausfahrt	93,7
Pegeldifferenz	10,3

Zusätzlich wurde die LKW Ein- und Ausfahrt auf Grundlage der Emissionsdaten der LKW-Studie [1] zum Vergleich prognostisch berechnet. Hierbei wurde eine Schalleistung von $L_{WA} = 103$ dB(A) für eine Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h angesetzt und eine kurzzeitige Geräuschspitze von 108 dB(A) an der Betriebsgeländegrenze für die Ein- und Ausfahrt und am Wendepunkt für Entspannungsgeräusche der Bremsen modelliert. In Prognosen wird davon ausgegangen, dass das Entspannungsgeräusch auftritt und wird entsprechend vorliegend ebenso berücksichtigt. Die Einwirkzeit beträgt hierbei rechnerisch für die Ausfahrt 33 s und für die Einfahrt 44 s. Dieses Vorge-

hen entspricht einer üblichen Herangehensweise bei Prognosen nach TA Lärm.

In den Tabellen 11 und 12 wird der Vergleich mit den ermittelten Beurteilungs- und Spitzenpegel an den Immissionsorten IO1 bis IO3 dargestellt.

Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigen für das untersuchte betriebliche Szenario, dass die Richtwerte und das Spitzenpegelkriterium der TA Lärm für Mischgebiete nur beim Einsatz des Elektro-LKW eingehalten werden können.

Tab. 11: Beurteilungspegel nachts $L_{r,nachts}$ an den Immissionsorten IO im Vergleich Prognose / Messung

Immissionsort	$L_{r,nachts}$ [dB(A)]		
	aus Prognose	aus Messung	
		D-LKW	E-LKW
IO1	46,3	38,4	30,6
IO2	52,0	42,1	34,0
IO3	49,8	41,0	32,9

Tab. 12: Kurzzeitige Geräuschspitzen $L_{AF,max}$ an den Immissionsorten IO im Vergleich Prognose / Messung

Immissionsort	$L_{AF,max}$ [dB(A)]		
	aus Prognose	aus Messung	
		D-LKW	E-LKW
IO1	68,8	64,8	54,5
IO2	75,8	71,8	61,5
IO3	72,8	68,8	58,5

2.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die hier dargestellten Messergebnisse zeigen, dass die Schalleistung von Fahrgeräuschen von Elektro-LKW bei niedrigen Geschwindigkeiten um bis zu 8,5 dB(A) niedriger sind als die Fahrgeräusche von Diesel-LKW. Da für diese Messungen lediglich ein Elektro-LKW Typ getestet wurde im Vergleich zu einem Diesel-LKW-Typ im Zusammenhang mit der betrieblichen Situation ist die Übertragbarkeit auf andere Betriebs-situationen und andere Fahrzeugmodelle nur einge-

schränkt gegeben. Die hier vorliegenden Messergeb-nisse dienen als Orientierung zum Aufzeigen des Potenzials möglicher Geräuschminderung durch den Einsatz von Elektro-LKW anstelle von Diesel-LKW bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten. Weitere mess-technische Untersuchungen zur Schalleistung der Fahrgeräusche von Elektro-LKW in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit sind zu empfehlen, sodass eine ausreichende Datenbasis entsteht.

Teil 3: Verladegeräusche an Einkaufsmärkten

KNUT LENKEWITZ (TÜV NORD Umweltschutz GmbH & Co.KG)

3 Verladegeräusche an Einkaufsmärkten

3.1 Zusammenfassung

Im Jahr 1991 und 1995 hat TÜV NORD (damals RWTÜV) im Auftrag des HLNUG (damals HLFU; Hessische Landesanstalt für Umwelt) schalltechnische Kennwerte und Emissionsdatenkataloge zur Prognose und Beurteilung von LKW- und Ladegeräusche auf Betriebsgeländen erarbeitet [8] [2].

Die vorliegende Untersuchung des TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 zeigt, dass bei den ermittelten Schallleistungspegeln, gegenüber der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995, zwischenzeitlich von niedrigeren Emissionsdaten ausgegangen werden kann. Die geringeren Geräuschemissionen sind zurückzuführen auf den fortgeschrittenen Stand der Lärmmin-derungstechnik

Die neueren Geräuschemissionen können zukünftig als Datengrundlage zur Erstellung von Schallimmissionsprognosen nach TA Lärm eingesetzt werden. Die Tabellen Nr. 13 bis Nr. 16 im Anhang fassen hierzu alle erforderlichen Emissionsdaten zusammen.

Die Tabellen verweisen jeweils in den vorletzten Zeilen auf die beigeordneten Datenblätter lfd. Nr. 1 bis Nr. 4 im Anhang, die weitere Details, Frequenzspek- tren und Fotos der untersuchten Rampen beinhalten. Ferner wird in der letzten Zeile der Tabelle auf die zu Grunde liegende Häufigkeitsverteilung und Stati- stische Auswertung der Stichproben im Anhang ver- wiesen.

3.2 Ausgangslage und Zielsetzung

Bei den Be- und Entladevorgängen von LKW-Auflie- gern mit Hubwagen und Rollwagen im Einzelhandel treten die wesentlichen Geräusche beim Überfahren der stationären Überladebrücke und der fahrzeugeigenen Ladebordwand sowie durch Rollgeräusche am Wagenboden der Auflieger auf.

Angesichts immer näher heranrückender Wohnbe- bauung an Gewerbestandorte bzw. der immer stärker favorisierten Lage von Geschäftshäusern im Bereich bestehender Wohnbebauung sowie dem Wunsch nach möglichst uneingeschränkten Betriebs- und Öffnungszeiten, zum Teil in die immissionskritische Nachtzeit hinein, stellt die zuverlässige Prognose die- ser Verladegeräusche im Rahmen von Genehmigungs- verfahren eine zunehmend wichtige Aufgabe dar.

Im Jahr 1991 und 1995 hat TÜV NORD (damals RWTÜV) im Auftrag des HLNUG (damals HLFU; Hes- sische Landesanstalt für Umwelt) schalltechnische Kennwerte und Emissionsdatenkataloge zur Prognose und Beurteilung von Schallimmissionen erarbeitet.

In der Zeitschrift Umweltplanung, Arbeits- und Um- weltschutz, Heft Nr. 129, aus dem Jahr 1991, wurden Angaben zu den Geräuschemissionen von typischen Verladevorgängen, wie sie z.B. an Lebensmittelmärk- ten auftreten, veröffentlicht.

Die 1995 veröffentlichte LKW-Lärmstudie [2] be- schreibt im Abs. 5.3 typische Be- und Entladevor- gänge von Paletten mittels handgeführter Hubwagen und Rollcontainer an Außen- und Innenrampen über

Überladebrücken und fahrzeugeigene Ladebordwände und liefert anhand der Untersuchungsergebnisse differenzierte Emissionsansätze (zeitlich gemittelte Schallleistungspegel für 1 Ereignis pro Stunde) für die auftretenden Verladegeräusche.

Um eine praxisnahe und realistische Prognose der Verladegeräusche zu ermöglichen und technischen Neuerungen zur Lärminderung gerecht zu werden, werden aktuelle Geräuschemesswerte bzw. akustische

Kennwerte benötigt. Hierzu wurden von TÜV NORD in der vorliegenden Untersuchung die Geräuschemissionen bei der Be- und Entladung von Paletten und Rollwagen an bestehenden Einzelhandelsmärkten und Zentrallager für Lebensmittelmärkte ermittelt. Die Ergebnisse sollen bei der Erstellung von Immissionsprognosen nach TA Lärm im Rahmen von Genehmigungsverfahren als aktuelle Datenbasis dienen. Sie sollen die veralteten Daten aus der 1995 veröffentlichten LKW-Lärmstudie (Heft 192) ersetzen.

3.3 Untersuchungsumfang - Verladerampen im Lebensmitteleinzelhandel

Untersucht wurden LKW-Auflieger mit untereinander vergleichbarem Laderaumvolumen, Ladeinhalt und Bodenbelag sowie verschiedene Elektro-Flurförderfahrzeuge (Palettenhubwagen) ähnlicher Größe und Leistung.

Die Messungen fanden an unterschiedlichen Standorten statt, hierbei wurden Einkaufsmärkte mit Außenrampen wie auch Vorsatzrampen mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung untersucht:

Außenrampen:

- Be- und Entladung von Paletten mittels Elektro-Flurförder-Fahrzeug über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW
- Be- und Entladung von Rollcontainern über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch) sowie über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW
- Be- und Entladung von Paletten an Außenrampe mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch)

Innenrampen:

- Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug an Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Typ A und Typ B (Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung)

Die Datenblätter lfd. Nr. 1 bis Nr. 4 im Anhang zeigen Fotos der untersuchten Rampen, Flurförderfahrzeuge und Rollcontainer.

Je Anlieferung wurden ca. 25 bis 33 Paletten bzw. Rollcontainer entladen sowie mit Leergut (gepresste PET-Flaschen), Warenrückläufen und Reststoffen (Verpackungsmaterial, Folie, Papier) beladen. Untersucht wurden mehrere Anlieferungen des allgemeinen Warensortiments aus der täglichen Anlieferung, so dass der Verladevorgang sowie die Disposition und das Gewicht der einzelnen Paletten einen repräsentativen Betriebsablauf bzw. Querschnitt einer typischen Anlieferung widerspiegelt.

Um einen Bezug zur HLFU-Studie (Heft 192) zu ermöglichen, wurde die gesamten Be- bzw. Entladung in Teilvorgänge (Überfahren Rampe und Ladebrücke mit einem Palettenhubwagen leer und voll sowie Rollgeräusche Palettenhubwagen Wagenboden) separiert.

3.3.1 Beschreibung der untersuchten Außenrampen

Untersucht wurden Verladevorgänge an Außenrampen mit zwei unterschiedlichen Ausführungsvarianten von Mini-Überladebrücken (Mini-Dock, ortsfest, mechanisch) mit Anfahr-/Rampenspuffern und Rampenniederfahrt, die hinsichtlich der Geräuschemissionen vergleichbar sind. Die Datenblätter lfd. Nr. 1, Nr. 2A, Nr. 2B, 2C und Nr. 3 im Anhang zeigen Fotos der untersuchten Rampen:

- Schwenkbare Überladebrücke (Verladeblech).

Die Brücke ist über einen Rollwagen in einem Spezialführungsprofil gehalten und seitlich verrollbar. Zum Ladevorgang wird die hochkant stehende Brücke (Nullstellung) entriegelt und heruntergelassen, sodass sich das Auflager der Rampe auf die Ladefläche des LKW legt.

- Klappkeil-Überladebrücke.

Die Klappkeilrampe aus zwei umschlagbaren Lippen wird mechanisch mit Hilfe einer Gasdruckfeder oder elektrohydraulisch betrieben. Durch das Anheben des Plateaus wird die Klappauffahrt in der obersten Stellung selbsttätig ausgeklappt und lässt sich danach auf die LKW-Ladefläche auflegen. Die Klappkeil-Überladebrücke ist als selbsttragende Einheit vor der Rampe bzw. der Toröffnung montiert.

Mini-Überladebrücken werden eingesetzt, wenn die Höhe der Verladestelle (Rampenhöhe) nur geringfügig von der Fahrzeug-Ladefläche abweicht. Durch die sogenannten „Schwimmstellung“ folgt die Brücke während der Verladung den Höhenbewegungen des LKW. Des Weiteren wurden Verladevorgänge an Außenrampen über die fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW betrachtet. Die Ladebordwand lag hierbei unmittelbar auf der Stahlkante des Betonpodestes der Außenrampe (Höhe ca. 1,3 m) auf.

3.3.2 Beschreibung der Vorsatzrampen (Innenrampen)

Untersucht wurden Verladevorgänge an Podestanlagen mit ortsfester Vorsatzrampe, mit integrierter elektrohydraulischer Überladebrücke, Anfahr-/Rampenspuffer, Planen-Torrandabdichtung und Rampenniederfahrt. Die Datenblätter lfd. Nr. 4A und Nr. 4B im Anhang zeigen Fotos der untersuchten Rampen:

Die untersuchten Vorsatzrampen mit Vorschub- oder Klappkeil wurden als selbsttragende ortsfeste Einheiten vor Rampen bzw. Toröffnungen installiert. Im Übergang zwischen Anlieferungsraum und Vorsatzrampe war i. d. R. ein Sektionaltor installiert, welches während der Verladung geöffnet wurde. Nach dem Anheben des Brückenplateaus lässt sich die Vorschublippe in die gewünschte Lage ausgefahren und absenken.

Die untersuchten Vorschubüberladebrücken unterschieden sich im Wesentlichen in der Oberflächeneigenschaft des Brückenplateaus; zum einen Standard-

Brückenplateaus (Typ A) mit einer rutschfesten und profilierten Metalloberfläche sowie geräuschgedämmte und entdröhnte Brückenplateaus mit einer Korund-Oberflächenbeschichtung auf Polyurethanbasis (Typ B). Der vordere Klappkeil der Brückenwies jeweils eine rutschfeste und profilierte Metalloberfläche ohne Beschichtung auf.

Im Außenbereich befindet sich eine Planen-Torrandabdichtung mit vorliegenden und oben aufliegenden, 3 mm dicken, gewebeverstärkten PVC-Planen zur Vermeidung von Zugluft, zum Schutz der Waren vor Witterungseinflüssen sowie zum Schutz temperaturempfindlicher Güter. Die Planen-Torrandabdichtungen schließen beim Einfahren des LKW mit den Seitenwänden und dem Dach lose ab; nach unten ist der Übergang zwischen Auflieger und Rampe offen. Es handelt sich nicht um eine aufblasbare Torrandabdichtung oder Kissen-Torrandabdichtung.

3.4 Schilderung der untersuchten Verladevorgänge

Ein Verladevorgang setzt sich zusammen aus:

Entladung Palette:

Ladung im LKW entsichern, Fahrt des leeren Flurförderfahrzeugs über die Überladebrücke oder die fahrzeugeigene Ladebordwand und den Wagenboden in den LKW-Auflieger, Aufnehmen einer Palette und Fahrt des vollen Flurförderfahrzeugs zurück in das Lager der Filiale, Abstellen der Palette. Entladen wurden unterschiedliche Paletten mit typischem Warensortiment.

Beladung Palette:

Fahrt des vollen Flurförderfahrzeugs mit vollen Paletten aus dem Lager der Filiale über die Überladebrücke oder die fahrzeugeigene Ladebordwand in den LKW-Auflieger. Beladen wurden Paletten mit Leergut (gepresste PET-Flaschen), Warenrückläufen und Reststoffen (Verpackungsmaterial, Folie, Papier).

Entladung Rollwagen:

Ladung im LKW entsichern, Fahrt des vollen Rollwagens über die Überladebrücke oder die fahrzeugeigene Ladebordwand in das Lager der Filiale, Abstellen des Rollwagens. Entladen wurden unterschiedliche Rollwagen mit typischem Warensortiment.

Beladung Rollwagen:

Fahrt eines vollen Rollwagens aus dem Lager der Filiale über die Überladebrücke oder die fahrzeugeigene Ladebordwand in den LKW-Auflieger. Beladen wurden die Rollwagen mit Leergut (gepresste PET-Flaschen), Warenrückläufen und Reststoffen (Verpackungsmaterial, Folie, Papier).

Die Vorgänge „Entladen“ und „Beladung“ wurden wechselseitig und kontinuierlich ohne Unterbrechung nach obiger Schilderung durchgeführt, um ein realistisches und praxisnahes Ergebnis zu erzielen.

3.4.1 Eingesetzte LKW-Auflieger

Die Bodenoberflächen im Auflieger bestand aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das

Dach des Aufliegers waren aus Kunststoff und Isoliermaterial.

3.4.2 Verwendete Flurförderfahrzeuge

Die verwendeten Flurförderfahrzeuge mit Elektroantrieb (Gabel-Niederhubwagen) waren mit Laufrollen (Antriebs- und Tandemrollen) mit einem Polyurethan-Elastomer-Laufbelag und Kugellagern ausgestattet.

Die Flurförderfahrzeuge entsprachen dem Stand der Technik und werden als Standardausführung angesehen. Handgeführte Palettenhubwagen werden in den untersuchten Objekten nicht mehr eingesetzt.

3.4.3 Verwendete Rollwagen

Die untersuchten Rollwagen waren größtenteils mit Hartkunststoffrollen und Kugellagern (Standardrollen) ausgestattet und vereinzelt mit Polyurethan-Elasto-

mer-Laufbelag (PU/PE), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“.

3.5 Methodik der Messdurchführung

Es wurden die Schalldruckpegel bei der Be- und Entladung an bereits errichteten Objekten gemessen.

Die Untersuchungen fanden insgesamt an 15 unterschiedlichen Standorten sowie 20 unterschiedlichen LKW-Aufliegern mit untereinander vergleichbaren Laderaumvolumen und Böden statt.

Je Anlieferung wurden insgesamt ca. 25 bis 35 Paletten bzw. Rollwagen entladen sowie mit Leergut (gepresste PET-Flaschen), Warenrückläufen und Reststoffen (Verpackungsmaterial, Folie, Papier) beladen.

Zur Erzielung repräsentativer und aussagekräftiger Messwerte, wurden insgesamt ca. 400 Paletten-

Bewegungen (Be- und Entladung) und ca. 250 Rollwagen-Bewegungen (Be- und Entladung) erfasst und ausgewertet.

Untersucht wurden Verladevorgänge mit dem aktuellen Warensortiment aus der täglichen Anlieferung, so dass der Verladevorgang sowie die Disposition und das Gewicht der einzelnen Paletten einen repräsentativen Betriebsablauf bzw. Querschnitt einer typischen Anlieferung widerspiegelt.

Die Schallpegelmessung wurde mit Handschallpegelmessern durchgeführt. Die Mikrofone wurden seitlich der Beladeöffnung im Winkel von ca. 45 ° zur Seitenwand in Fahrtrichtung in einer Höhe von ca. 3 m über Boden aufgestellt.

3.5.1 Bestimmung akustischer Kennwerte

Um die Messungen mit den Ergebnissen der HLFU-Studie vergleichen zu können, wurden der mit Impulszuschlag versehene Schalleistungspegel für ein Ereignis bezogen auf eine Stunde ($L_{WAT,1,1h}$; Gleichung (2)), der Schalleistungspegel (L_{WA} [dB(A)]; Gleichung (3a)) und der maximale Schalleistungspegel ($L_{WAm_{ax}}$ [dB(A)]; Gleichung (3b)) berechnet. Der Impulszuschlag (K_I [dB]) wurde als Differenz des Taktmaximal-Mittelungspegels ($L_{AF_{Teq}}$ [dB(A)]) und des äquivalenten Dauerschallpegels (L_{Aeq} [dB(A)]) ermittelt (Gleichung (4)).

Es wurden die Schalldruckpegel bei der Be- und Entladung an bereits errichteten Objekten gemessen.

Die Untersuchungen fanden insgesamt an 15 unterschiedlichen Standorten sowie 20 unterschiedlichen LKW-Aufliegern mit untereinander vergleichbaren Laderaumvolumen und Böden statt.

Je Anlieferung wurden insgesamt ca. 25 bis 35 Paletten bzw. Rollwagen entladen sowie mit Leergut (gepresste PET-Flaschen), Warenrückläufen und Reststoffen (Verpackungsmaterial, Folie, Papier) beladen.

Zur Erzielung repräsentativer und aussagekräftiger Messwerte, wurden insgesamt ca. 400 Paletten-

wagen-Bewegungen (Be- und Entladung) erfasst und ausgewertet.

Untersucht wurden Verladevorgänge mit dem aktuellen Warensortiment aus der täglichen Anlieferung, so dass der Verladevorgang sowie die Disposition und das Gewicht der einzelnen Paletten einen repräsentativen Betriebsablauf bzw. Querschnitt einer typischen Anlieferung widerspiegelt.

Die Schallpegelmessung wurde mit Handschallpegelmessern durchgeführt. Die Mikrofone wurden seitlich der Beladeöffnung im Winkel von ca. 45 ° zur Seitenwand in Fahrtrichtung in einer Höhe von ca. 3 m über Boden aufgestellt.

Gleichung 2

$$L_{WAT,1,1h} = 10 \cdot \log\left(\frac{T}{3600 \text{ s}}\right) + 10 \cdot \left(\frac{L_{WA}}{10}\right) + K_I$$

Gleichung 3a

$$L_{WA} = L_{AF_{Teq}} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2}\right)$$

Gleichung 3b

$$L_{AF_{max}} = L_{AF_{max}} - 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2}\right)$$

T Einwirkzeit in [s]

d Messabstand in [m]

Q Richtungsfaktor (1 Vollkugel, 2 Halbkugel, 4 Viertelkugel)

Gleichung 4

$$K_I = L_{AFTeq} - L_{AFeq}$$

Vor jeder Messreihe wurden ergänzend die Fremdgeräusche ($L_{AeqFremd}$ [dB(A)]) gemessen. Da die Mindest-

differenz von 10 dB zwischen den einzelnen Schalldruckpegeln der Messungen (L_{Aeq} [dB(A)]) und denen der Fremdgeräuschmessungen ($L_{AeqFremd}$ [dB(A)]) in allen Messreihen sicher erreicht wurde, konnte auf eine Fremdgeräuschkorrektur verzichtet werden.

3.5.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt nach einem robusten Schätzverfahren, welches die Gesamtheit der Stichproben berücksichtigt und eine Analyse von Ausreißern vornimmt, um den Einfluss von Modellabweichungen zu reduzieren [9] [10] [11].

Die Abbildungen 9 bis 24 im Anhang zeigen die Häufigkeitsverteilungen der ermittelten Schallleistungspegel $L_{WAT,1,1h}$ [dB(A)] (mit Impulszuschlag versehene Schallleistungspegel für ein Ereignis bezogen auf eine Stunde). Hierbei wurden die absoluten und kumulierten Häufigkeiten in Histogrammen dargestellt.

In den Anlagen werden zusätzlich mit Hilfe von Whisker-Box-Plot-Diagrammen das Streuungs- und Lagemaß der Schallleistungspegel $L_{WAT,1,1h}$ [dB(A)] und kurzzeitigen Maximal-Schallleistungspegel L_{WAmAx} [dB(A)] visualisiert.

