

DUISBURGER HAFEN  
FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR MATERIALFLUSS UND LOGISTIK, IML  
PEUTZ CONSULT  
SCHULTEN STADT- UND RAUMENTWICKLUNG

# Leiser Hafen

Effiziente und stadtverträgliche Maßnahmen zur  
Lärmreduzierung in logistischen Knoten im Binnenland

Förderkennzeichen:

Gefördert von:

## Inhalt

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>10</b>
<b>2 Ziel und Vorgehen.....</b>	<b>15</b>
<b>3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen .....</b>	<b>17</b>
3.1 Analyse der Akteure im Binnenhafen und den umliegenden Branchen.....	18
3.2 Hafenanalyse am Beispiel des Duisburger Hafens .....	25
3.3 Lärmtechnische Erfassung der Hafenprozesse .....	31
3.4 Qualitative Steckbriefe der Lärmquellen .....	40
3.5 Lärmmessungen an relevanten Lärmquellen.....	45
3.6 Darstellung des lärmspezifischen Entwicklungspotenzials .....	67
3.7 Trendanalyse.....	71
<b>4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten .....</b>	<b>81</b>
4.1 Erkenntnisse aus Forschungsprojekten und Seehäfen .....	81
4.2 Gesetzeslage zum Thema Lärm im Binnenhafen .....	91
4.3 Technische, bauliche und neue Technologien zur Lärminderung.....	100
<b>5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix .....</b>	<b>107</b>
5.1 Kriterien für logistische Effizienz und Lärmemissionen .....	107
5.2 Ursachen-Maßnahmen-Matrix .....	109
<b>6 Konzeptionierung und Anwendung .....</b>	<b>113</b>
6.1 Konzeptionierung von anwendungskonformen Lärminderungs-maßnahmen.....	113
6.2 Integriertes Hafенflächenentwicklungskonzept .....	117
6.3 Bewertungs- und Auswahltool zur Identifikation und Bewertung von Maßnahmen .....	121
6.4 Lärmgesteuertes Routing.....	123
6.5 Auswirkungen von ganzheitlichen Lösungsansätzen in der Praxis .....	127
<b>7 Implementierung und Testphase.....</b>	<b>143</b>
<b>8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit.....</b>	<b>154</b>
8.1 Stakeholderintegration .....	154
8.2 Erstellung eines Good-Practice-Guide .....	154
8.3 Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichung der Projektergebnisse.....	158
<b>9 Zusammenfassung .....</b>	<b>159</b>
<b>10 Anhang .....</b>	<b>160</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>199</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anlass und Problemstellung (Quelle: eigene Darstellung SSR).....	11
Abbildung 2: Struktur des Endberichts (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	12
Abbildung 3: Vorgehen Forschungsprojekt Leiser Hafen (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium).....	16
Abbildung 4: Akteure im Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Nottenboom und Winkelsmann 2002) .....	18
Abbildung 5: Akteurskategorien Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Nottenboom und Winkelsmann 2002) .....	19
Abbildung 6: Gegenseitige Beeinflussung der Akteure im Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML).....	24
Abbildung 7: Übersicht der logports 1-6 (gelb markiert) in Duisburg, Kamp Lintfort und Oberhausen (Quelle: Duisburger Hafen) .....	28
Abbildung 8: Hafengelände in DU-Ruhrort, Kaßlerfeld und Hochfeld (links) sowie Logports 1 (DU-Rheinhausen), 2 (DU-Wanheim) und 3 (DU-Hohenbudberg) (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b).....	29
Abbildung 9: Logport 4 in Kamp-Lintfort (links) und Logport 5 (Oberhausen) und 6 (DU-Walsum) (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b) .....	29
Abbildung 10: Morphologischer Kasten (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	31
Abbildung 11: Klassifizierung der Lärmquellen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	32
Abbildung 12: Lärmkategorien und -quellen Leiser Hafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	40
Abbildung 13: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 1 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	47
Abbildung 14: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 2 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	47
Abbildung 15: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 3 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	48
Abbildung 16: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 4 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	48
Abbildung 17: Darstellung Kranbestandteile (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	49
Abbildung 18: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 1 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	50