Die Whisker-Box-Plot-Diagramme zeigen eine leicht unsymmetrische Verteilung (leichte Links- und Rechts-Schiefelage) der Stichproben, aber vergleichsweise wenige Ausreißer.

Da der arithmetische Mittelwert von einzelnen Ausreißern stark beeinflusst wird, die viel höher oder niedriger als der Rest der Werte liegen können, wird im vorliegenden Fall bei der Bestimmung der zentralen Tendenz der geordneten Stichprobe (x_1, x_2, \dots, x_n) von n Messwerten der Median \tilde{x} (50 % Quartil) verwendet, der robust und nicht so sensibel gegen Ausreißer ist (Robustes Schätzverfahren).

Zur Ermittlung des Median \tilde{x} wird die Stichprobe der Größe nach vom kleinsten zum größten Wert sortiert. Der kleinste Wert ist x_1 und der größte Wert x_n . Mathematisch ausgedrückt berechnet sich der Median \tilde{x} wie folgt:

Gleichung 5

Die Tabelle neben dem Box-Plot-Diagramm weist

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}} & n \text{ ungerade} \\ \frac{1}{2}(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}) & n \text{ gerade} \end{cases}$$

ferner die Standardabweichung des arithmetischen Mittelwertes s bzw. die mittlere absolute Abweichung vom Median aus:

Gleichung 6

$$s = 1/n \sum |x_i - \tilde{x}|$$

Die Ausdehnung der Box entspricht dem Interquartilsabstand (IQR = $x_{75\%} - x_{25\%}$), in dem die mittleren 50 % der Stichproben liegen. Die Box wird durch das obere 75 %-Quartil ($x_{75\%}$) und untere 25 %-Quartil ($x_{25\%}$) begrenzt. Mathematisch ausgedrückt berechnen sich das 25 %- und das 75 %-Quartil wie folgt:

Gleichung 7

$$x_{25\%} = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{n \cdot 0,25} + x_{n \cdot 0,25+1}), & \text{wenn } n \cdot 0,25 \text{ ganzzahlig} \\ x_{[n \cdot 0,25+1]}, & \text{wenn } n \cdot 0,25 \text{ nicht ganzzahlig} \end{cases}$$

Gleichung 8

$$x_{75\%} = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{n \cdot 0,75} + x_{n \cdot 0,75+1}), & \text{wenn } n \cdot 0,75 \text{ ganzzahlig} \\ x_{[n \cdot 0,75+1]}, & \text{wenn } n \cdot 0,75 \text{ nicht ganzzahlig} \end{cases}$$

Diese robusten Kennwerte zur Streuung (Beginn und Ende der Box) sind beschriftet. Des Weiteren ist der Median (50 %-Quartil) als durchgehender Strich in der Box eingezeichnet und beschriftet.

Das arithmetische Mittel ist informativ im Box-Plot als gekipptes Kreuz eingetragen und beschriftet, es wird im vorliegenden Fall bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

Der obere und untere Whisker (Antennen) außerhalb der Box gehen vom 1,5-fachen Interquartilsabstand aus, in ihm liegen ca. 95 % der Stichproben.

Der untere Whisker w_{\min} geht bis zum Maximum aus

- dem Abstand des 1,5-fachen IQR vom 25 %-Quartil ($w_{\min} = x_{25\%} - 1,5 \cdot IQR$) und
- dem Wert x_i , der am weitesten vom 25 %-Quartil entfernt und gleichzeitig größer oder gleich ist wie der Abstand des 1,5-fachen IQR vom 25 %-Quartil.

Der obere Whisker w_{\max} geht bis zum Minimum aus

- dem Abstand des 1,5-fachen IQR vom 75 %-Quartil ($w_{\max} = x_{75\%} + 1,5 \cdot IQR$) und
- dem Wert x_j , der am weitesten vom 75 %-Quartil entfernt und gleichzeitig kleiner oder gleich ist wie der Abstand des 1,5-fachen IQR vom 75 %-Quartil.

Mathematisch formuliert berechnen sich die Whisker folgendermaßen:

Gleichung 9

$$\text{unterer Whisker} = \text{MAX} (w_{\min} = x_{25\%} - 1,5 \cdot IQR; x_i)$$

Gleichung 10

$$\text{oberer Whisker} = \text{MIN} (w_{\max} = x_{75\%} + 1,5 \cdot IQR; x_j)$$

Die Whisker (Antennen) sind eingezeichnet und beschriftet.

3.6 Synopse

Die Tabellen 13 bis 16 im Anhang fassen die aktuell ermittelten Daten des TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 zusammen und stellen diese den Daten der HlfU-Studie (LKW-Lärmstudie, Heft 192) aus dem Jahr 1995 gegenüber.

In der HlfU-Studie 1995 wurden der Auswertung arithmetische Mittelwerte zu Grunde gelegt, in der vorliegenden Untersuchung von TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 die Mediane. Der Unterschied bei der Auswertung ist auf Grund der näherungsweise Normalverteilung der Stichproben geringfügig

Die Stichproben außerhalb des oberen und unteren Whiskers sind als Kreise dargestellt und beschriftet, diese werde als Ausreißer behandelt.

Der Median für die Geräuschemissionen beim Überfahren der Überladebrücke mit einem leeren Hubwagen ist in allen Fällen erwartungsgemäß höher als mit einem vollen. Der Median für das Rollgeräusch beim Befahren des Wagenbodens mit dem Hubwagen liegt deutlich unter den Werten für das Überfahren der Brücke.

In den Whisker-Box-Plot-Diagrammen ist zu erkennen, dass die Streuung der Stichproben (Interquartilsabstand) beim Überfahren der Überladebrücke (leer und voll jeweils ca. 4 dB) kleiner ist als die Streuung der Stichprobe für das Rollgeräusch beim Befahren des Wagenbodens (ca. 7 dB).

Die Stichproben werden als ausreichende und geeignete Basis für die Beurteilung der Verladevorgänge angesehen.

Im vorliegenden Fall werden der Untersuchung bei der Berechnung des Schallleistungspegels $L_{WAT,1,1h}$ [dB(A)] die Mediane (Quartil 50 %) zu Grunde gelegt, dies wird der späteren energieäquivalenten Pegelmittelung über mehrere Vorgänge gerecht. Bei der Berechnung des kurzzeitigen Maximal-Schallleistungspegels $L_{WAm\max}$ [dB(A)] werden die oberen Whisker (ca. 95 %) zu Grunde gelegt; Ausreißer bleiben wie beschrieben unberücksichtigt.

und kann im vorliegenden Fall vernachlässigt werden. Die Ergebnisse sind insgesamt vergleichbar.

In der HlfU-Studie 1995 wurden der Auswertung die höchsten gemessenen Werte zu Grunde gelegt, wobei Pegel-Ausreißer händisch bei der Auswertung ausgeschlossen wurden (1995: Pegelauswertung an Hand von analogen Pegel-Zeit-Verläufen); auf eine statistische Auswertung wurde damals verzichtet. In der vorliegenden Untersuchung des TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 liegen die Ergebnisse digital vor, so dass im Rahmen einer detaillierteren Box-

Plot-Statistik die oberen Whisker der Auswertung zu Grunde gelegt werden konnten. Hierbei werden Ausreißer oberhalb und unterhalb der Whisker-Schwellen als Ausreißer automatisch ausgeschlossen. Die Ergebnisse sind u. E. trotz der unterschiedlichen Auswertemethode insgesamt vergleichbar.

Die Untersuchung des TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 zeigt, dass im Allgemeinen bei den ermittelten Schalleistungspegeln ($L_{WAT,1,1h}$ [dB(A)]), gegenüber der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995, von geringeren Werten ausgegangen werden kann. Die geringeren Geräuschemissionen sind zurückzuführen auf den fortgeschrittenen Stand der Lärminderungstechnik:

- Verwendung moderner Flurförderfahrzeuge (Paletten-Niederhubwagen) mit Elektroantrieb und geräuscharmen Laufrollen mit geräuscharmen Polyurethan-Elastomer-Laufbelägen und Kugellagern. In der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 sowie der Veröffentlichung aus dem Jahr 2017 wurden hingegen handgeführte Palettenhubwagen verwendet, die insbesondere bei Leerfahren ein unruhigeres und lauterer Fahrgeräusch aufweisen.
- Einsatz von standardisierten Laufböden im Laderaum der Auflieger z.B. aus Aluminium mit Profilierung. In der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 wurden die damals typischen Holzverladeflächen oder Riffelblechoberflächen mit einer deutlich

höheren Geräuscentwicklung beim Überfahren untersucht.

- Aufbau der Seitenwände und Dachflächen des Aufliegers aus Kunststoff mit Isoliermaterial. In der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 wurden Planenabdeckungen mit einem deutlich geringeren Schalldämm-Maß untersucht.
- Einsatz von massiveren und konstruktiv stabileren Überladebrücken, die bei der Überfahrt nicht so leicht in Schwingungen (Geräuschabstrahlung) versetzt werden können. In der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 waren die Unterseiten der stationären Überladebrücken noch so konstruiert, dass die LKW ihre fahrzeugeigene Ladebrücke unter die Betriebsladebrücke schieben mussten. Dieser Hohlraum auf der Unterseite der Überladebrücke war eine pegelbestimmende Quelle.
- Bei den Vorschubüberladebrücken Typ B ist zusätzlich mit einer Pegelminderung auf Grund des schalldämmten und entdröhnten Brückenplateaus mit einer Korund-Oberflächenbeschichtung auf Polyurethanbasis zu rechnen.
- Bei Rollwagen ist zusätzlich mit einer Pegelminderung bei Verwendung von Polyurethan-Elastomer-Laufbelägen (PU/PE) zu rechnen, sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“. In der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 wurden hingegen nur Rollwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen) verwendet.

3.6.1 Diskussion Vorsatzrampen (Innenrampen)

Eine akustische Schwachstelle bei der Verladung ist weiterhin der Übergang von der Vorschubüberladebrücke der Vorsatzrampen in den LKW-Laderaum. Beim Überfahren dieser Übergänge wurden, wie auch schon im Jahr 1995, die höchsten kurzzeitigen Maximalpegel gemessen. Der Übergang ist konstruktionsbedingt nach unten hin offen, so dass nach wie vor eine ungehinderte Geräuschabstrahlung möglich ist.

Die in den Jahren 2019 bis 2023 durch TÜV NORD ermittelten kurzzeitigen Maximal-Schalleistungs-

pegel (L_{WAmax} [dB(A)]) für die Vorsatzrampen Typ A haben sich gegenüber der HLFU-Studie nicht maßgeblich verändert.

Die in den Jahren 2019 bis 2023 durch TÜV NORD ermittelten kurzzeitigen Maximal-Schalleistungspegel (L_{WAmax} [dB(A)]) für die Vorsatzrampen Typ B haben sich gegenüber der HLFU-Studie verringert. Dies wird auf die schalldämmende und entdröhnende Korund-Oberflächenbeschichtung des beschichteten Brückenplateaus zurückgeführt.

3.6.2 Diskussion Außenrampen

Pegelbestimmend bei der Verladung von Paletten und Rollwagen an Außenrampen sind weiterhin die Geräusche der Hubwagen bzw. Rollwagen beim Überfahren der fahrzeugeigenen Ladebordwand des LKW bzw. der stationären Mini-Überladebrücke (Mini-Dock) der Rampe, da diese Überfahrten im Freien liegen und die Schallwellen sich annähernd ungehindert ausbreiten können.

Die Geräusche beim Überfahren der Ladebordwand sind gegenüber den Geräuschen beim Überfahren der Mini-Überladebrücke (Mini-Dock) geringfügig höher. Dies ist auf den kürzeren Fahrweg über die Mini-Überladebrücke (Mini-Dock) sowie die kürzere Einwirkzeit zurückzuführen.

Wie auch schon in den Untersuchungen in den Jahren zuvor zeigt sich, dass das Befahren mit leeren Elektro-Flurförderfahrzeugen höhere Pegel erzeugt, als mit voll beladene Flurförderfahrzeugen. Dies wird auf vermehrte Schlag- und Klappergeräusche der weniger stark belasteten Überladebrücken bzw. Ladebordwände (Auflager Auflieger bzw. Rampe) sowie den weniger stark belasteten Lagern der Flurförderfahrzeuge bei den Leerfahrten zurückgeführt.

3.7 Fazit

Die neuen Messwerte können zukünftig als Datengrundlage zur Erstellung von Schallimmissionsprognosen nach TA Lärm eingesetzt werden.

Die Tabellen Nr. 13 bis Nr. 16 im Anhang fassen die ermittelten Emissionsdaten zusammen.

Die Rollgeräusche auf dem Wagenboden der LKW-Auflieger sind erwartungsgemäß unabhängig von der Art der Rampenüberfahrt (Ladebordwand oder Überladebrücke) und dem Beladezustand der Wagen und folglich annähernd gleich.

Die in den Jahren 2019 bis 2023 durch TÜV NORD ermittelten kurzzeitigen Maximal-Schallleistungspegel (L_{WAmax} [dB(A)]) bei der Verladung von Rollcontainern haben sich gegenüber der HLFU-Studie 1995 nicht maßgeblich verändert. Lediglich bei der Verladung von Paletten über Überladebrücken wurden geringere Maximalpegel ermittelt.

Die geringeren Maximal-Schallleistungspegel (L_{WAmax} [dB(A)]) in der Studie des TÜV NORD aus den Jahren 2019 bis 2023 bei der Verladung von Paletten über schwenkbare Überladebrücken gegenüber der HLFU-Studie aus dem Jahr 1995 sind auf die Verwendung moderner Flurförderfahrzeuge (Paletten-Niederhubwagen) mit Elektroantrieb und geräuscharmen Laufrolle mit geräuscharmen Polyurethan-Elastomer-Laufbelägen und Kugellagern zurückzuführen.

Die Tabellen verweisen jeweils in den vorletzten Zeilen auf die beigeordneten Datenblätter lfd. Nr. 1 bis Nr. 4 im Anhang, die weitere Details, Frequenzspektren und Fotos der untersuchten Rampen beinhalten. Ferner wird jeweils in der letzten Zeile der Tabellen auf die zu Grunde liegende Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben im Anhang verwiesen.

Anhang zu Teil 3: Verladegeräusche an Einkaufsmärkten

Tab. 13: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse; Be- und Entladung von Paletten mittels Elektro-Flurförder-Fahrzeug bzw. handgeführtem Palettenhubwagen über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Verladung von Paletten an Außenrampe	TÜV NORD Jahr 2019-2021			HLfU, Heft 192 Jahr 1995	
	Be- und Entladung			Beladung	Entladung
	Verladen von Paletten über fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug bzw. handgeführte Palettenhubwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“			Verladen von Paletten über fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw mit handgeführtem Palettenhubwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)	
	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]			$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [arithmetischer Mittelwert]	
leer über Ladebordwand	79,6			89,1	85,2
voll über Ladebordwand	75,5			88,0	84,0
Rollgeräusch Wagenboden Auflieger (2x)	71,8			75,0	75,0
Summenpegel bez. auf 1 Stunde und 1 Ladeinheit (Ein- u. Ausfahrt)	82,0			91,8	88,1
	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]			$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [höchster gemessener Wert]	
kurzzeitige Pegelspitzen während der Verladung	113,3			114,0	114,0
Technisches Datenblatt	Lfd. Nr. 1			–	–
Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben	vgl. Abb. 9 bis Abb. 11			–	–

Tab. 14: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse; Be- und Entladung von Rollcontainern über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch) sowie über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Verladung von Rollcontainer an Außenrampe	TÜV NORD Jahr 2019-2023			HLfU, Heft 192 Jahr 1995
	Be- und Entladung			Be- und Entladung
	Rollcontainer	Rollcontainer	Rollcontainer	Rollcontainer
	über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch) mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)	über fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)	über fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“	über fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen)
	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [arithmetischer Mittelwert]
voll, Überfahrt Ladebordwand bzw. Überladebrücke	73,1	73,9	72,0	77,4
voll, Rollgeräusche Wagenboden Auflieger	64,9	65,3	64,0	75,0
Summenpegel bez. auf 1 Stunde und 1 Ladeinheit	73,7	74,5	73,0	79,4
	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [höchster gemessener Wert]
kurzzeitige Pegelspitzen während der Verladung	110,7	112,1	110,0	111,0
Technisches Datenblatt	Lfd. Nr. 2A	Lfd. Nr. 2B	Lfd. Nr. 2C	–
Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben	vgl. Abb. 12 und Abb. 13	vgl. Abb. 14 und Abb. 15	–	–

Tab. 15: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse; Be- und Entladung von Paletten an Außenrampe mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug bzw. handgeführtem Palettenhubwagen über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch)

Verladung von Paletten an Außenrampe	TÜV NORD Jahr 2019-2021	HLfU, Heft 192 Jahr 1995
	Be- und Entladung	Be- und Entladung
	Verladen von Paletten über stationäre, schwenkbare Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch) mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug bzw. handgeführte Palettenhubwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PE), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“	Verladen von Paletten über stationäre, schwenkbare Überladebrücke mit handgeführtem Palettenhubwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)
	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [arithmetischer Mittelwert]
leer über Überladebrücke	77,0	86,0
voll über Überladebrücke	72,7	81,1
Rollgeräusch Wagenboden Aufzieger (2x)	71,7	75,0
Summenpegel bez. auf 1 Stunde und 1 Ladeinheit (Ein- u. Ausfahrt)	79,9	87,7
	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [höchster gemessener Wert]
kurzzeitige Pegelspitzen während der Verladung	112,3	120,0
Technisches Datenblatt	Lfd. Nr. 3	–
Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben	vgl. Abb. 16 bis Abb. 18	–

Tab. 16: Zusammenfassung und Gegenüberstellung der Ergebnisse; Be- und Entladung von Paletten an Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Typ A und Typ B (Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung)

Verladung von Paletten an Innenrampe	TÜV NORD Jahr 2019-2021	TÜV NORD Jahr 2019-2021	HLfU, Heft 192 Jahr 1995
	Be- und Entladung	Be- und Entladung	Be- und Entladung
	Verladen von Paletten an Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung – Typ A	Verladen von Paletten an Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung – Typ B	Verladen von Paletten an Innenrampe mit integrierter Überladebrücke und mit Torrandabdichtung
	mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug bzw. handgeführte Palettenhubwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU), sogenannte „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“		mit handgeführten Palettenhubwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)
	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [Median]	$L_{WAT,1,1h}$ in [dB(A)] [arithmetischer Mittelwert]
leer über Überladebrücke	74,2	68,9	76,5
voll über Überladebrücke	68,2	61,1	72,1
Rollgeräusch Wagenboden Aufzieger (2x)	60,6	60,5	75,0
Summenpegel bez. auf 1 Stunde und 1 Ladeinheit (Ein- u. Ausfahrt)	75,5	70,5	80,9
	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [oberer Whisker]	$L_{WAm\max}$ in [dB(A)] [höchster gemessener Wert]
kurzzeitige Pegelspitzen während der Verladung	110,7	104,3	110,0
Technisches Datenblatt	Lfd. Nr. 4A	Lfd. Nr. 4B	–
Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben	vgl. Abb. 19 bis Abb. 21	vgl. Abb. 22 bis Abb. 24	–

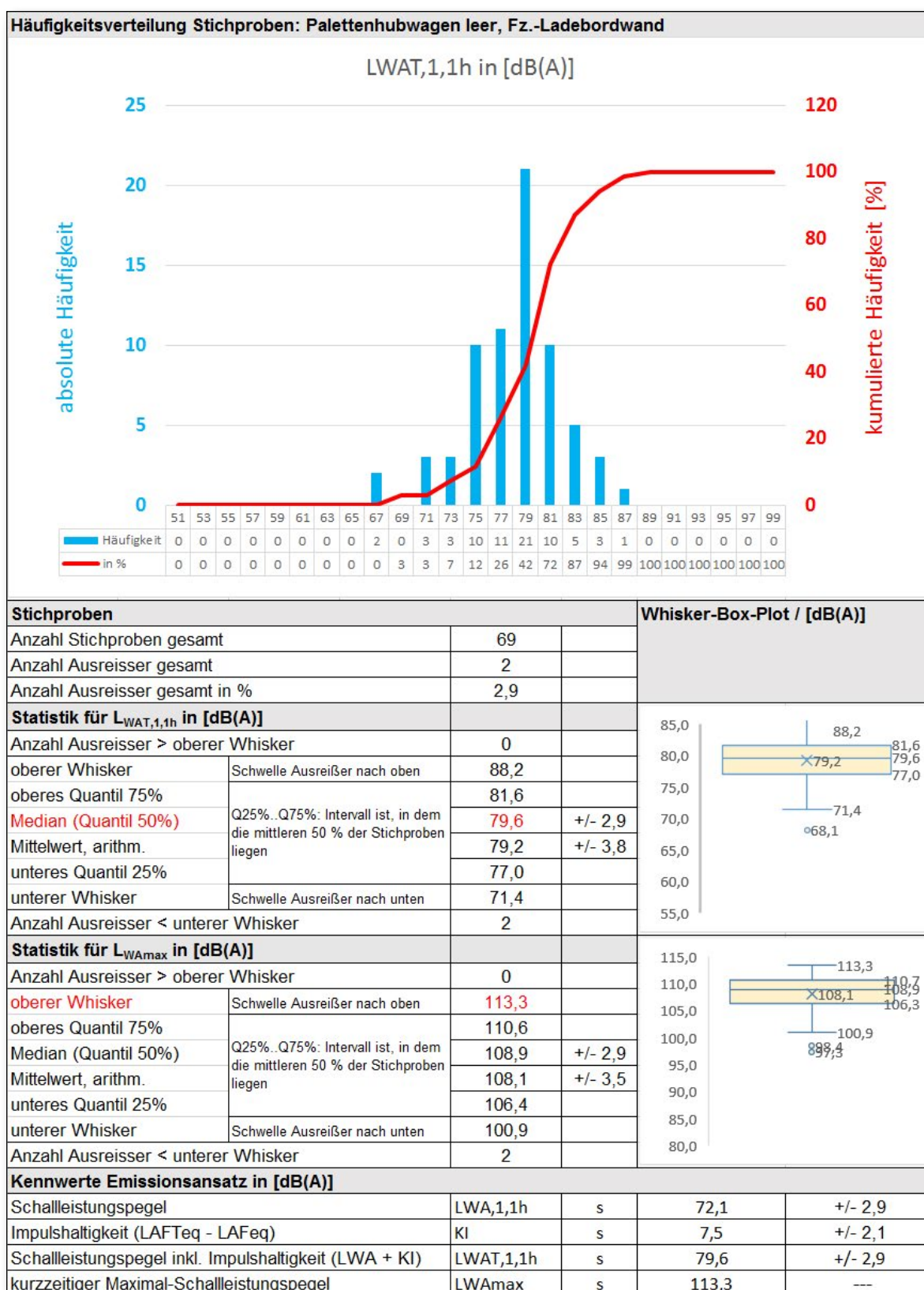


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (leer) über fahrzeugeigene Ladebordwand LKW

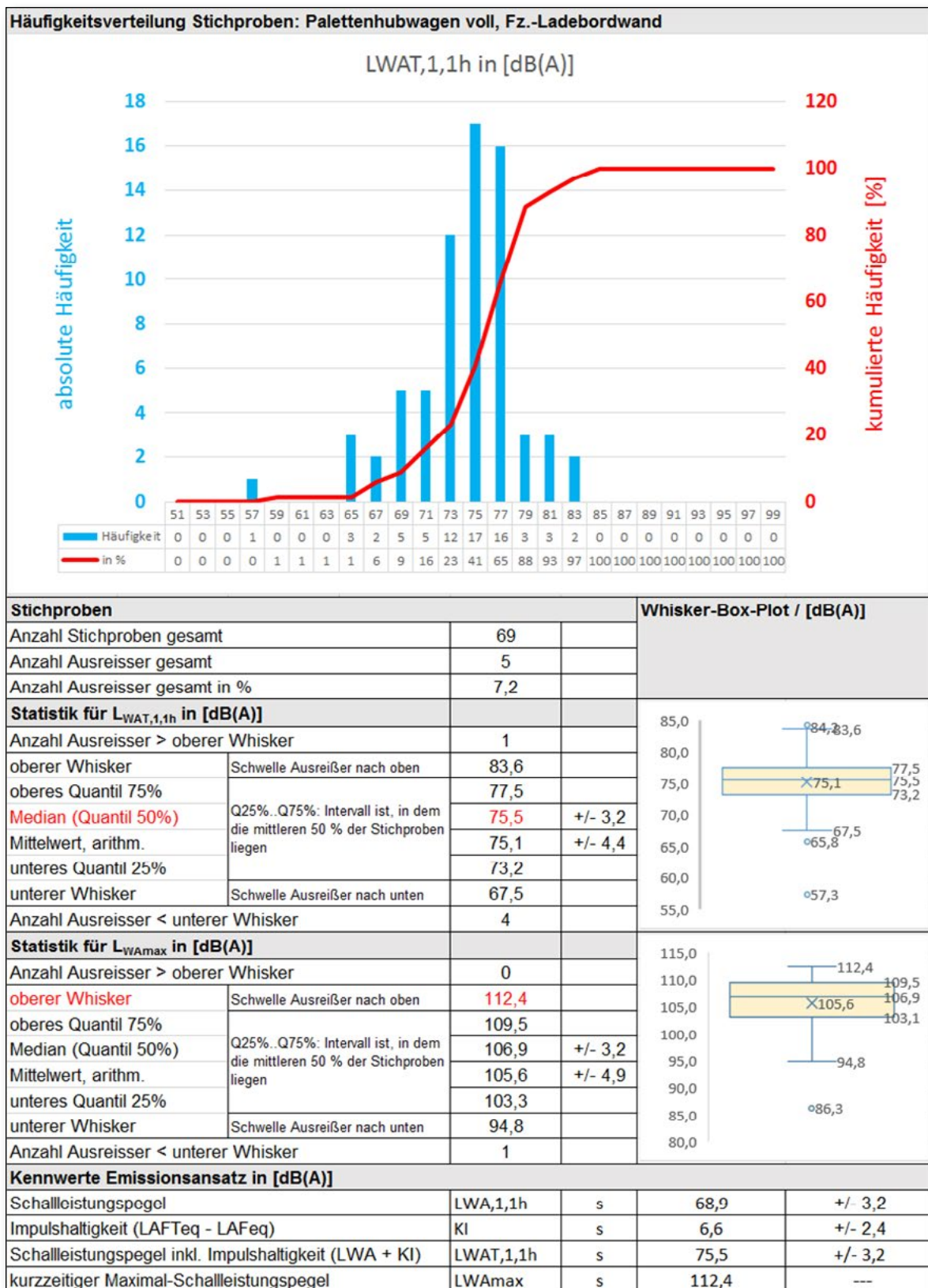


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (voll, Palette) über fahrzeugeigene Ladebordwand LKW

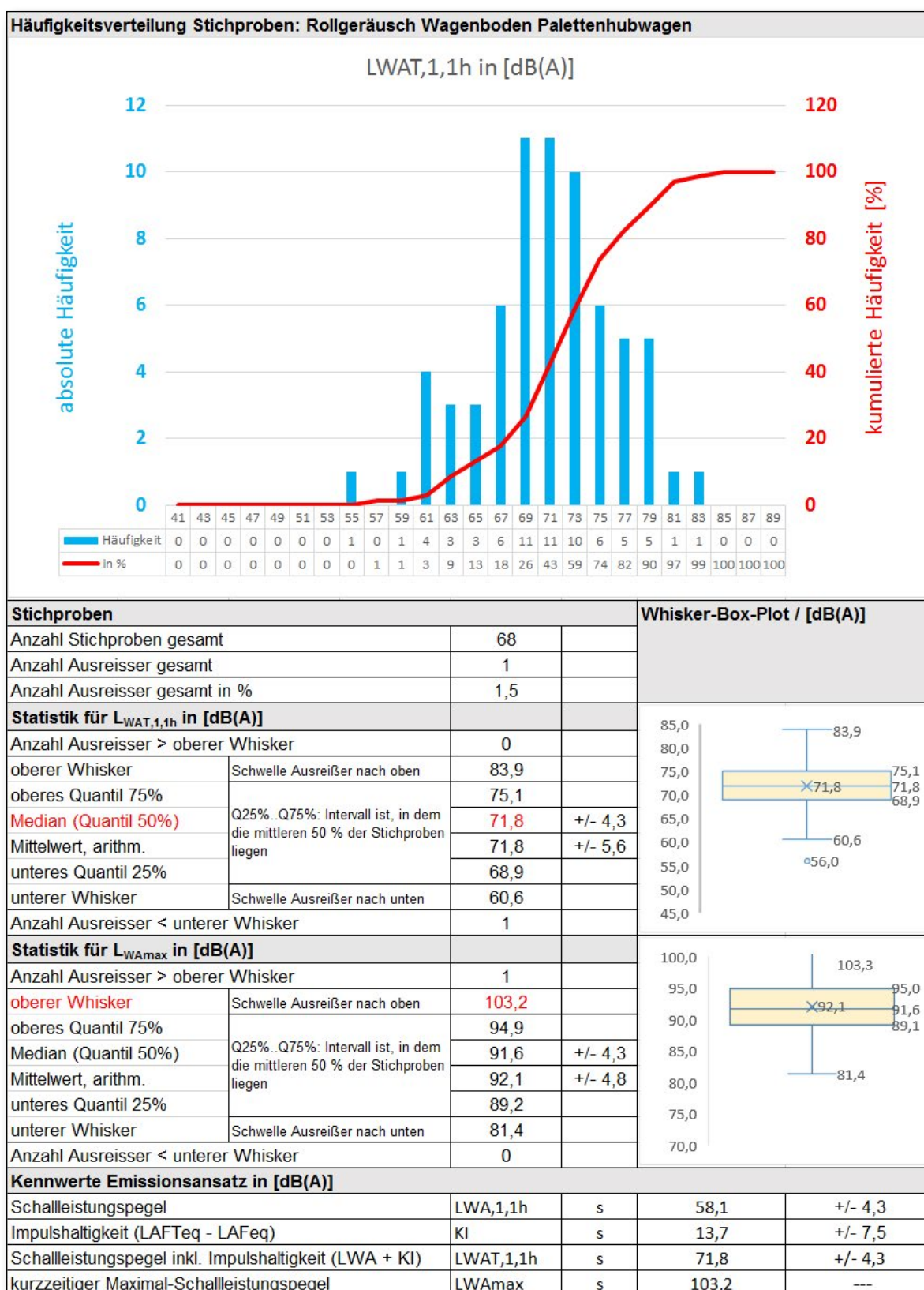


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (leer und voll, Palette) über Wagenboden des LKW-Aufliegers

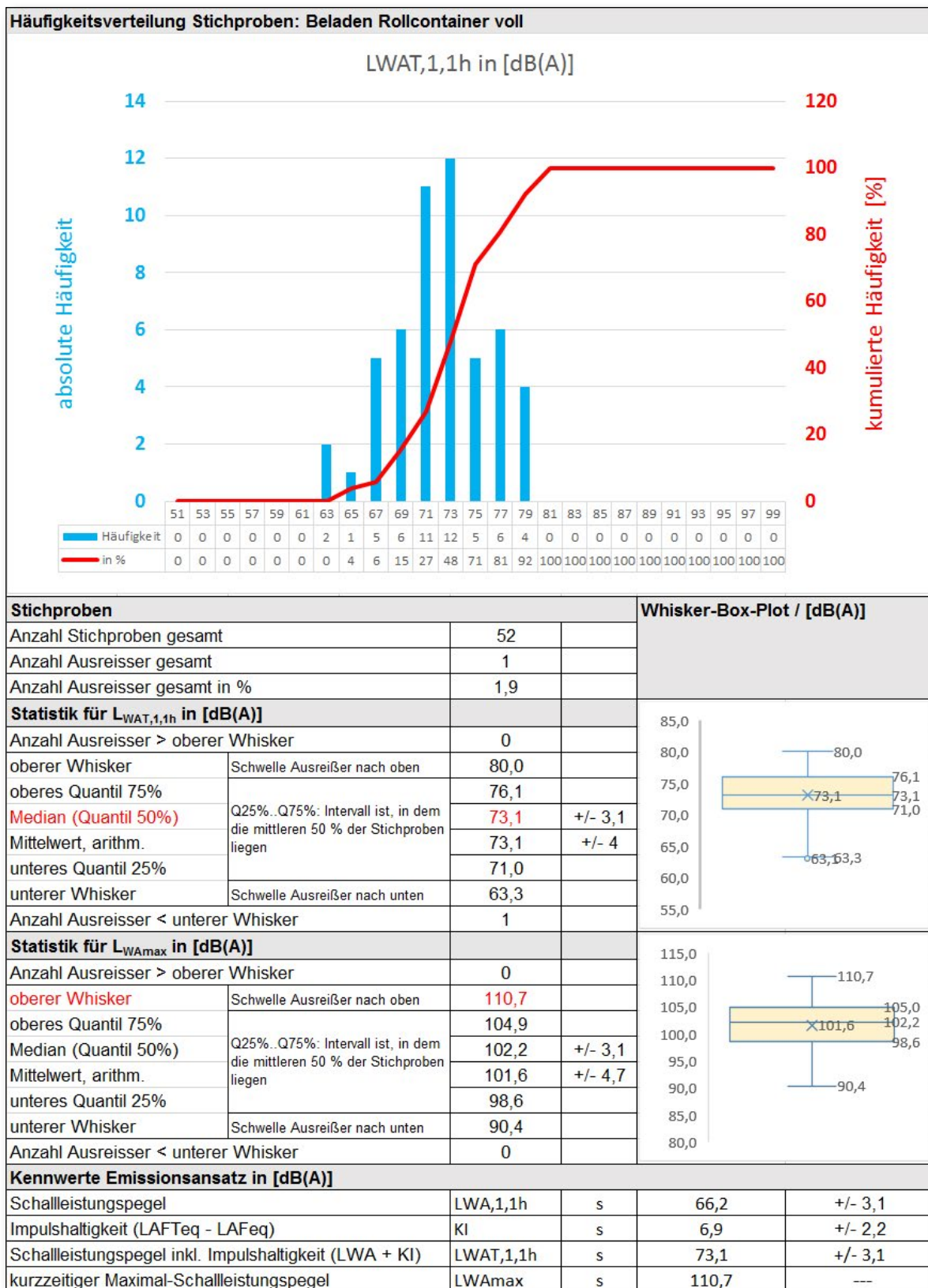


Abb. 12: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe mit stationärer, schwenkbarer Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch), Rollgeräusche Rollwagen (voll) über Überladebrücke

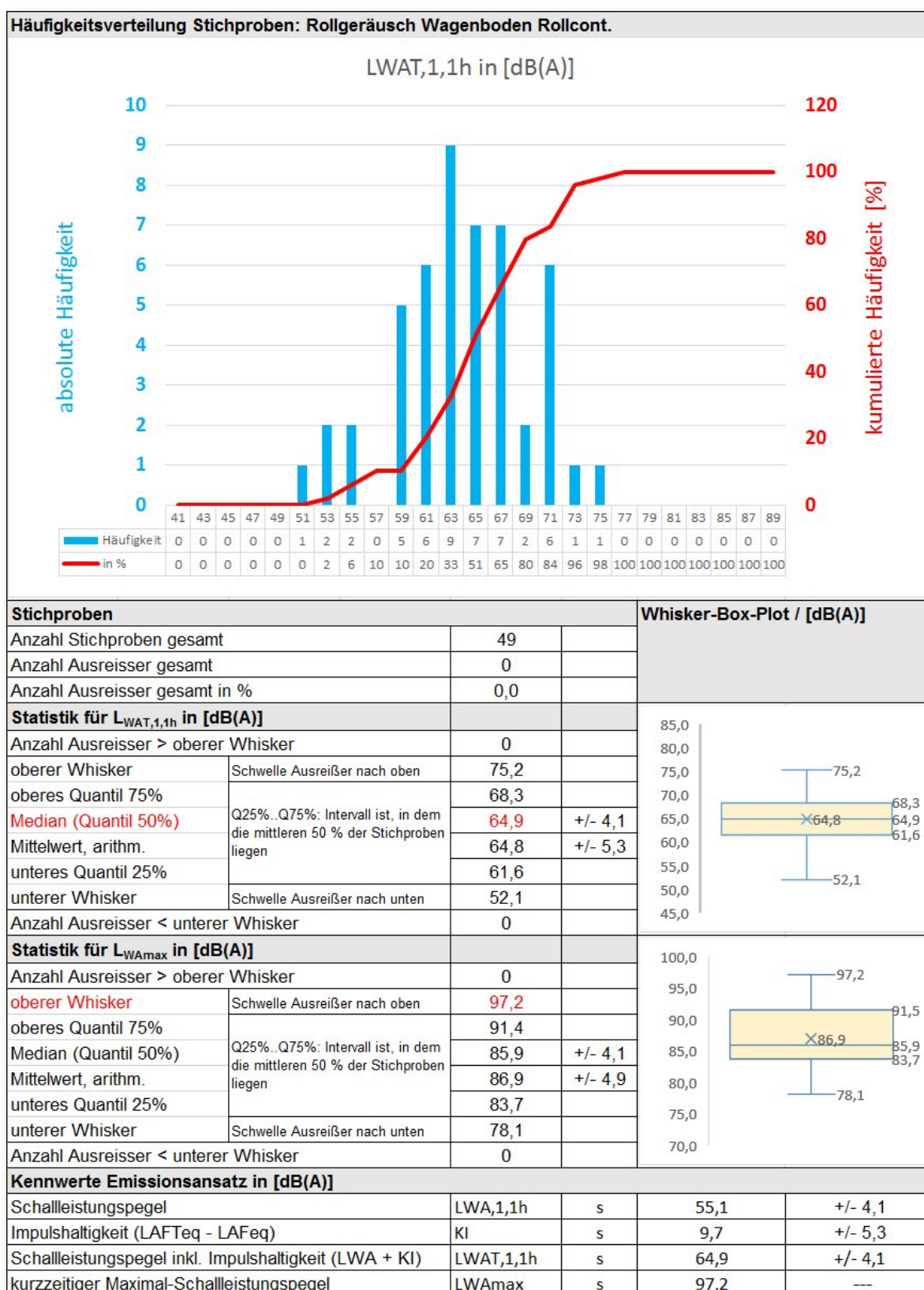


Abb. 13: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe mit stationärer, schwenkbarer Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch), Rollgeräusche Rollwagen (voll) über Wagenboden des LKW-Aufliegers

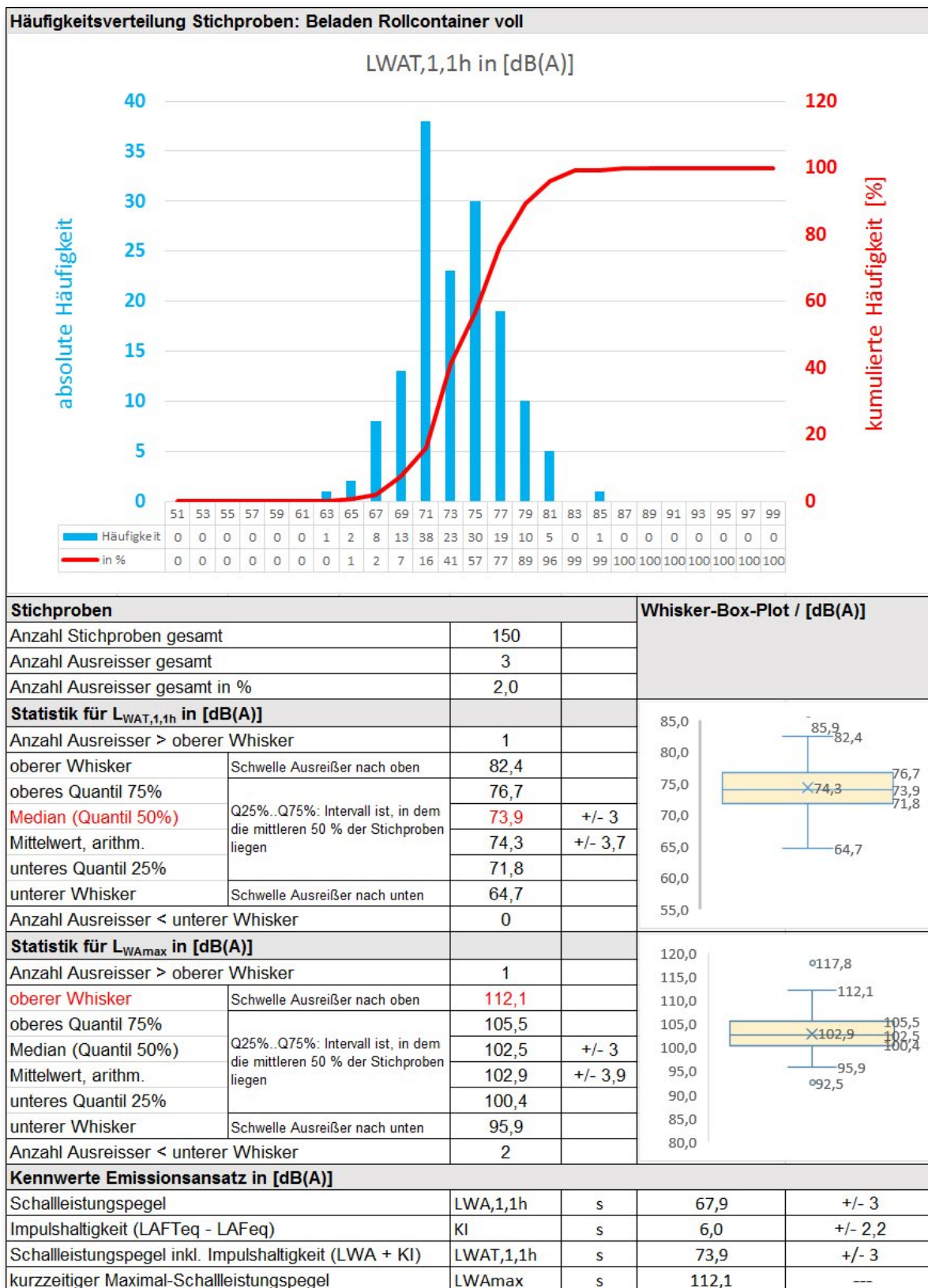


Abb. 14: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe, Rollgeräusche Rollwagen (voll) über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

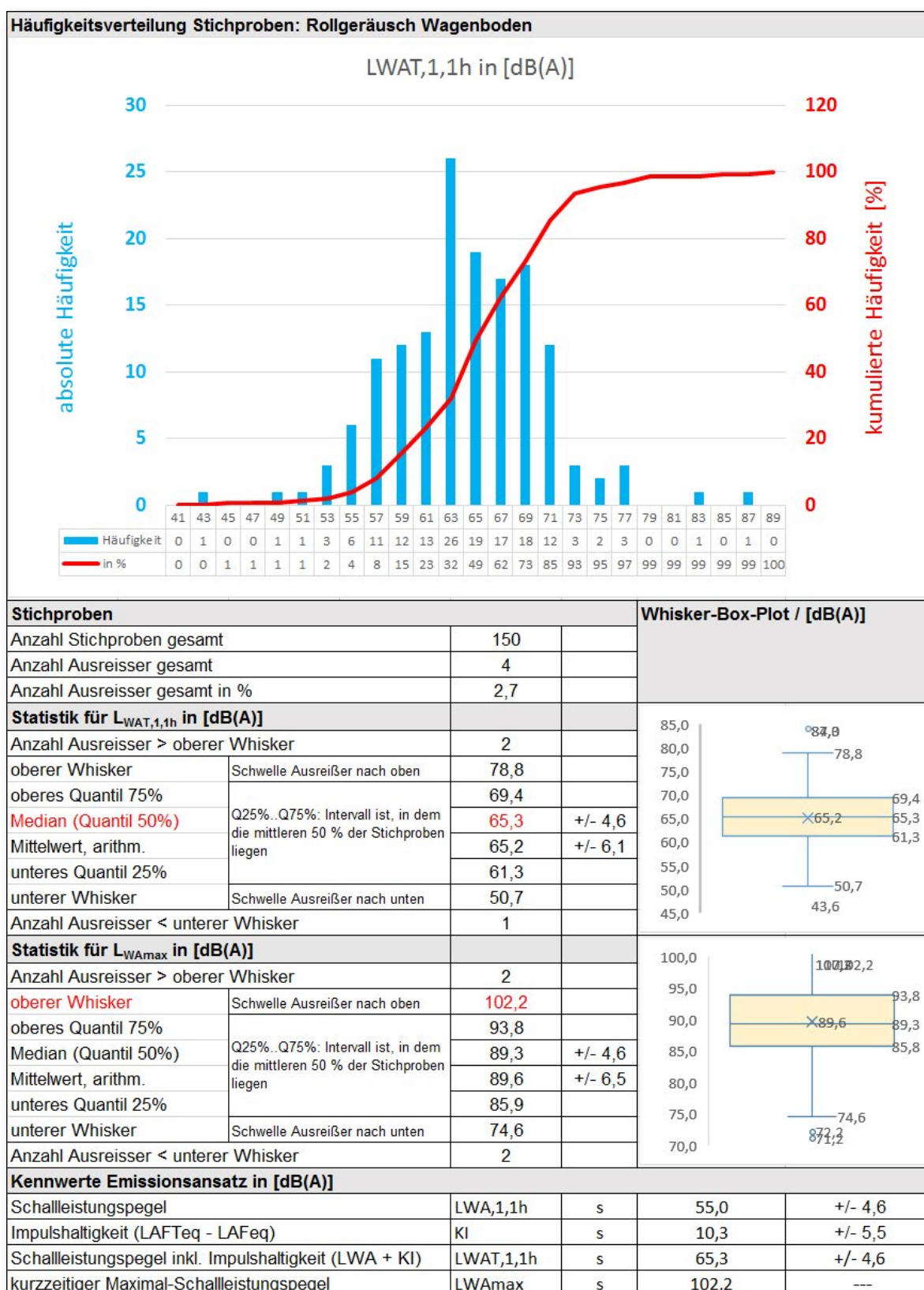


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe, Rollgeräusche Rollwagen (voll) über Wagenboden des LKW-Aufliegers

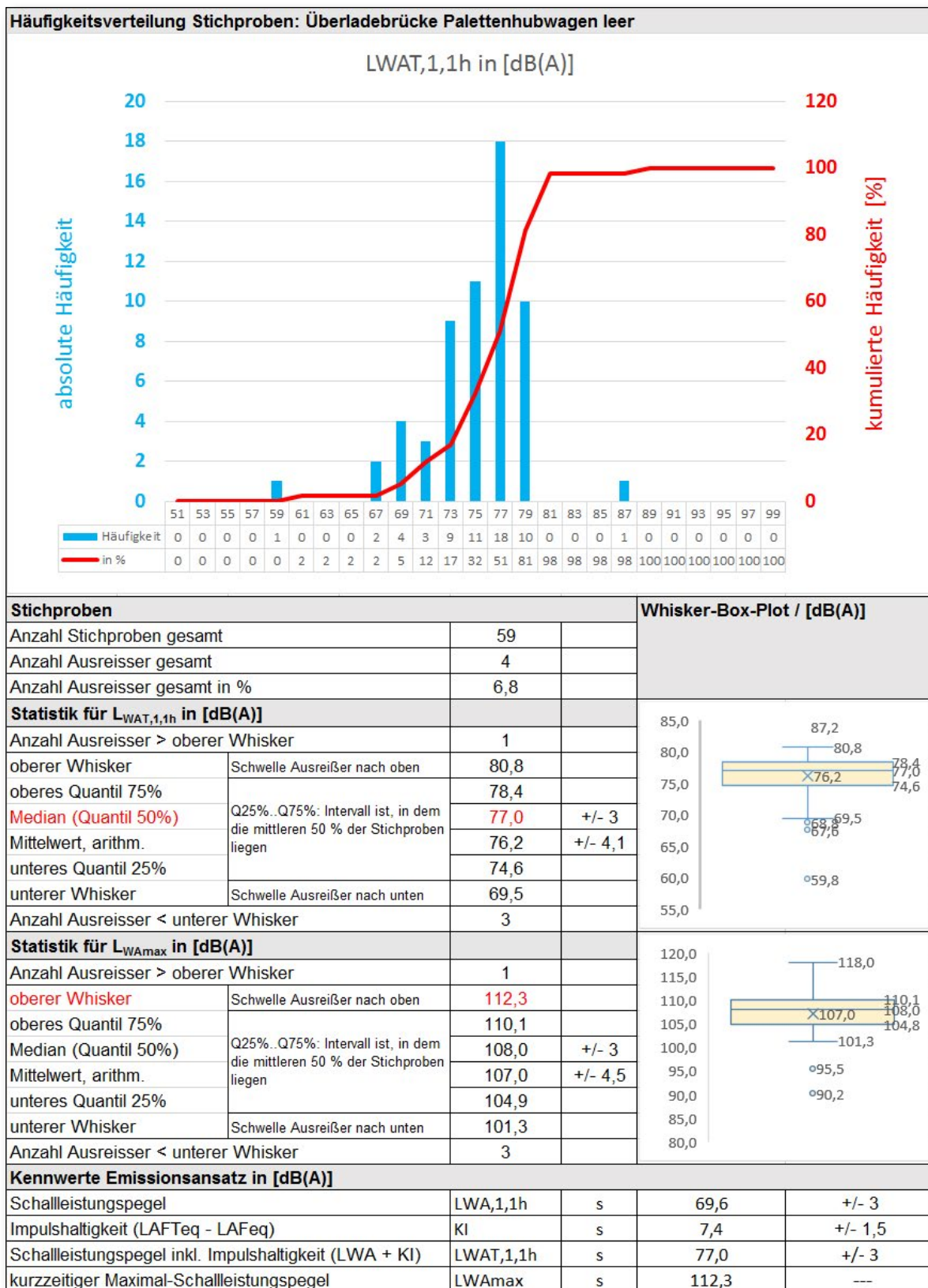


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe mit stationärer, schwenkbarer Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch), Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (leer) über Überladebrücke

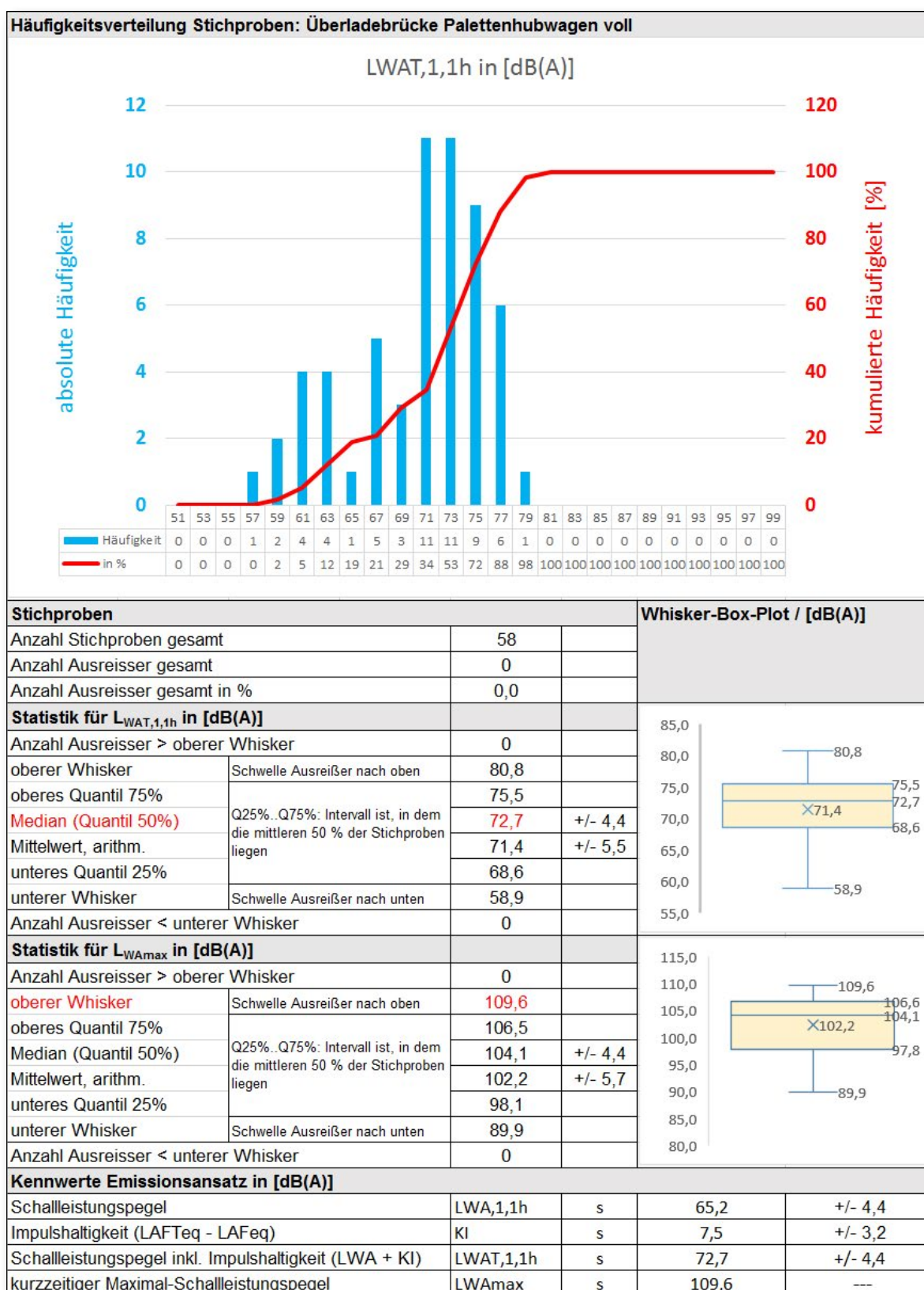


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe mit stationärer, schwenkbarer Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch), Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (voll, Paletten) über Überladebrücke

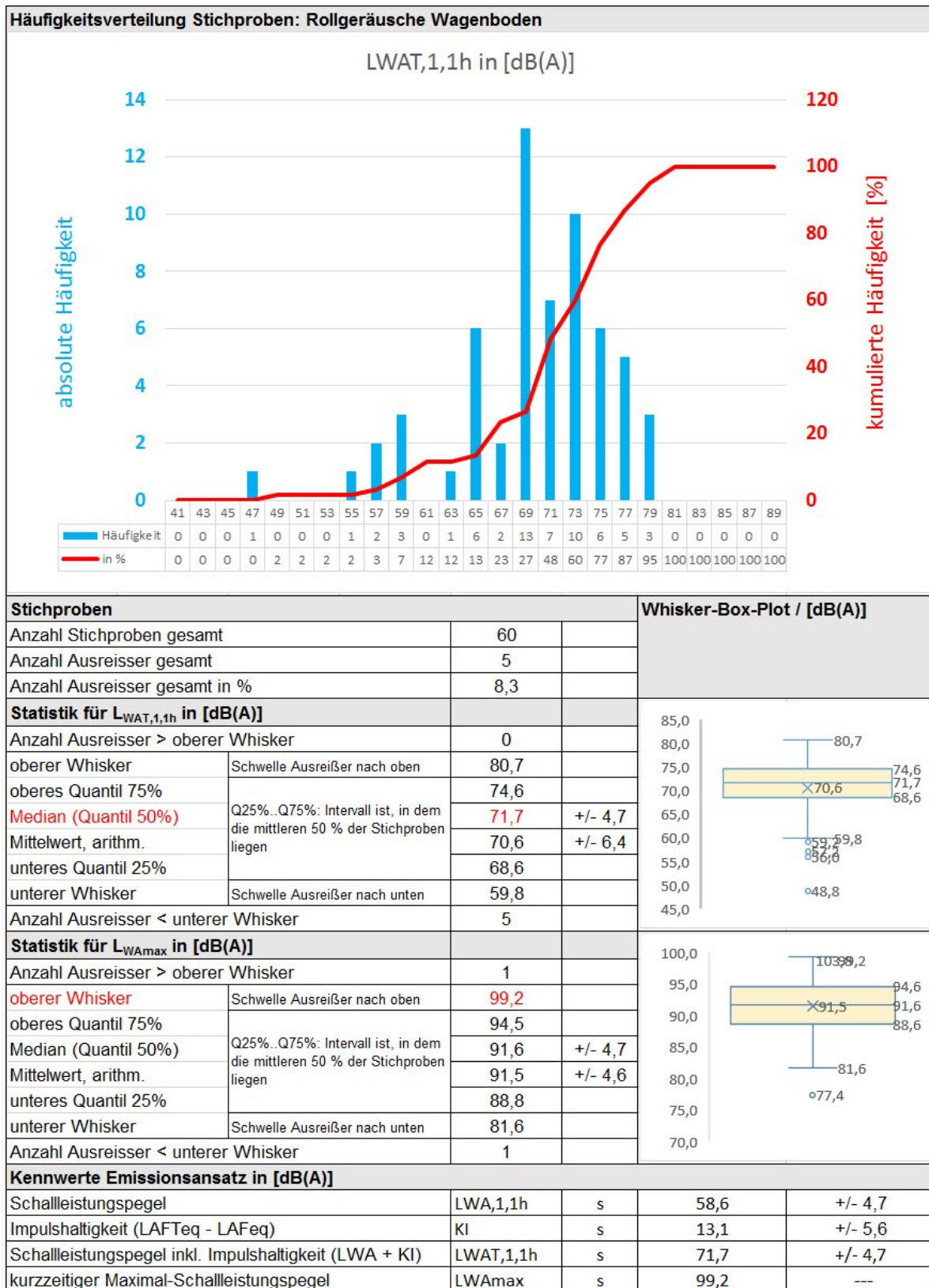


Abb. 18: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Außenrampe mit stationärer, schwenkbarer Mini-Überladebrücke (Mini-Dock, mechanisch), Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug über Wagenboden des LKW-Aufliegers

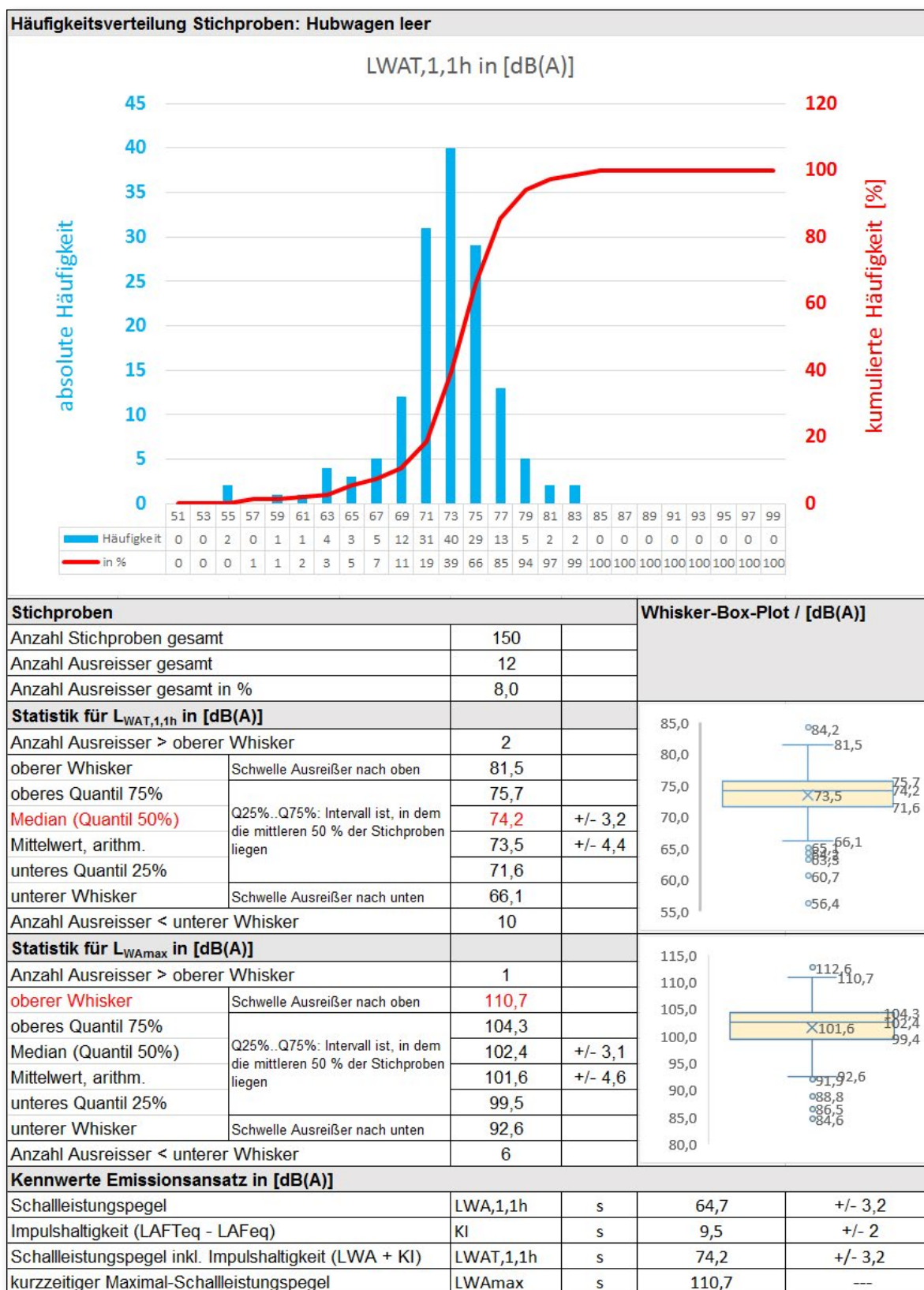


Abb. 19: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Typ A, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (leer) über Überladebrücke

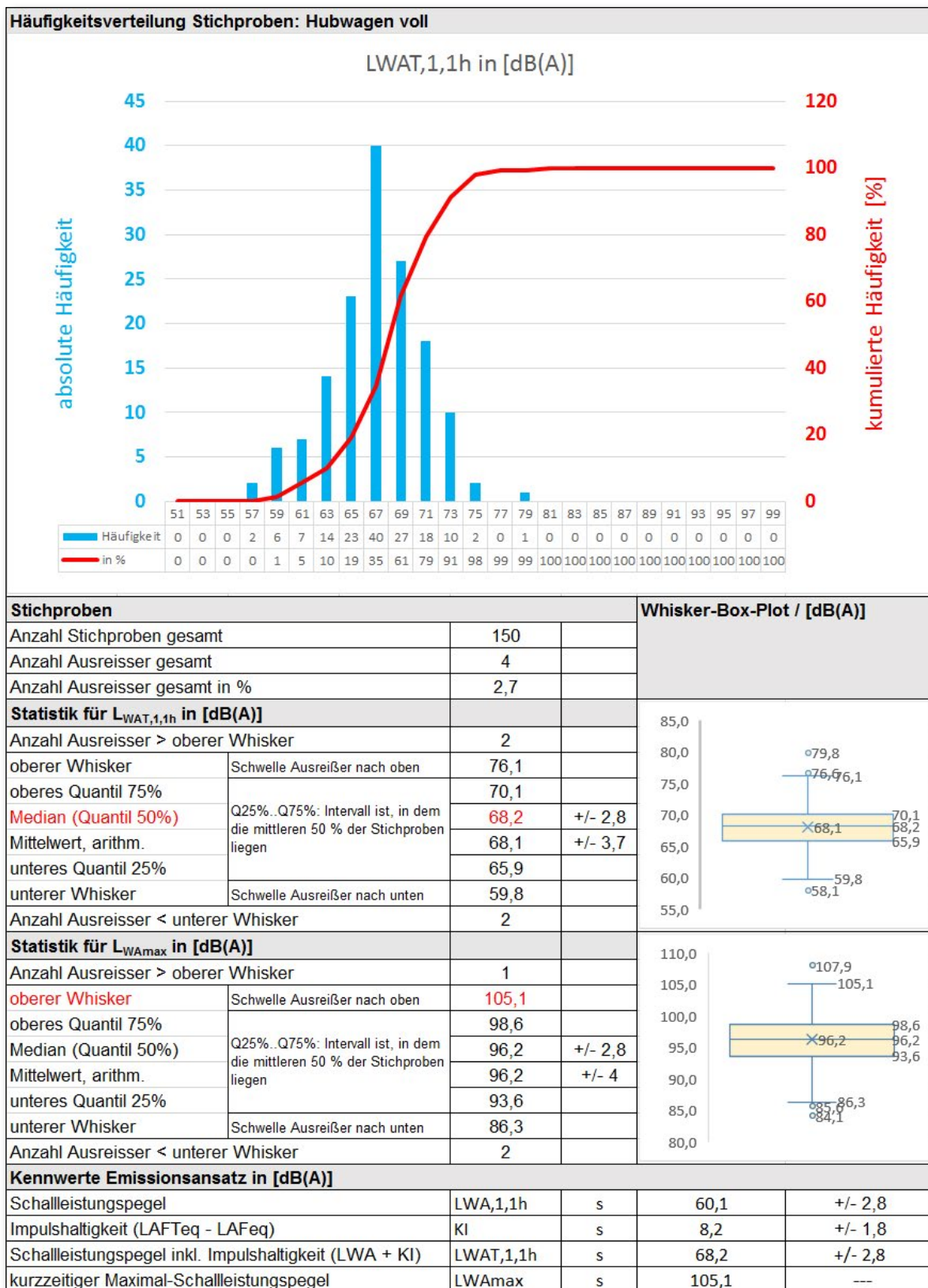


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Typ A, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (voll, Paletten) über Überladebrücke

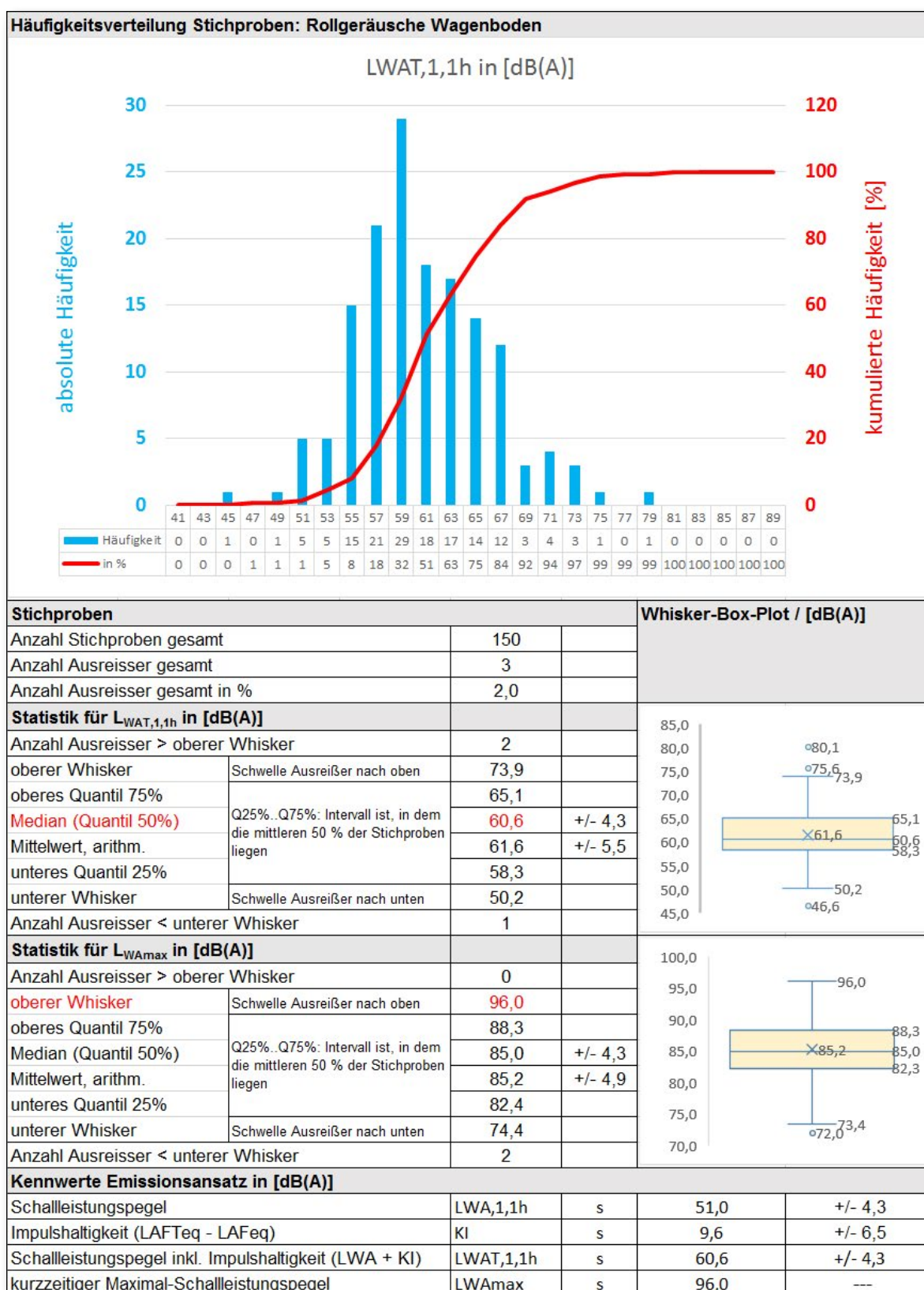


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Typ A, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug Wagenboden des LKW-Aufliegers

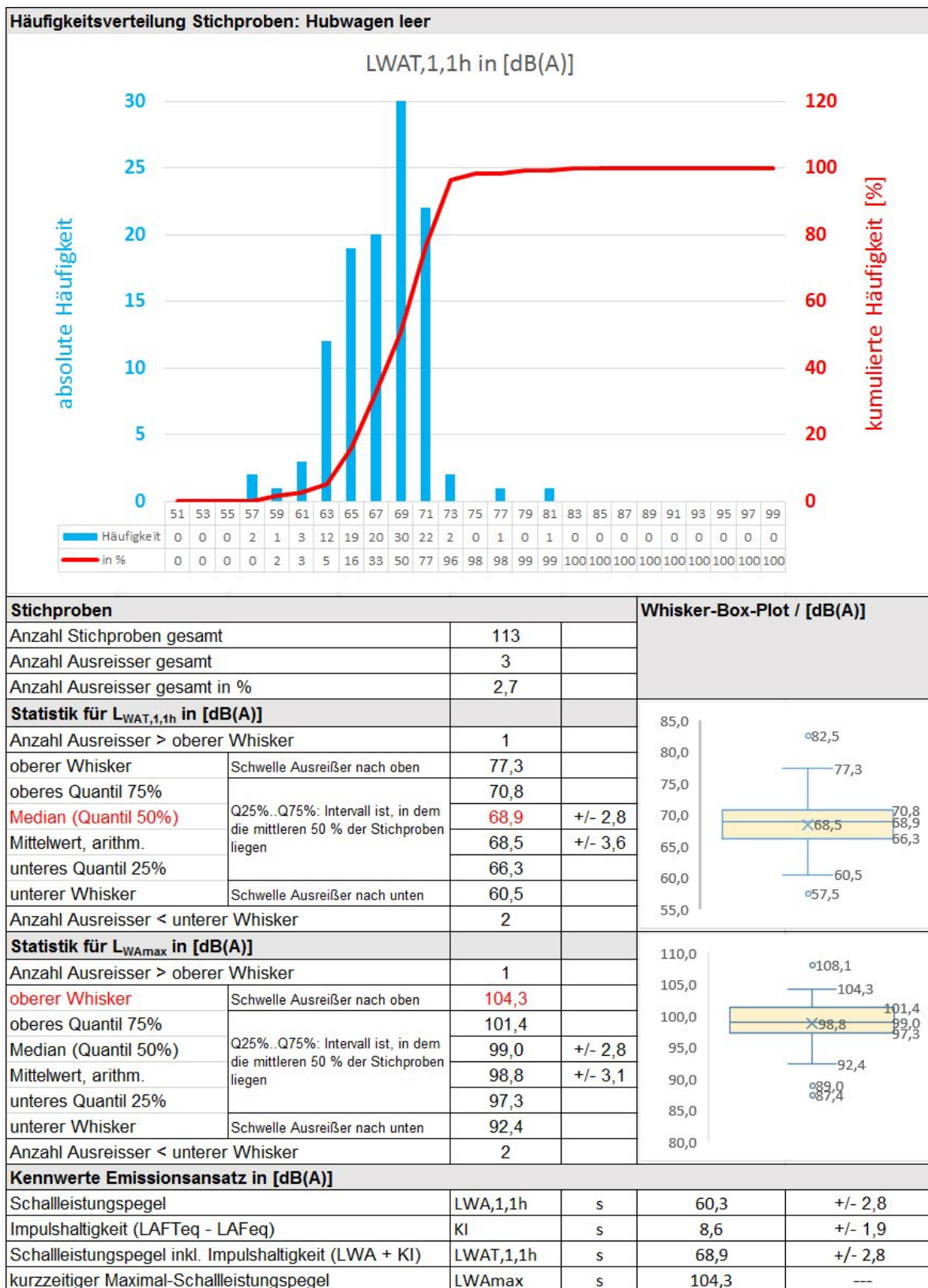


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung, Typ B, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (leer) über Überladebrücke

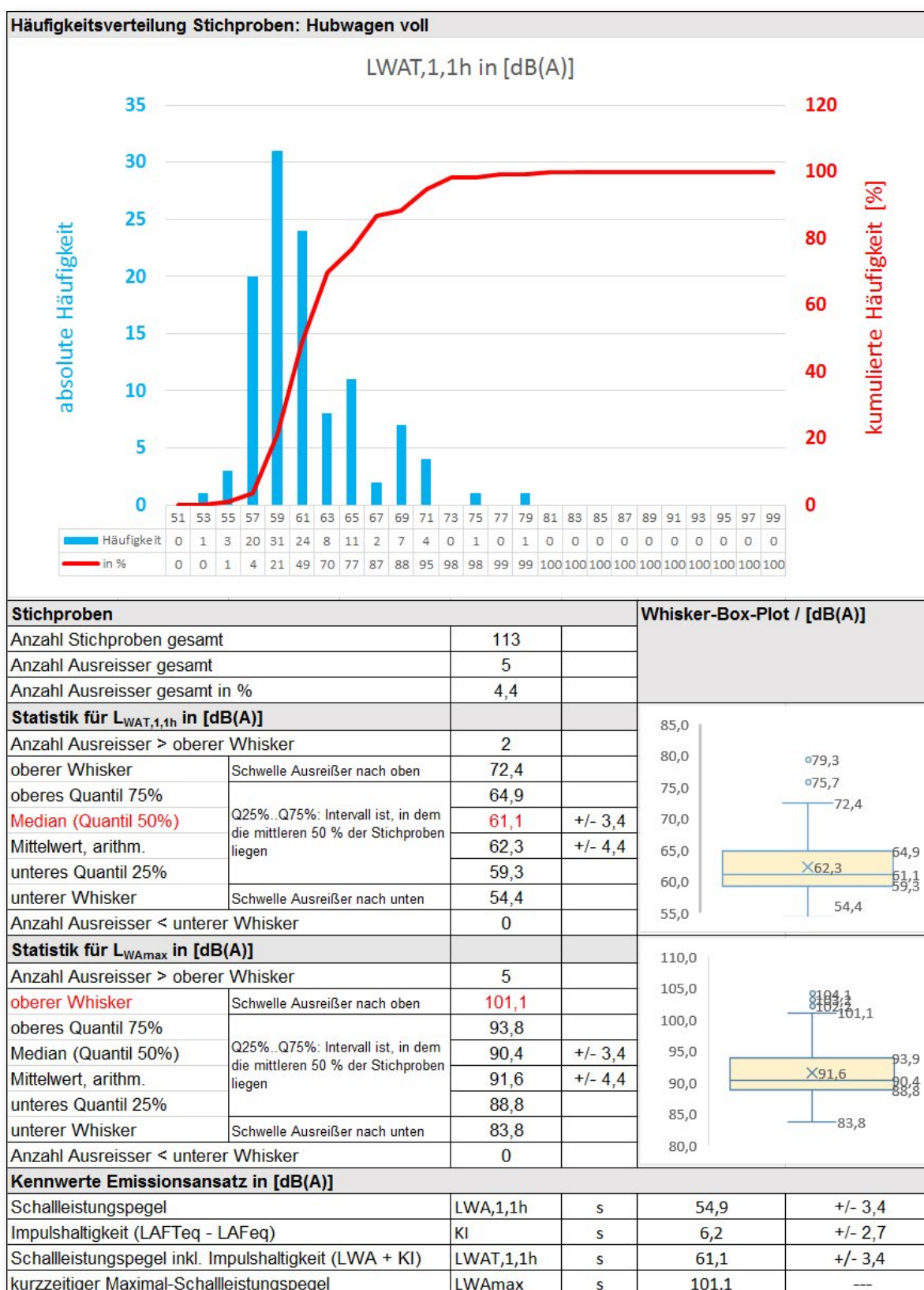


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung, Typ B, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug (voll, Paletten) über Überladebrücke

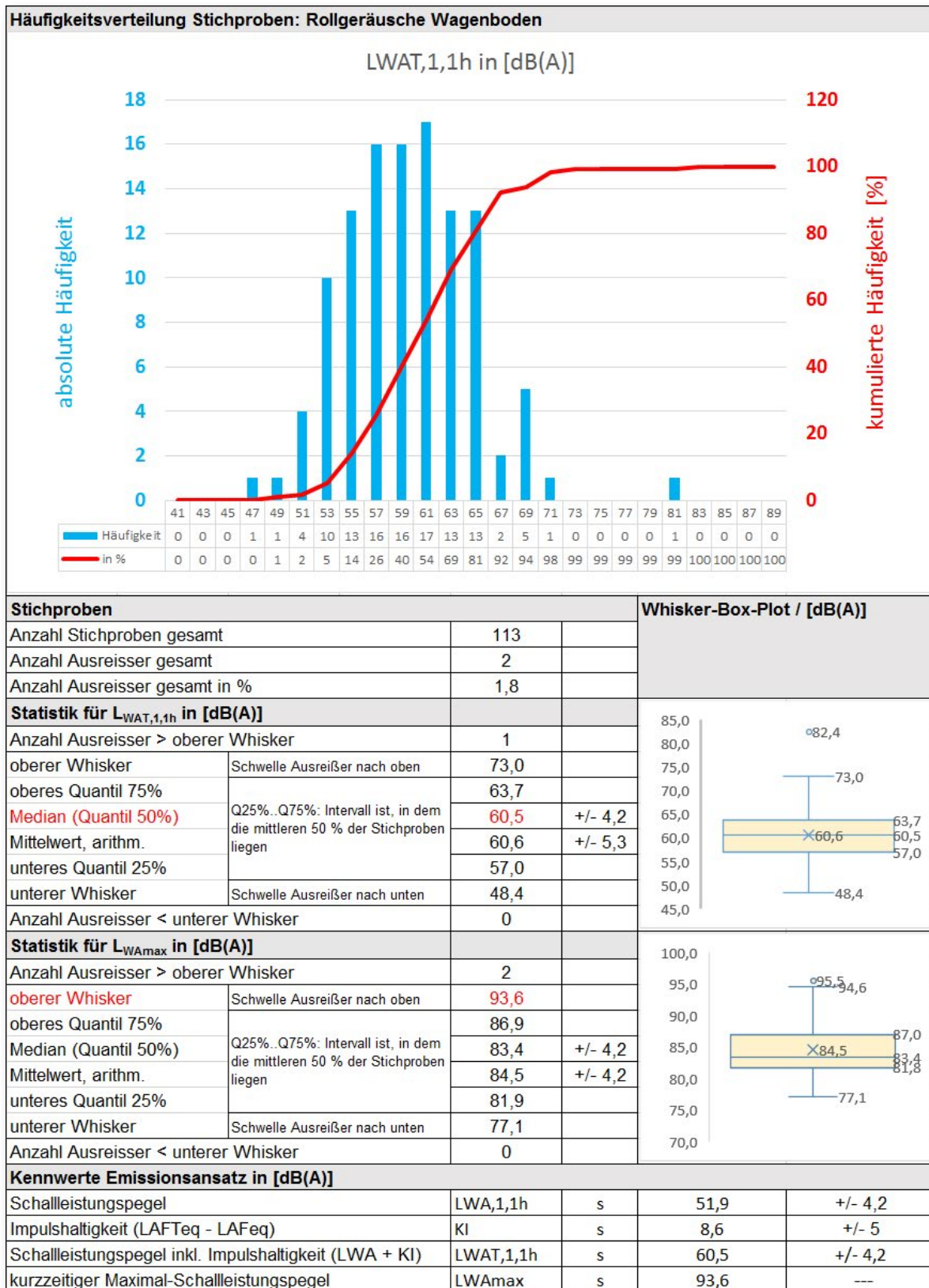


Abb. 24: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe (Vorsatzrampe) mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung, Brückenplateau mit Anti-Dröhn Korund-Beschichtung, Typ B, Rollgeräusche Elektro-Flurförder-Fahrzeug Wagenboden des LKW-Aufliegers

Technisches Datenblatt Nr. 1 Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 1

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Paletten mittels E Flurförder-Fahrzeug über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Verladevorgänge an Außenrampen über die fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW.

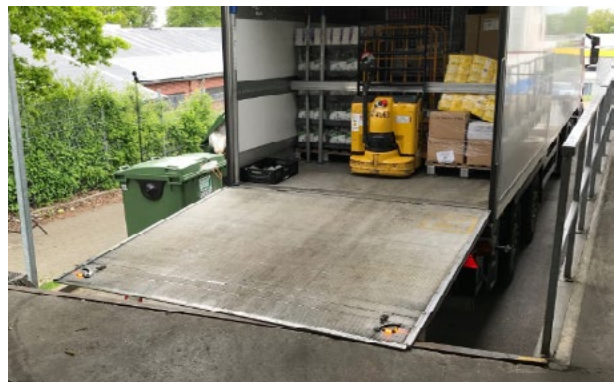
Die Ladebordwand lag hierbei unmittelbar auf der Stahlkante des Betonpodestes der Außenrampe (Höhe ca. 1,3 m) auf.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Das verwendete Flurförderfahrzeug mit Elektroantrieb (Gabel-Niederhubwagen ist mit Laufrollen (Antriebs- und Tandemrollen) mit einem Polyurethan-Elastomer-Laufbelag und Kugellagern ausgestattet.

Zustand

gut



Technisches Datenblatt Nr. 1 Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 1

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Paletten mittels E Flurförder-Fahrzeug über fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

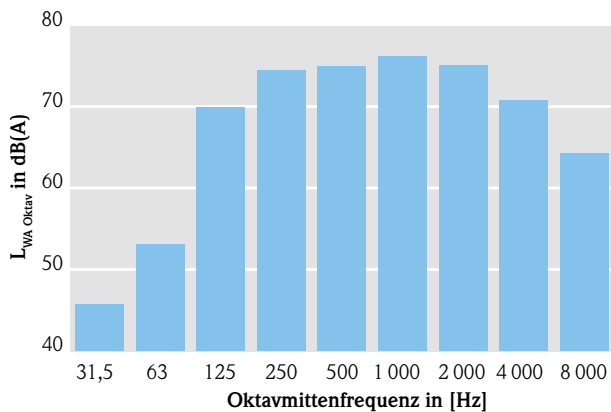
-Palettenhubwagen leer 8

-Palettenhubwagen voll 7

-Rollgeräusche Wagenboden 14

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1



Schallleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Palettenwagen leer	79,6
Palettenwagen voll	75,5
Rollgeräusch Boden	71,8
gesamter Vorgang	82,0
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	113,3

Hz	$L_{WA \text{ Oktav}}$ dB(A)
31,5	45,7
63	53,1
125	69,9
250	75,4
500	74,9
1000	76,2
2000	75,0
4000	70,8
8000	64,2
Summe	82,0
n-Spektren	69

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Flurförderfahrzeugs auf der Ladebordwand.

Technisches Datenblatt Nr. 2A Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 2A

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Rollcontainern und Rollwagen über eine Mini-Überladebrücke (Mini-Dock); Klappkeil-Überladebrücke oder schwenkbare Überladebrücke

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Klappkeil-Überladebrücke. Die Klappkeilrampe besteht aus zwei manuell umschlagbaren Lippen und wird mechanisch mit Hilfe einer Gasdruckfeder oder elektrohydraulisch betrieben. Das Plateau wird angehoben, wobei die Klappauffahrt selbsttätig in der obersten Stellung ausklappt und sich anschließend auf die LKW-Ladefläche auflegt. Die Klappkeil-Überladebrücke ist als selbsttragende Einheit vor der Rampe bzw. der Toröffnung montiert.

Schwenkbare Überladebrücke (Verladeblech). Die Brücke ist über einen Rollwagen in einem Spezialführungsprofil gehalten und seitlich verrollbar. Zum Ladevorgang wird die hochkant stehende Brücke (Nullstellung) entriegelt und heruntergelassen, so dass sich das Auflager der Rampe auf die Ladefläche des LKW legt.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Zustand

gut



Technisches Datenblatt Nr. 2A Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 2A

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Rollcontainern und Rollwagen über eine Mini-Überladebrücke (Mini-Dock); Klappkeil-Überladebrücke oder schwenkbare Überladebrücke

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

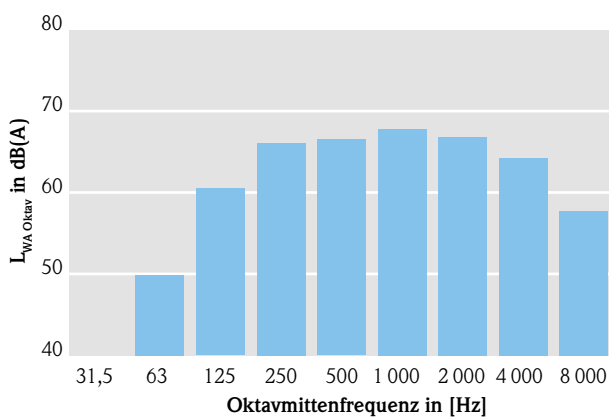
- Rollwagen voll 7

- Rollgeräusche Wagenboden 10

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1

Schalleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Rollcontainer voll	73,1
Rollgeräusch Boden	64,9
gesamter Vorgang	73,7
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	110,7



Hz	$L_{WA Oktav}$ dB(A)
31,5	37,0
63	49,9
125	60,5
250	66,1
500	66,5
1000	67,8
2000	66,8
4000	64,2
8000	57,7
Summe	73,7
n-Spektren	50

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Rollwagens auf der Ladebordwand.

Technisches Datenblatt Nr. 2B Ergänzung 2022/2023 Lfd. Nr.: 2B

Einsatz Prozess

Ent- und Beladung von Rollwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE) über die fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Verladevorgänge über die fahrzeugeigene Ladebordwand des Lkw.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung.

Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Rollwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE).

Zustand

gut



Technisches Datenblatt Nr. 2B Ergänzung 2022/2023 Lfd. Nr.: 2B

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Rollcontainern und Rollwagen über eine Mini-Überladebrücke (Mini-Dock); Klappkeil-Überladebrücke oder schwenkbare Überladebrücke

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFreq} - L_{AFeq}$ in dB

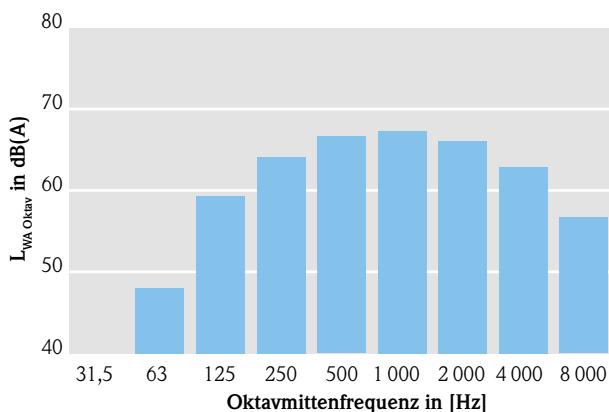
- Rollwagen voll 6

- Rollgeräusche Wagenboden 10

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1

Schalleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Rollcontainer voll	72,0
Rollgeräusch Boden	64,0
gesamter Vorgang	73,0
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	110,0



Hz	$L_{WA \text{ Oktav}}$ dB(A)
31,5	36,1
63	48,0
125	59,3
250	64,1
500	66,6
1000	67,3
2000	66,1
4000	62,9
8000	56,7
Summe	73,0
n-Spektren	150,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Rollwagens auf der Ladebordwand.

Technisches Datenblatt Nr. 2C Ergänzung 2022/2023 Lfd. Nr.: 2C

Einsatz Prozess

Be- und Entladung von Rollwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE) über die fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Verladevorgänge über die fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung.

Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Rollwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE).

Zustand

gut



Technisches Datenblatt Nr. 2C Ergänzung 2022/2023 Lfd. Nr.: 2C

Einsatz Prozess

Be- und Entladung von Rollwagen mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE) über die fahrzeugeigene Ladebordwand des LKW

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

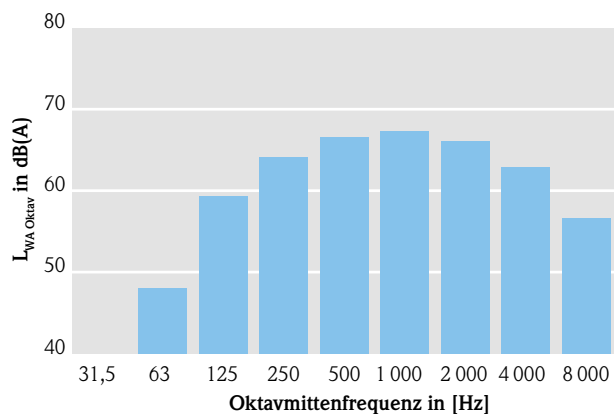
- Rollwagen voll 6

- Rollgeräusche Wagenboden 10

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1

Schalleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Rollwagen voll	72,0
Rollgeräusch Boden	64,0
gesamter Vorgang	73,0
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	110



Hz	$L_{WA, Oktav}$ dB(A)
31,5	36,1
63	48,0
125	59,3
250	64,1
500	66,6
1000	67,3
2000	66,1
4000	62,9
8000	56,7
Summe	73,0
n-Spektren	150,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Rollwagens auf der Ladebordwand.

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförderfahrzeug über eine Mini-Überladebrücke (Mini-Dock); Klappkeil-Überladebrücke oder schwenkbare Überladebrücke

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Klappkeil-Überladebrücke. Die Klappkeilrampe besteht aus zwei manuell umschlagbaren Lippen und wird mechanisch mit Hilfe einer Gasdruckfeder oder elektrohydraulisch betrieben. Das Plateau wird angehoben, wobei die Klappauffahrt selbsttätig in der obersten Stellung ausklappt und sich anschließend auf die LKW-Ladefläche auflegt. Die Klappkeil-Überladebrücke ist als selbsttragende Einheit vor der Rampe bzw. der Toröffnung montiert.

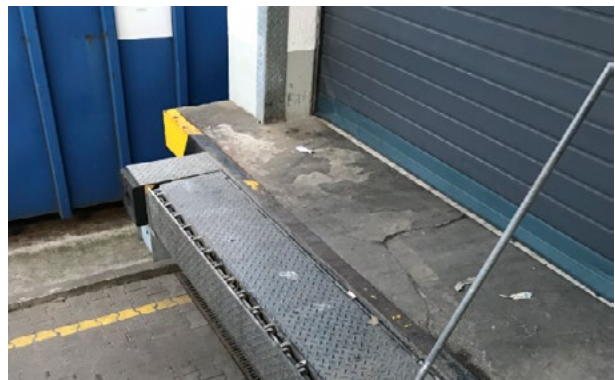
Schwenkbare Überladebrücke (Verladeblech). Die Brücke ist über einen Rollwagen in einem Spezialführungsprofil gehalten und seitlich verrollbar. Zum Ladevorgang wird die hochkant stehende Brücke (Nullstellung) entriegelt und heruntergelassen, so dass sich das Auflager der Rampe auf die Ladefläche des Lkw legt.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Das verwendete Flurförderfahrzeug mit Elektroantrieb (Gabel-Niederhubwagen ist mit Laufrollen (Antriebs- und Tandemrollen) mit einem Polyurethan-Elastomer-Laufbelag und Kugellagern ausgestattet.

Zustand

befriedigend



Technisches Datenblatt Nr. 3 Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 3

Einsatz Prozess

Außenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförderfahrzeug über eine Mini-Überladebrücke (Mini-Dock); Klappkeil-Überladebrücke oder schwenkbare Überladebrücke

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

- Palettenhubwagen leer 8

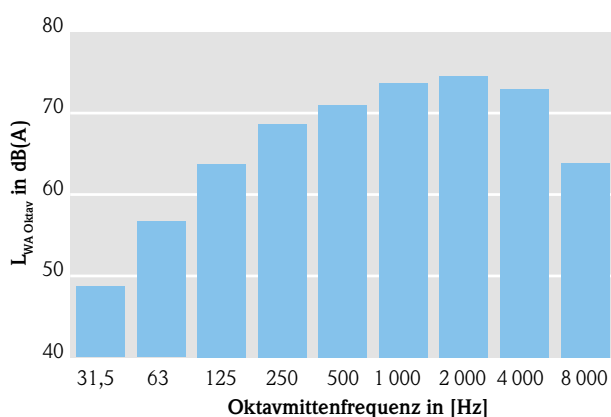
- Palettenhubwagen voll 8

- Rollgeräusche Wagenboden 13

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1

Schallleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Palettenwagen leer	77,0
Palettenwagen voll	72,7
Rollgeräusch Boden	71,7
gesamter Vorgang	79,9
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	112,3



Hz	$L_{WA Oktav}$ dB(A)
31,5	48,7
63	56,7
125	63,7
250	68,7
500	71,0
1000	73,7
2000	74,6
4000	73,0
8000	63,9
Summe	79,9
n-Spektren	60,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Flurförderfahrzeugs auf der Ladebordwand.

Technisches Datenblatt Nr. 4A Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 4A

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug an Vorsatzrampen mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Planen-Torrandabdichtung, Typ A: Brückenplateau und Klappkeil: rutschfeste und profilierte Metalloberfläche

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Die Vorsatzrampe mit Vorschub oder Klappkeil ist als selbsttragende Einheit vor der Rampe bzw. der Toröffnung montiert. Nach dem Anheben des Brückenplateaus wird die Vorschublippe in die gewünschte Position ausgefahren. Durch die flexible Auflagerlänge kann ein aufwändiges Neupositionieren des LKWs entfallen. Im Übergang zwischen Anlieferungsraum und Vorsatzrampe ist ein Sektionaltor installiert.

Brückenplateau und Klappkeil: rutschfeste und profilierte Metalloberfläche

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Das verwendete Flurförderfahrzeug mit Elektroantrieb (Gabel-Niederhubwagen) ist mit Laufrollen (Antriebs- und Tandemrollen) mit einem Polyurethan-Elastomer-Laufbelag und Kugellagern ausgestattet.

Im Außenbereich befand sich eine Planen-Torrandabdichtung mit vorliegenden und oben aufliegenden, 3 mm dicken, gewebeverstärkten PVC-Planen zur Vermeidung von Zugluft, zum Schutz der Waren vor Witterungseinflüssen sowie zum Schutz temperaturempfindlicher Güter. Die Planen-Torrandabdichtung schließen beim Einfahren des LKW mit den Seitenwänden und dem Dach lose ab; nach unten ist der Übergang zwischen Auflieger und Rampe offen. Es handelt sich nicht um eine aufblasbare Torrandabdichtung oder Kissen-Torrandabdichtung

Zustand

sehr gut



Technisches Datenblatt Nr. 4A Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 4A

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug an Vorsatzrampen mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Planen-Torrandabdichtung, Typ A: Brückenplateau und Klappkeil: rutschfeste und profilierte Metalloberfläche

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

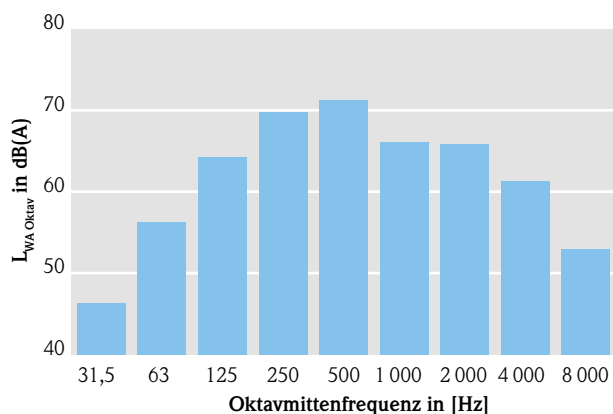
- Palettenhubwagen leer 10

- Palettenhubwagen voll 8

- Rollgeräusche Wagenboden 10

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1



Schalleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Palettenwagen leer	74,2
Palettenwagen voll	68,2
Rollgeräusch Boden	60,6
gesamter Vorgang	75,5
L_{WAmix}	
gesamter Vorgang	110,7

Hz	$L_{WA Oktav}$ dB(A)
31,5	46,3
63	56,3
125	64,2
250	69,8
500	71,3
1000	66,1
2000	65,8
4000	61,3
8000	53,0
Summe	75,5
n-Spektren	150,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Flurförderfahrzeugs auf dem Brückenplateau.

Technisches Datenblatt Nr. 4B Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 4B

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug an Vorsatzrampen mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Planen-Torrandabdichtung, Typ B: Brückenplateau: rutschfeste u. geräuschgedämmte u. entdröhnte Korund-Beschichtung auf PU-Basis.

Rampentyp und Fahrzeugtyp

Die Vorsatzrampe mit Vorschub oder Klappkeil ist als selbsttragende Einheit vor der Rampe bzw. der Toröffnung montiert. Nach dem Anheben des Brückenplateaus wird die Vorschublippe in die gewünschte Position ausgefahren. Durch die flexible Auflagerlänge kann ein aufwändiges Neupositionieren des LKWs entfallen. Im Übergang zwischen Anlieferungsraum und Vorsatzrampe ist ein Sektionaltor installiert.

Brückenplateau: rutschfeste und geräuschgedämmte und entdröhnte Korund-Oberflächenbeschichtung auf Polyurethanbasis. Klappkeil der Brücke: rutschfeste und profilierte Metalloberfläche, ohne Beschichtung.

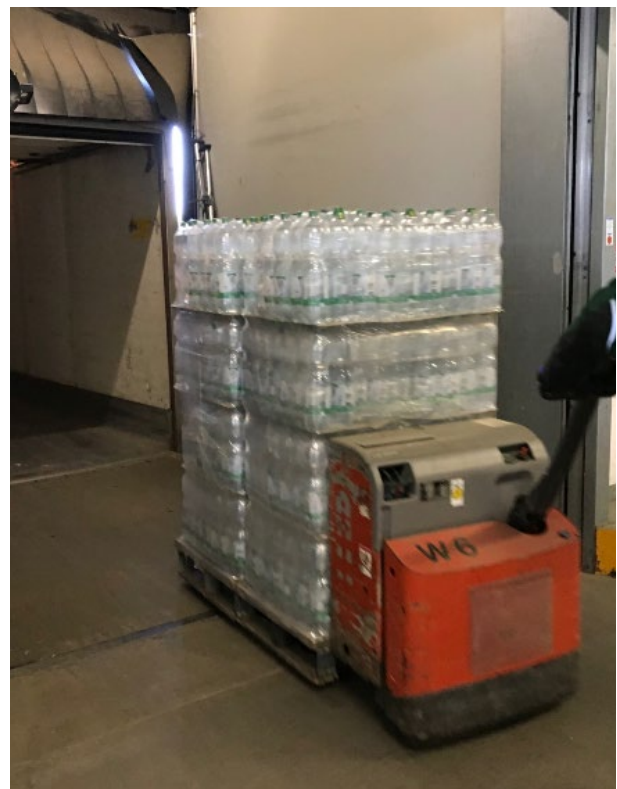
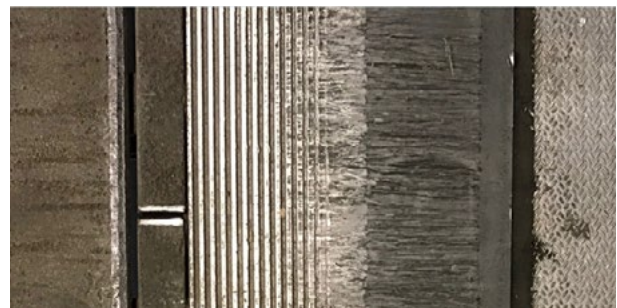
Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Aluminium mit Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers bestehen aus Kunststoff und Isoliermaterial.

Das verwendete Flurförderfahrzeug mit Elektroantrieb (Gabel-Niederhubwagen) ist mit Laufrollen (Antriebs- und Tandemrollen) mit einem Polyurethan-Elastomer-Laufbelag und Kugellagern ausgestattet.

Im Außenbereich befand sich eine Planen-Torrandabdichtung mit vorliegenden und oben aufliegenden, 3 mm dicken, gewebeverstärkten PVC-Planen zur Vermeidung von Zugluft, zum Schutz der Waren vor Witterungseinflüssen sowie zum Schutz temperaturempfindlicher Güter. Die Planen-Torrandabdichtung schließen beim Einfahren des LKW mit den Seitenwänden und dem Dach lose ab; nach unten ist der Übergang zwischen Auflieger und Rampe offen. Es handelt sich nicht um eine aufblasbare Torrandabdichtung oder Kissen-Torrandabdichtung.

Zustand

sehr gut



Technisches Datenblatt Nr. 4B Ergänzung 2019/2021 Lfd. Nr.: 4B

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Paletten mit Elektro-Flurförder-Fahrzeug an Vorsatzrampen mit integrierter Vorschubüberladebrücke und Planen-Torrandabdichtung, Typ B: Brückenplateau: rutschfeste u. geräuschgedämmte u. entdröhtete Korund-Beschichtung auf PU-Basis

Mess- und Beurteilungsparameter

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

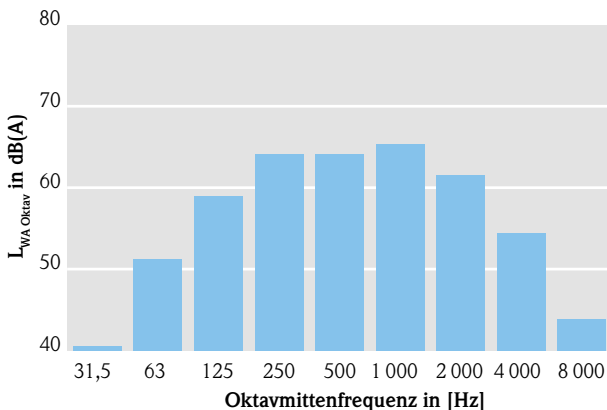
- Palettenhubwagen leer 9

- Palettenhubwagen voll 6

- Rollgeräusche Wagenboden 9

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1



Schalleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Palettenwagen leer	68,9
Palettenwagen voll	61,1
Rollgeräusch Boden	60,5
gesamter Vorgang	70,5
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	104,3

Hz	L_{WA} Oktav dB(A)
31,5	40,6
63	51,2
125	59,0
250	64,1
500	64,1
1000	65,3
2000	61,5
4000	54,4
8000	43,9
Summe	70,5
n-Spektren	113,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rollgeräusche beim Schieben und Ziehen des Flurförderfahrzeugs auf dem Brückenplateau.

Teil 4: Verladegeräusche in Logistikunternehmen

TIBOR BENARIK (Dezernat I4 – Lärm, Erschütterungen, Abfall, Luftreinhaltung Anlagen)

4 Verladegeräusche in Logistikunternehmen

4.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Be- und Entladevorgängen von LKW an Vorsatzrampen (Innenrampen) in Logistikzentren unterscheiden sich nur marginal von denen an Einkaufsmärkten. Aufgrund der Vielzahl der Untersuchung an den Märkten in Teil 3, soll dieser Teil 4 lediglich als eine Ergänzung des vorangegangenen Teils dienen. Durch

eigene Messungen konnten an den Verladerampen von Logistikzentren, beispielsweise für Rollcontainer ähnliche Emissionen ermittelt werden wie bei den Einkaufsmärkten. Die damit gewonnenen Zusatzinformationen sind Erkenntnisse über die Verladung mit kleinen Elektrostaplern.

4.2 Untersuchungsumfang

Untersucht wurden LKW-Auflieger mit untereinander vergleichbarem Laderaumvolumen, Ladeinhalt und Bodenbelag. Die Messungen fanden an einem Stand-

ort statt, es wurden Innenrampen eines Typs mit integrierter Vorschubladebrücke mit Torrandabdichtung untersucht.

4.2.1 Beschreibung der Laderampe

Die Laderampen verfügen über Vorschubladebrücken und haben eine rutschfeste, profilierte und beschichtete Metalloberflächen. Die untersuchten Überladebrücken wurden im Jahr 2018 hergestellt. Das Eigengewicht liegt bei 1 210 kg. Die Nennlast der Laderampe beträgt 60 kN.

Im Außenbereich befindet sich eine Planen-Torrandabdichtung mit vorliegenden und oben aufliegenden, dicken, gewebeverstärkten PVC-Planen. Die Planen-Torrandabdichtungen schließen beim Einfahren des LKW mit den Seitenwänden und dem Dach lose ab, nach unten ist der Übergang zwischen Auflieger und Rampe offen. Die untersuchten Laderampen sind in Abbildung 25 dargestellt. Die Ladebrücke wird mit einem Sektionaltor verschlossen.

4.2.2 Beschreibung der Flurförderfahrzeuge

Für die Beladung wurden gummibereifte Elektrostapler eingesetzt. Die Stapler hatten entweder 1,6 t,

2,0 t oder 4,0 t Traggewicht. In der nachfolgenden Abbildung 26 sind die Stapler dargestellt.



Abb. 25: Detailaufnahmen der untersuchten Laderampen



Abb. 26: Eingesetzter Stapler

4.2.3 Beschreibung der eingesetzten LKW

Die Waren wurden mit LKW-Sattelaufiegern angeliefert. Diese weisen eine Länge von 13,60 m auf. Ein Sattelaufleger hat die Kapazität von 34 Europaletten.

Die Bodenoberflächen im Auflieger bestand aus Siebdruckplatte ohne Profilierung. Die Seitenwände und das Dach des Aufliegers waren aus LKW-Planen.



Abb. 27: Eingesetzter LKW

4.2.4 Beschreibung umgeschlagenen Ware

Die Waren, die während der Ermittlung der Geräuschemissionen, umgeschlagen wurden, befanden sich auf Paletten. Die Gebinde waren entweder in

Kartons oder Kunststoffboxen zusammengestellt. Von der Ladung selbst, gingen keine Geräusche aus.



Abb. 28: Gebinde

4.2.5 Beschreibung des Verladevorgangs

Nach dem Rückwärts rangieren des LKW mit geöffneter Klappe hinten, wird der Auflieger an die Verloaderampe andockt. Der Motor des LKW wird

abgestellt. Das Rolltor wird geöffnet und die Vorschubladebrücke wird über die Ladekante des Aufliegers gefahren.

Entladung:

Die Ladung wird im LKW entsichert. Das Flurförderfahrzeug (Stapler) fährt leer über die Überladebrücke und den Wagenboden in den LKW-Auflieger. Im Auflieger wird eine Palette aufgenommen, dann erfolgt die Ausfahrt des vollen Flurförderfahrzeugs in das Lager sowie das Abstellen der Palette im Lager.

Beladung:

Aufnehmen der Ladung mit dem Stapler im Lager. Einfahrt eines vollen Flurförderfahrzeugs über die Ladekante in den LKW-Auflieger mit anschließendem Absetzen der Ladung. Ausfahrt des leeren Staplers über die Ladekante in das Lager.

Nach der Beendigung des Verladevorgangs, wird das Rolltor geschlossen. Der LKW fährt vor, die Klappen des Aufliegers werden geschlossen und der LKW verlässt das Betriebsgelände.

4.3 Durchführung der Messungen

4.3.1 Messaufbau

Der Messaufbau richtet sich danach, wie die Verladetätigkeit im schalltechnischen Ausbreitungsmodell dargestellt werden. In der Regel handelt es sich um eine Punktquelle die in Mitte der Laderampe positioniert wird. Die Messungen wurden im laufenden Betrieb durchgeführt. Der Abstand der Messgeräte betrug zur Mitte der Beladerampe 10 m. Die Höhe des Messmikrofons wurde in Höhe der Beladerampe positioniert. Es wurde parallel mit mindestens zwei Messgeräten gemessen. Je nach der

Beladesituation wurden diese beidseitig der Rampe positioniert. Wenn die benachbarte Laderampe belegt war, konnte aufgrund von Reflektionen die Messung nicht beidseitig durchgeführt werden. In diesem besonderen Fall wurde die Messung einseitig der Rampe durchgeführt. Hierbei wurde die Mikrofonposition so gewählt, dass die seitlichen Messpositionen 10 m vom akustischen Zentrum entfernt sind (siehe Abbildung 29).

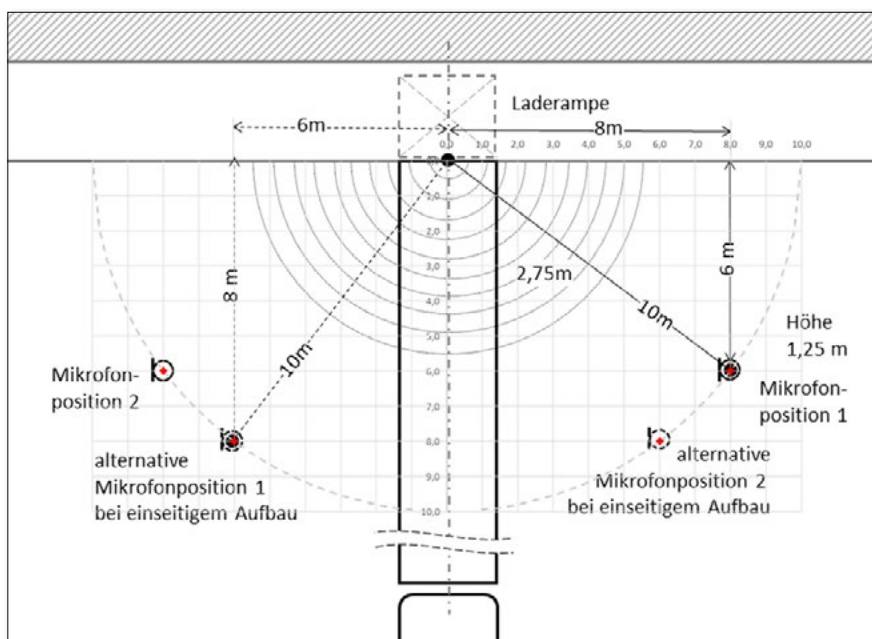


Abb. 29: Skizze des Messaufbaus

4.3.2 Messdurchführung

Die Messung der Schalldruckpegel der Be- und Entladung wurde an bestehenden Laderampen durchgeführt. Die Untersuchungen fanden an einem Standort jedoch an unterschiedlichen Laderampen und mit unterschiedlichen aber vergleichbaren LKW-Aufliegern statt. Zur Erzielung repräsentativer und aussagekräftiger Messwerte, wurden insgesamt ca. 160 Paletten-Bewegungen (Be- und Entladung) erfasst und aus-

gewertet. Untersucht wurden Verladevorgänge mit der aktuellen Beladung der LKW, so dass der Verladevorgang einen repräsentativen Betriebsablauf einer typischen Anlieferung widerspiegelt. Während des Beladevorgangs, wurde eine Geräuschaufzeichnung durchgeführt und die entsprechenden Phasen der Beladung mit sogenannten „Markern“ im Messgerät gekennzeichnet.

4.3.3 Bestimmung der akustischen Kennwerte

Die Ergebnisse werden analog zu der HLFU-Studie von 1995 [2] ($L_{WAT,1h}$ [dB(A)]) nach der Gleichung 2 ermittelt. Hierbei handelt es sich um den Schallleistungspegel für ein Ereignis bezogen auf eine Stunde inklusive dem Impulszuschlag. Der Impulszuschlag K_I [dB] wird aus der Differenz des Taktmaximal-Mittelungspegels L_{AFT5eq} und dem äquivalenten Dauerschallpegel L_{Aeq} [dB(A)] nach Gleichung 4 gebildet. Die Messwerte werden nach den Gleichungen 3c und 3d in Schallleistungspegel umgerechnet.

Gleichung 2

$$L_{WAT,1,1h} = 10 \cdot \log\left(\frac{T}{3600 \text{ s}}\right) \cdot 10 \cdot \left(\frac{L_{WA}}{10}\right) + K_I$$

Gleichung 3c

$$L_{WA} = L_{AF,eq} + 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot d^2) - K_0$$

4.3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt nach dem Schema in Teil 3.

Die Histogramme im Anhang zeigen die absoluten und kumulierten Häufigkeitsverteilungen der ermittelten Maximal-Schallleistungspegel $L_{WAm\max}$ [dB(A)].

In den Anlagen werden zusätzlich mit Hilfe von Whisker-Box-Plot-Diagrammen die Streuung- und die Lage der Schallleistungspegel $L_{WAT,1,1h}$ [dB(A)] und

Gleichung 3d

$$L_{WA,max} = L_{AF,max} + 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot d^2) - K_0$$

T	Einwirkzeit in [s]
d	Messabstand in [m]
K_0	Raumwinkelmaß (0 dB Vollkugel, 3 dB Halbkugel, 6 dB Viertelkugel)

Gleichung 4

$$K_I = L_{AFTeq} - L_{AFeq}$$

Zur Bestimmung des stündlichen Taktmaximal-Schallleistungspegels, wurden jeweils die Spitzenpegel der einzelnen Verladephasen ausgewertet. Diese waren zu jederzeit deutlich aus den Umgebungsgereuschen herauszuhören und im Pegelverlauf mindestens 10 dB über dem Umgebungsgereusch. Daher war eine Fremdgeräuschkorrektur nicht erforderlich.

kurzzeitigen Maximal-Schallleistungspegel $L_{WAm\max}$ [dB(A)] visualisiert.

Die Whisker-Box-Plot-Diagramme zeigen lediglich bei den Rangiergeräuschen auf dem LKW-Boden eine unsymmetrische Verteilung. Daran ist zu erkennen, dass hier die größte Varianz an Ereignissen vorhanden ist. Dies liegt an der individuellen Anordnung der Ladung auf der Ladefläche.

Anhang zu Teil 4: Verladegeräusche in Logistikunternehmen

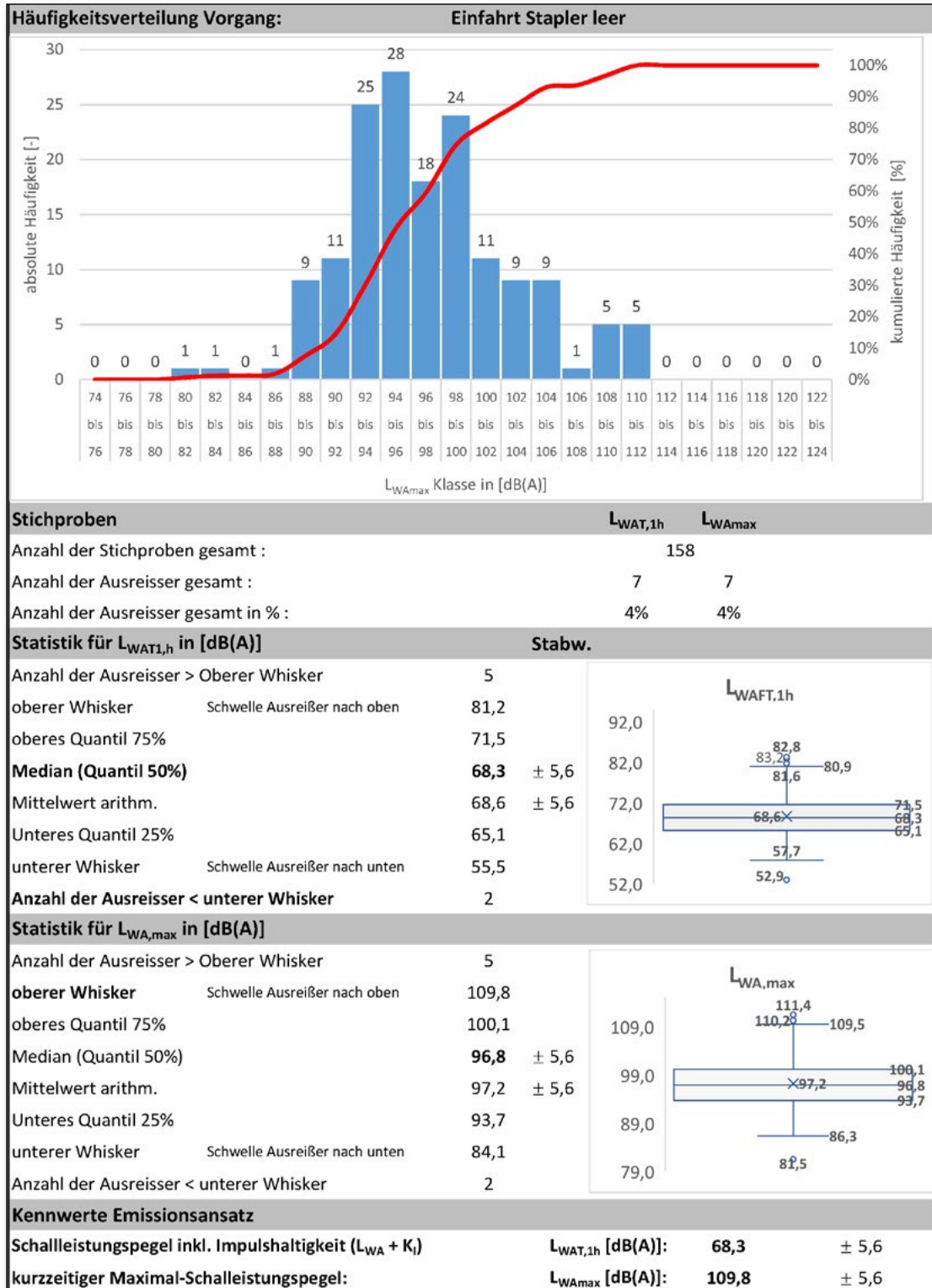


Abb. 30: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe mit stationärer, Vorschub-Überladebrücke, Einfahrt eines Kleinstaplers leer über Überladebrücke

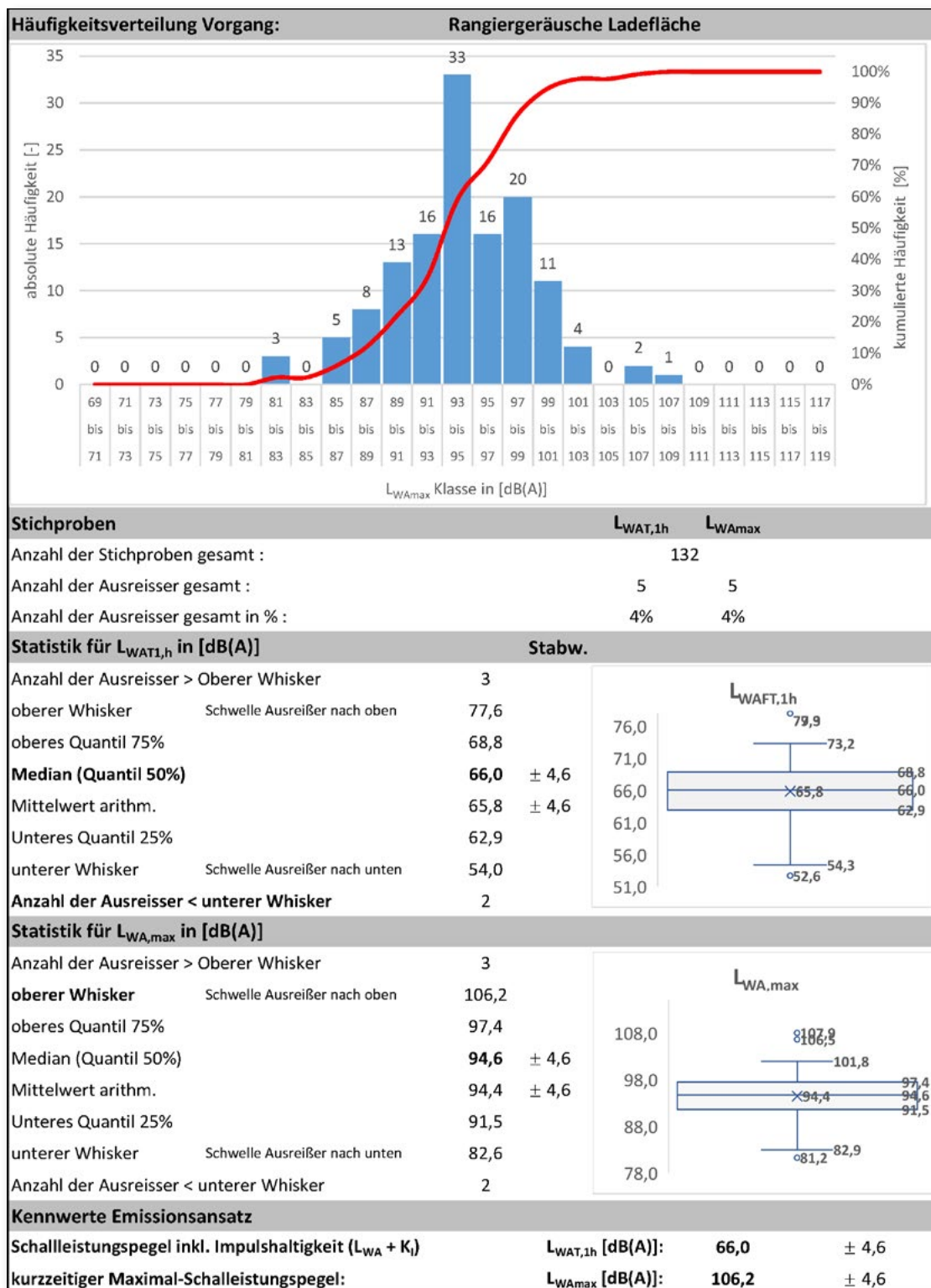


Abb. 31: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, der Rangiergeräusche eines Klein-staplers auf der Ladefläche eines LKW

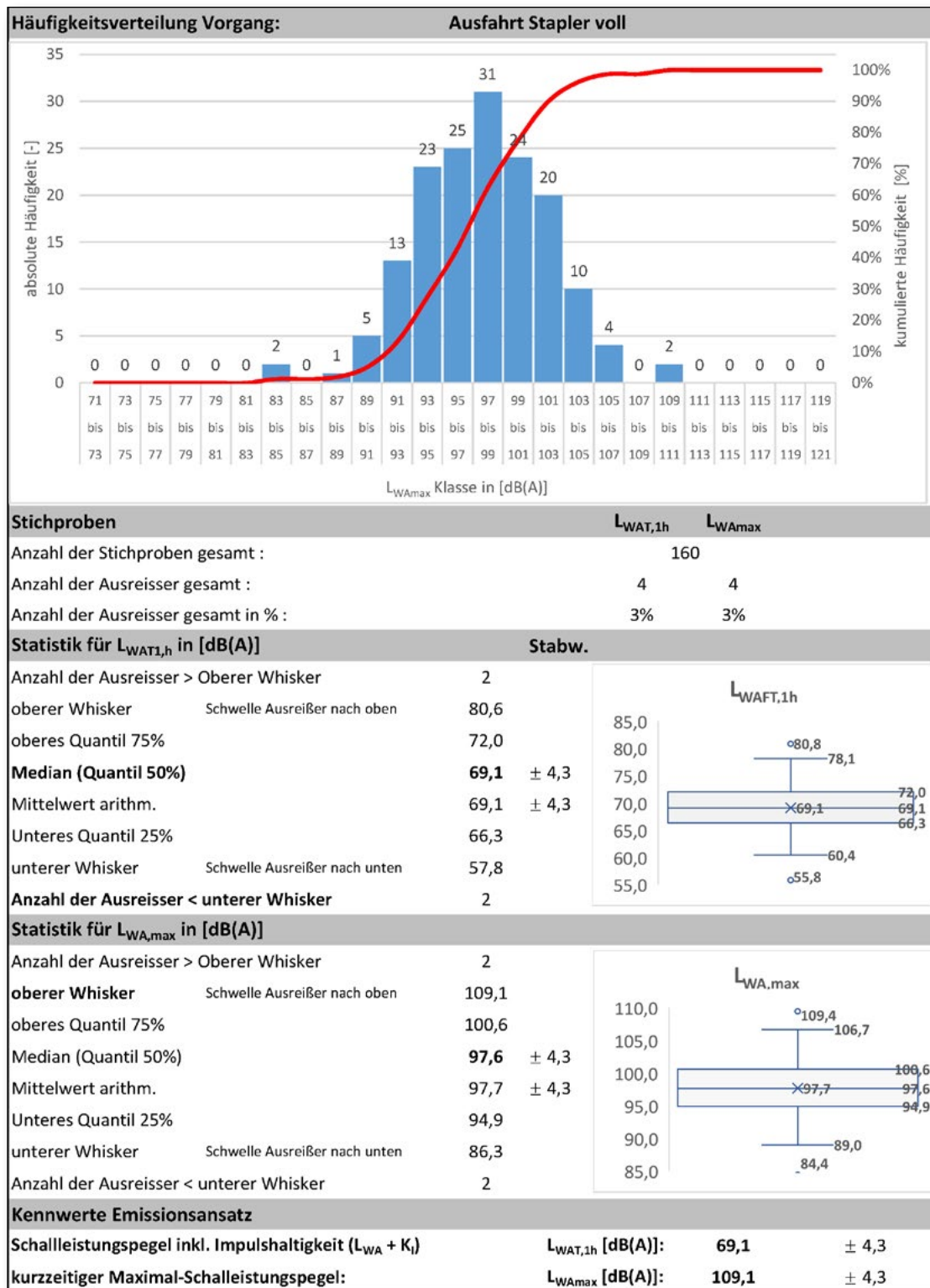


Abb. 32: Häufigkeitsverteilung und Statistische Auswertung der Stichproben, Innenrampe mit stationärer, Vorschub-Überladebrücke, Ausfahrt eines Klein staplers voll über Überladebrücke

Technisches Datenblatt Nr. 5 Ergänzung 2022 Lfd. Nr.: 5

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Europaletten mittels Kleinstapler über eine Überladebrücke mit hydraulischen Vorschub

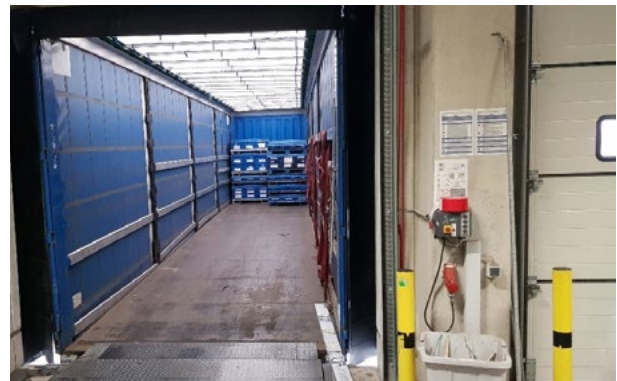
Rampentyp und Fahrzeugtyp

Überladebrücke mit hydraulischem Vorschub. Oberfläche Stahl Riffelblech beschichtet.

Die Oberfläche des Bodens im Auflieger besteht aus Siebdruckplatten. Die Seitenwände und Dach des Aufliegers bestehen aus PVC-Planen. Flurförderfahrzeug, Kleinstapler

Zustand

gut



Technisches Datenblatt Nr. 5 Ergänzung 2022 Lfd. Nr.: 5

Einsatz Prozess

Innenrampe, Be- und Entladung von Europaletten mittels Kleinstapler über eine Überladebrücke mit hydraulischen Vorschub

Einsatz Prozess

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des L_{WATeq} in sec 5

Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{AFTeq} - L_{AFeq}$ in dB

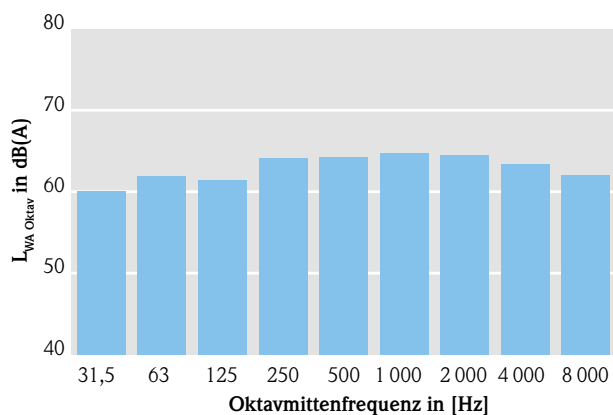
- Einfahrt Stapler leer 12,0

- Ausfahrt Stapler voll 11,7

- Rangiergeräusche Ladefläche 12,9

Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB 0

Messunsicherheit in dB ± 1



Schallleistung	dB(A)
$L_{WAT,1h}$	
Einfahrt Stapler leer	68,3
Ausfahrt Stapler voll	69,1
Rangierger. Ladefl.	66,0
gesamter Vorgang	72,7
L_{WAmax}	
gesamter Vorgang	109,8

Hz	$L_{WA \text{ Oktav}}$ dB(A)
31,5	60,1
63	61,9
125	61,4
250	64,1
500	64,2
1000	64,8
2000	64,5
4000	63,4
8000	62,1
Summe	72,7
n-Spektren	160,0

Bemerkungen

Geräusche beim Überfahren von Kanten und Schwellen sowie Rangiergeräusche auf der Ladefläche des LKW.

Teil 5: Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen

TIBOR BENARIK (Dezernat I4 – Lärm, Erschütterungen, Abfall, Luftreinhaltung Anlagen)

5 Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen

5.1 Einleitung

In den vorangegangenen Teilen wurden die Emissionen für die unterschiedlichen Logistikvorgänge ermittelt. Dieses Kapitel soll die neuen Erkenntnisse zu den Lade- und Fahrgeräuschen zusammenfassen. Zusätzlich werden die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Studien, die im Umfang dieser Studie nicht

behandelt wurden, zusammengefasst. Sofern keine neuen Erkenntnisse vorliegen, werden die Erkenntnisse der vorangegangenen Studien zum Ansatz gebracht, so dass in diesem Teil die derzeit zur Anwendung empfohlenen Ansätze zusammengestellt sind.

5.2 Fahrgeräusche von LKW

Anhand der Untersuchungsergebnisse lassen sich die Geräuschemissionen für den LKW-Fahrweg aktualisieren. Bei dem Emissionsansatz zur Berechnung der Geräuschimmissionen durch die Fahrgeräusche der LKW kann von den Mittelwerten ausgegangen werden. Im Emissionsansatz sind nicht die Geräuschanteile von Einzelereignissen enthalten, wie z. B. Entspannungsgeräusche der Bremsluftsysteme, Quietschgeräusche. Diese Einzelereignisse sind gesondert zu bewerten.

Bei der Prognose von Geräuschimmissionen von Verkehrsgeräuschen auf Betriebsgeländen hat sich bewährt, von vereinfachten Emissionsansätzen auszugehen, da bei der Planung eines Unternehmens meist die Fahrwege bekannt sind, nicht jedoch das Fahrverhalten auf den Fahrwegen. In diesen Fällen erscheint es sinnvoll, von einem einheitlichen Emissionsansatz für alle Wegelemente auszugehen. Bei diesem Ansatz werden nicht mehr die LKW, sondern einzelne Ab-

schnitte der Fahrtstrecke als Schallquelle betrachtet. Der auf die Beurteilungszeit bezogene Schalleistungspegel $L_{WA,r}$ eines Streckenabschnittes errechnet sich nach:

Gleichung 11

$$L_{WA,r} = L'_{WA,1h} + 10 \cdot \log(n) + 10 \cdot \log\left(\frac{l}{1m}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{T_r}{1h}\right)$$

$L_{WA,r}$	auf die Beurteilungszeit bezogener Schalleistungspegel eines Streckenabschnittes
$L'_{WA,1h}$	zeitlich gemittelter Schalleistungspegel für 1 LKW pro Stunde auf einer Strecke von 1 m
n	Anzahl der LKW einer Leistungsklasse in der Beurteilungszeit T_r
l	Länge eines Streckenabschnittes (Voraussetzung: Länge des Teilstücks kleiner als der 0,5-fache Abstand zum Immissionsort)
T_r	Beurteilungszeit

5.2.1. Konventionelle LKW

Der anzuwendende Emissionsansatz sollte den ungünstigsten Fahrzustand auf den Wegelementen berücksichtigen, so dass dann folgende auf eine Stunde und 1 m-Wegelement bezogene Schalleistungspegel $L'_{WA,1h}$ anzusetzen sind:

$$L'_{WA,1h} = 62 \text{ dB(A)}$$

wenn die Gesamtmasse < 12 t beträgt

$$L'_{WA,1h} = 63 \text{ dB(A)}$$

wenn die Gesamtmasse ≥ 12 t beträgt

Aufgrund dieser geringen Differenz kann im Regelfall auf eine Unterscheidung der verschiedenen Leistungsklassen verzichtet und vom Emissionsansatz für die leistungsstärkeren LKW ausgegangen werden:

$$L'_{WA,1h} = 63 \text{ dB(A)}$$

5.2.2 Elektro LKW

In Teil 2 dieser Studie wurde festgestellt, dass durch E-LKW mindestens 6,7 dB geringere Emissionen ausgehen als durch konventionelle LKW. Dieses Ergebnis basiert auf lediglich einer Situation und auf relativ wenige Messungen. Es ist aber dennoch erkennbar, dass eine deutliche Geräuschminderung durch E-LKW gegenüber herkömmlichen LKW mit Diesel-

motor bei ausgeschaltetem Warnsystem möglich ist. Daher wird ein Emissionsansatz für E-LKW von

$$L'_{WA,1h} = 60 \text{ dB(A)}$$

empfohlen.

5.2.3 Besondere Fahrzustände und Einzelereignisse

Für die Rangiergeräusche von LKW auf Betriebsgeländen ist ein mittlerer Schalleistungspegel anzusetzen, der in Abhängigkeit vom Umfang der erforderlichen Rangiertätigkeiten 3 dB bis 5 dB über dem Schalleistungspegel $L_{WA,r}$ eines Streckenabschnittes liegt.

Größere Steigungs- und Gefällstrecken kommen auf Betriebsgeländen in der Regel selten vor. Erst bei Strecken mit einer Steigung von mehr als 7 % sollten die erhöhten Geräuschemissionen beim Beschleunigen

und bei gleichförmiger Geschwindigkeit durch einen Zuschlag von 3 dB berücksichtigt werden.

Für Einzelereignisse kann von folgenden Schalleistungspegeln ausgegangen werden:

- Anlassen: $L_{WA} = 100 \text{ dB(A)}$
- Türenschnellen: $L_{WA} = 100 \text{ dB(A)}$
- Leerlauf: $L_{WA} = 94 \text{ dB(A)}$
- Betriebsbremse: $L_{WA} = 108 \text{ dB(A)}$

5.3 Verladegeräusche

Die Vielfältigkeit der Beladearten und -möglichkeiten lassen nur eingeschränkt eine Zusammenfassung der Messergebnisse zu einem vereinfachten Emissionsansatz zu.

Bei dieser Betrachtung werden keine typischen LKW-Geräuschemissionen in Form von an- und abfahren-

den LKW sowie Fahr- und Rangierbewegungen wie beispielsweise Beschleunigen, Bremsen, Fahren berücksichtigt.

Der Emissionsansatz ist ähnlich wie bei den LKW-Geräuschen.

Gleichung 12

$$L_{WA,r} = L'_{WAT,1h} + 10 \cdot \log(n) - \log\left(\frac{T_r}{1h}\right)$$

L_{WA} auf die Beurteilungszeit bezogener Schalleistungspegel einer Laderampe
 $L_{WAT,1h}$ zeitlich gemittelter Schalleistungspegel für 1 Ereignis pro Stunde
 n Anzahl der Ereignisse in der Beurteilungszeit T_r
 T_r Beurteilungszeit in h

5.3.1 Verladung von Paletten

Tab. 17: Emissionsannahmen: Verladung von Paletten für Außenrampen

Flurförderfahrzeug	handgeführter Hubwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)		Elektro-Flurförder-Fahrzeug mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“		
Art der Überladebrücke	fahrzeugeigene Ladebordwand	stationäre, schwenkbare Überladebrücke	fahrzeugeigene Ladebordwand	schwenkbare Mini-Überladebrücke	
$L_{WAT,1h}$ [dB(A)]					
Vorgang	Beladung	Entladung	Be- und Entladung	Be- und Entladung	Be- und Entladung
Fahrt Leer	89,1	85,2	86,0	79,6	77,0
Fahrt Voll	88,0	84,0	81,1	75,5	72,7
Rollgeräusch	75,0	75,0	75,0	71,8	71,7
Gesamt	91,8	88,1	87,7	82,0	79,9
L_{WAmix} [dB(A)]					
höchste Geräuschspitze	-	-	120,0	113,3	112,3
Quelle	HLfU, Heft 192 Jahr 1995			TÜV NORD Jahr 2019-2021 (siehe Datenblätter Nr. 1 u. Nr. 3)	

Tab. 18: Emissionsannahmen: Verladung von Paletten für Innenrampen

Flurförderfahrzeug	handgeführter Hubwagen mit Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen)	Elektro-Flurförder-Fahrzeug mit Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU), sog. „Leiselaufrollen“ oder Softrollen“		Kleinstapler, Elektro
Art der Überladebrücke:	integriert mit Torrandabdichtung	integriert mit Torrandabdichtung / Typ A	integrierte Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung u. Anti-Dröhn-Beschichtung / Typ B	integrierte Vorschubüberladebrücke und Torrandabdichtung
$L_{WAT,1h}$ [dB(A)]				
Vorgang	Be- und Entladung		Be- und Entladung	Be- und Entladung
Fahrt Leer	76,5		74,2	68,9
Fahrt Voll	72,1		68,2	61,1
Rollgeräusch	75,0		60,6	60,5
Gesamt	80,9		75,5	72,3
L_{WAmix} [dB(A)]				
höchste Geräuschspitze	110,0		110,7	104,3
Quelle	HLfU, Heft 192 Jahr 1995		TÜV NORD Jahr 2019-2021 (siehe Datenblätter Nr. 4A u. Nr. 4B)	
				HLNUG 2022 (s. Datenblatt Nr. 5)

5.3.2 Verladung von Rollcontainern

Tab. 19: Emissionsannahmen: für Außenrampen Verladung von Rollcontainern

Rollcontainer:	Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)	Hartkunststoffrollen (Standardrollen, Polypropylen PP)	Polyurethan-Elastomer-Laufbelag (PU/PE), sog. „Leiselaufrollen“ oder „Softrollen“
Art der Überladebrücke	schwenkbare Mini-Überladebrücke	fahrzeugeigene Ladeboardwand	fahrzeugeigene Ladebordwand
$L_{WAT,1h}$ [dB(A)]			
Vorgang:	Be- und Entladung	Be- und Entladung	Be- und Entladung
Fahrt Voll	73,1	73,9	72,0
Rollgeräusch voll:	64,9	65,3	64,0
Gesamt	73,7	74,5	73,0
$L_{WAm\max}$ [dB(A)]			
höchste Geräuschspitze	110,7	112,1	110,0
Quelle:	TÜV NORD Jahr 2019-2023 (Siehe Datenblätter Nr. 2A, 2B und 2C)		

5.4 Automatische Be- und Entladesysteme

Bei den automatischen Be- und Entladesystemen kommen unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Bei dem Palettenförderer muss die Ladefläche des LKW einen speziellen Tragkettenförderer besitzen. Bei der Be- bzw. Entladung fährt der LKW rückwärts in eine Zentriervorrichtung und wird damit auf Niveau gehalten. Dann wird die gesamte Ladung Paletten von der Bereitstellstrecke in den Laderaum des LKW gefördert oder umgekehrt.

Der Vorteil der automatischen Be- bzw. Entladung ist die Zeitersparnis. Der Gesamtzeitbedarf mit Vorbereitungsmaßnahmen, Ankoppeln, Be- bzw. Entladen, Entkoppeln und Verschließen beträgt maximal 5 Minuten. Während dieser Zeit können folgende Geräusche auftreten:

Impulsgeräusche beim Öffnen und Schließen der Heckbordwand und beim Andocken,

Geräusche beim Entlüften der Luftfedern zu Niveau-regulierung,

Rollgeräusche mit kleineren Impulsen beim Warentransport.

Der empfohlene Schalleistungspegel inklusive Impulszuschlag bezogen auf eine Stunde beträgt

$$L_{WAT,1h} = 85 \text{ dB(A)}.$$

Beim Rollengabelsystem müssen keine Vorkehrungen im Laderaum des LKW bzw. Anhängers vorhanden sein. Das Fahrzeug wird angedockt und mit einer Vorrichtung auf Niveau des Ladesystems gehalten. Die angehobenen Rollgabeln fördern die gesamte Ladung in den Laderaum. Dort wird die Ladung abgesetzt und die Rollgabeln werden in ihre Ausgangslage zurückgezogen. Geräuschemessungen an einem solchen Beladesystem wurden nicht durchgeführt.

5.5 Ein- und Ausstapeln von Einkaufswagen

Bei der Prognose von Geräuschimmissionen von Einkaufswagen-Sammelboxen auf Betriebsgrundstücken von Verbrauchermärkten ist es sinnvoll von einem vereinfachten Emissionsansatz auszugehen, da bei der Planung eines Verbrauchermarktes meist nur der Standort für die Sammelboxen bekannt ist. Der auf die Beurteilungszeit bezogene Schalleistungspegel L_{WAr} [dB(A)] für die Einkaufswagen-Sammelbox errechnet sich nach:

Gleichung 13

$$L_{WAr} = L'_{WAT,1h} + 10 \cdot \log(n) - \log\left(\frac{T_r}{1h}\right)$$

L_{WAr} auf die Beurteilungszeit bezogener Schalleistungspegel einer Sammelbox
 $L'_{WAT,1h}$ zeitlich gemittelter Schalleistungspegel für 1 Ereignis pro Stunde
 n Anzahl der Ereignisse in der Beurteilungszeit T_r
 T_r Beurteilungszeit in h

Im Rahmen einer Prognose kann gemäß der Untersuchung des HLUg [1] (Heft 3, Ausgabe 2005) von folgenden Schalleistungspegeln $L_{WAT,1h}$ ausgegangen werden.

Der TÜV NORD hat diese Untersuchungen fortgeschrieben. Untersucht wurden sogenannte „lärm-

marme“ Einkaufswagen mit Rundum-Beschichtung des Drahtkorbes und der Metallkomponenten (Power Coating Plus, Pulver-Beschichtung) sowie Kunststoff-Protektoren (obere Korbschutzdecken, Stoßleiste, Bodenrostdämpfer), die das Geräuschniveau beim Ineinanderschieben (Metall auf Metall) dämpfen und Schleifgeräusche reduzieren. Korbklappenelemente mit Spezial-Kunststoffeinlage dämpfen den Anschlag der Klappe. Kunststoff-Scharniere zwischen Korbklappe und Korb dienen als geräuschreduzierendes Lager. Kugelgelagerte Gummi-Laufrollen mit SoftDrive-Technik (Elastomer-Element) übertragen Bodenunebenheiten und Vibrationen in gedämpfter Form auf das Untergestell, so dass der Einkaufswagen ruhiger läuft.

Bei Immissionsprognosen nach TA Lärm ist bei Geräuschen, die subjektiv als impulshaltig eingestuft werden, ein Impulszuschlag zu berücksichtigen. Die Impulshaltigkeit der Geräusche wurde im Emissionsansatz durch die Wahl des Taktmaximalpegelverfahrens berücksichtigt. Ein weiterer Zuschlag für die Impulshaltigkeit entfällt damit. Da die Impulshaltigkeit von Geräuschen mit größerer Entfernung zwischen Quelle und Immissionspunkt abnimmt, stellt dieser Ansatz eine Maximalwertannahme dar.

Tab. 20: Emissionsannahmen für Einkaufswagen

Art des Einkaufswagens:	Metallkorb	Kunststoffkorb	„geräuscharme“ Metall-Einkaufswagen
$L_{WAT1,1h} = L_{WA1,1h} + K_1$ [dB(A)]			
Ein- und Ausstapeln	68 + 4 = 72	62 + 4 = 66	61 + 4 = 65
$L_{WAm\max}$ [dB(A)]			
höchste Geräuschspitze	106	99	96
Quelle:	HLUG Heft 3 2005		TÜV NORD 2012 (siehe Datenblatt Nr. 6)

5.6 Handhubwagen auf verschiedenen Fahrbahnoberflächen

Die Geräuschemissionen von Handhubwagen sind abhängig vom Typ und in hohem Maße vom Zustand der Wagen sowie von der Höhe der Belastung und der Bodenoberfläche. Die Abhängigkeit der Emissionen vom Zustand der Hubwagen und der Bodenoberfläche nimmt mit zunehmender Last ab. Im Gegensatz dazu nimmt die Einwirkdauer mit steigender Last zu. Wird als Emissionsansatz der Mittelwert der

Messergebnisse zugrunde gelegt, so kann im Rahmen einer Prognose in Abhängigkeit von Lastzustand und Bodenoberfläche von folgenden Schalleistungspegeln für Handhubwagen ausgegangen werden:

Die Einwirkdauer der Geräusche lässt sich aus der Länge des Fahrwegs der Handhubwagen und Geschwindigkeit der Wagen bestimmen. Letztere kann

bei nicht beladenen Wagen mit $v \approx 1,4 \text{ m/s}$ angesetzt werden. Bei Fahrten mit Last ist in Abhängigkeit von der Größe der Last von der zwei- bis dreifachen Einwirkdauer, bzw. einem pauschalen Zuschlag von 3 dB bis 5 dB auszugehen.

Die Impulshaltigkeit der Geräusche ist durch die Wahl des Taktmaximalpegelverfahrens berücksichtigt. Der vom Fahrweg im Mittel über eine Stunde abgestrahlte längenbezogene Schalleistungspegel $L'_{WAT,1h}$ berechnet sich dann nach der Beziehung

Gleichung 14

$$L'_{WAT,1h} = L_{WAT} - 10 \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) - 10 \cdot \log(3600) + 10 \cdot \log(M) + k$$

- $L'_{WAT,1h}$ längenbezogener Schalleistungspegel, inkl. Impulszuschlag, auf 1 Stunde und 1 m Wegelement bezogen
- L_{WAT} Schalleistungspegel eines Hubwagens inkl. Impulszuschlag
- v Geschwindigkeit ($v_0=1 \text{ m/s}$)
- M mittlere Anzahl der Bewegungen pro Stunde
- k Korrektur für längere Einwirkdauer bei Lastfahrten

Gleichung 15

mit $v = 1,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ zu $L'_{WAT,1h} = L_{WAT} - 37 + 10 \cdot \log(M) + k$

Können Fahrwege nicht eindeutig festgelegt werden, so ist als Quelle die Fläche anzusetzen, auf der die Handhubwagen bewegt werden. Der über eine Stunde gemittelte Schalleistungspegel kann auf einen flächenbezogenen Wert L''_{WAT} umgerechnet werden nach

Gleichung 16

$$L''_{WAT,1h} = L_{WAT} + 10 \cdot \log\left(\frac{T_E}{3600}\right) - 10 \cdot \log\left(\frac{S}{S_0}\right)$$

- $L''_{WAT,1h}$ flächenbezogener Schalleistungspegel, inkl. Impulszuschlag, auf 1 Stunde bezogen
- L_{WAT} Schalleistungspegel eines Hubwagens inkl. Impulszuschlag
- T_E gesamte Einwirkdauer aller Fahrbewegungen der Handhubwagen innerhalb einer Stunde in [s]
- S Fläche mit der Bezugsfläche ($S_0=1\text{m}^2$)

Kurzzeitige Pegelspitzen traten während der Bewegungen der Handhubwagen insbesondere dann auf, wenn Bodenunebenheiten, Rinnen oder Kanten überfahren wurden.

Tab. 21: Schalleistungspegel Handhubwagen

Beladung:	unbeladen	Glasflaschen	PET-Flaschen
Bodenoberfläche:	Schalleistungspegel L_{WAT} [dB(A)]		
Asphalt, eben	94	86	89
Asphalt, uneben	100	87	90
Pflaster	95	89	90
Gesamt	Geräuschspitzen L_{WAMax} [dB(A)]		
ebener Asphalt und Pflastersteine	≤ 102	≤ 97	
unebener Asphalt	≤ 105		
Quelle:	HLUG Heft 3 2005		

Anhang zu Teil 5: Empfohlene Emissionsansätze für Immissionsprognosen

Technisches Datenblatt Nr. 6

Ergänzung 2012

Lfd. Nr.: 6

Einsatz Prozess

Ein- und Ausstapeln von „geräuscharmen“ Metall-Einkaufswagen in eine Sammelbox

Fahrzeugtyp

Einkaufswagen mit Metallkorb mit Bodenrost (Hersteller Wanzel, Serie DRC, Typ 130).

Eine Rundum-Beschichtung des Drahtkorbes und der Metallkomponenten (Power Coating Plus, Pulver-Beschichtung) und Kunststoff-Protpektoren (obere Korbschutzecken, Stoßleiste, Bodenrostdämpfer) dämpfen das Geräuschniveau beim Ineinanderschieben (Metall auf Metall) und reduzieren Schleifgeräusche.

Korbklappenelemente mit Spezial-Kunststoffeinlage dämpfen den Anschlag der Klappe. Kunststoff-Scharniere zwischen Korbklappe und Korb dienen als geräuschreduzierendes Lager.

Kugelgelagerte Gummi-Laufrollen mit Soft-Drive-Technik (Elastomer-Element) übertragen Bodenunebenheiten und Vibrationen in gedämpfter Form auf das Untergestell, so dass der Einkaufswagen ruhiger läuft.



Geräuschquelle

Geräusche beim Ineinanderschieben der Einkaufswagen und beim Fahren auf unebenen Böden

Zustand

Neuwertig

Technisches Datenblatt Nr. 6 Ergänzung 2012 Lfd. Nr.: 6

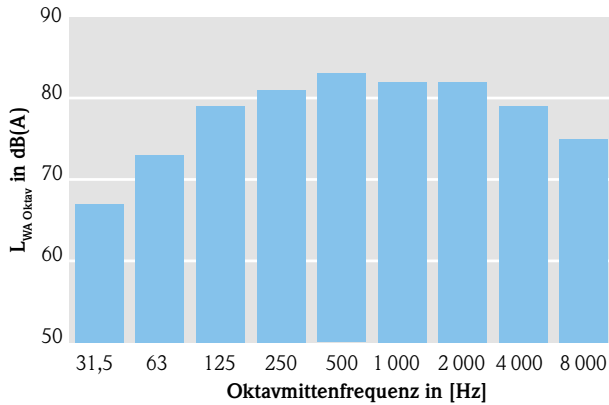
Einsatz Prozess

Einkaufswagen mit Metallkorb mit Bodenrost (Hersteller Wanzel, Serie DRC, Typ 130) „geräuscharme“ Ausführung

Einsatz Prozess

Dauer der Mittelungszeit bei der Messung des $L_{WA_{Teq}}$ in sec	5
Impulshaltigkeit, ausgedrückt als Differenz $L_{A_{FTeq}} - L_{A_{Feq}}$ in dB(A)	4
Standardabweichung der Impulshaltigkeit in dB	2
Tonhaltigkeit, bewertet nach subjektiver Wahrnehmung, in dB(A)	0
Messunsicherheit in dB(A)	± 1

Schallleistung	dB(A)
$L_{WA_{eq}}$	89
Standardabw. s.	4
$L_{WA_{eq,1h}}$	61
Standardabw. s.	40
$L_{WA_{max}}$	96
Standardabw. s.	5
Anzahl n	100



Hz	$L_{WA_{Oktav}}$ dB(A)
31,5	67
63	73
125	79
250	81
500	83
1000	82
2000	82
4000	79
8000	75
Summe	89
n-Spektren	100

Bemerkungen

keine

Literaturverzeichnis

- [1] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen durch Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern, Speditionen und Verbrauchermärkten sowie weiterer typischer Geräusche insbesondere von Verbrauchermärkten, Wiesbaden: HLNUG, 2005.
- [2] Hessische Landesanstalt für Umwelt: Technischer Bericht zur Untersuchung der LKW- und Ladegeräusche auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern und Speditionen, Wiesbaden: HLFU, 1995.
- [3] ROMER, M.-N.: Unveröffentlicht – Analyse und Beurteilung der Fahrgeräusche von konventionellen Lastkraftwagen, Hochschule für angewandte Wissenschaften München, 2019.
- [4] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2007/46/EG vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge, 2007.
- [5] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN ISO 9613-2: 1999-10 Akustik Dämpfung des Schalls im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Berlin: Beuth Verlag, Oktober 1999.
- [6] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 45641: 1990-06. Mittelung von Schallpegeln, Berlin: Beuth Verlag, 1990-06.
- [7] Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: Verordnung (EU) Nr. 540/2014 vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/RG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG, 2014.
- [8] FREUDENSTEIN, W. : Geräuschemissionen bei Verladetätigkeiten, Zeitschrift Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 129, Jahr 1991.
- [9] EINBOCK, S.: Statistik für Ingenieure und Naturwissenschaftler (mit Excel), in cooperation with the Verein Deutscher Ingenieure (VDI - Association of German Engineers).
- [10] KRONTHALER, E.: Statistik angewandt. Datenanalyse ist (k)eine Kunst., Berlin / Heidelberg: Springer-Verlag, 2014.
- [11] KARL, M.: Beschreibende Statistik und Wirtschaftsstatistik, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft

www.hlnug.de