Abbildung 19: Messaufbau Kran (Quelle: Peutz Consult) .....	50
Abbildung 20: Ergebnisse der Kranmessungen in dB(A) (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	51
Abbildung 21: Kapselung des Hydraulikaggregates am Kran-Spreader (ohne links und mit rechts Kapselung) (Quelle: Peutz Consult) .....	51
Abbildung 22: Schließen der Öffnungen am Windeshaus auf ein Mindestmaß (ohne links und mit rechts) (Quelle: Peutz Consult) .....	52
Abbildung 23: Absorbierende Innenauskleidung des Windeshauses (Quelle: Peutz Consult) .....	52
Abbildung 24: Reachstacker mit Dieselantrieb (links) und hydrostatischem Antrieb (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b) .....	53
Abbildung 25: Aufbau Lärmmessung Reachstaker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) ...	54
Abbildung 26: Pegelzeitverlauf Messungen Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	56
Abbildung 27: Umsetzer-Lkw mit Dieselantrieb (links) und mit elektrischem Antrieb (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen) .....	57
Abbildung 28: Pegelzeitverlauf Containerverladung auf Schiffe (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	60
Abbildung 29: Verladung Schüttgut (Quelle: Duisburger Hafen) .....	61
Abbildung 30: Messpunkt Containerterminal (Dauermessung) (Quelle: Peutz Consult) .....	63
Abbildung 31: Messpunkt Containerterminal (Dauermessung): vor (links) und nach (rechts) Errichtung der Lärmschutzwand (Quelle: Peutz Consult) .....	63
Abbildung 32: Messpunkt Containerterminal: Vergleich Mittelungspegel mit und ohne Lärmschutzwand (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	64
Abbildung 33: Messpunkt Hafenzufahrt (Dauermessung) (Quelle: Peutz Consult) .....	65
Abbildung 34: Messpunkt Hafenzufahrt: LAeq und L95 sowie Gesamtmittelwerte (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	66
Abbildung 35: Grundmodell virtueller Hafen (Quelle: Fraunhofer IML) .....	69
Abbildung 36: Entwicklung des RWI / ISL-Containerumschlag-Index (Quelle: SSR auf Grundlage von RWI) .....	71
Abbildung 37: Bewertungsschema der Trends nach Einfluss auf die Akteure (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	73
Abbildung 38: Trendbeschreibung Urbanisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Florian Weis 2018)) .....	73



Abbildung 39: Trendbeschreibung Klimaschutz (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2017; Die Bundesregierung 2015)) .....74

Abbildung 40: Trendanalyse Globalisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Globalisierung Fakten 2017; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Internationales Transportforum 2015 2015)).....74

Abbildung 41: Trendanalyse Social Networked Industry (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Fraunhofer IML 2017)) .....75

Abbildung 42: Trendanalyse Autonomes Fahren (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Daimler AG 2018)) .....75

Abbildung 43: Trendanalyse alternative Antriebe (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. 2018)) .....76

Abbildung 44: Trendanalyse Automatisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (DIN ISO 9631-2; Gabler Wirtschaftslexikon 2017; DIN V 19233)).....76

Abbildung 45: Trendanalyse Digitalisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Götter 2016; STH-Systeme 2016; Die Bundesregierung 2015)).....77

Abbildung 46: Trendanalyse Cyber-physische-Systeme (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (VDI / VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik 2013)) .....77

Abbildung 47: Trendanalyse Smart City Konzepte (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Wiener Stadtwerke 2017)) .....78

Abbildung 48: Trendanalyse Smart Data Analysis (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Renger 2018; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017; Jähnichen 2015; Henkel 2017)).....78

Abbildung 49: Trendanalyse Synchromodalität (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Fraunhofer IML 2018; PTV Group 2013)).....79

Abbildung 50: Trendanalyse Nachtlogistik (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (GeNaLog 2017)) .....79

Abbildung 51: Trendanalyse Güterstruktureffekte (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Academic 2017b)) .....80

Abbildung 52: Trendanalyse Dominanz containerisierter Verkehr (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Gabler Wirtschaftslexikon 2018b; Behörde für Umwelt und Energie Hamburg 2014)) .....80

Abbildung 53: Verfahren für Lärmmanagement und Lärmkartierung (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an NoME Ports; van Breemen 2008) .....83

Abbildung 54: Grundprinzip der Lärminderung (Quelle: Eigene Darstellung SSR Schulten) .....86

Abbildung 55: Typische Lärminderungsmaßnahmen (Quelle: Eigene Darstellung SSR).....90

Abbildung 56: Gesamtbelastung (Quelle: Eigene Darstellung SSR in Anlehnung an Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a).....	99
Abbildung 57: Maßnahmenzuordnung Potenzialfelder (Quelle: Eigene Darstellung SSR) .....	101
Abbildung 58: Kennzahlensystem Distribution (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an (Verein Deutscher Ingenieure 2002)) .....	107
Abbildung 59: Zielsystem der Logistik (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Arnold et al. 2008) .....	108
Abbildung 60: Kennzahlen zur Bewertung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium) .....	109
Abbildung 61: strategisches Ablaufschema (Quelle: Fraunhofer IML 2018) .....	114
Abbildung 62: Ablaufschema Integriertes Hafensflächenkonzept (Quelle: Eigene Darstellung SSR) .....	119
Abbildung 63: Auswahlmaske und : Abhängigkeiten zwischen den Variablen des Excel-Auswahltools (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	121
Abbildung 64: Darstellung der Maßnahmenvorschläge (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	122
Abbildung 65: Maßnahmenkatalog (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML).....	122
Abbildung 66: Lärmrouting Alternativrouten Lkw (Quelle: Remmert 2017) .....	125
Abbildung 67: Dreidimensionale Darstellung des Simulationsmodells virtueller Hafen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	127
Abbildung 68:Legende virtueller Hafen und Isophonenmodelle (Quelle: Peutz Consult) .....	128
Abbildung 69: Darstellung Ausgangsvariante (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	129
Abbildung 70: Beurteilungspegel dB(A) Isophonendarstellung (Quelle: Peutz Consult) .....	129
Abbildung 71: Isophonenberechnung Tageszeitraum ohne Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult).....	130
Abbildung 72: Isophonenberechnung Nachtzeitraum ohne Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult).....	131
Abbildung 73: Isophonenberechnungen Lärmschutzwand Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	132
Abbildung 74: Beurteilungspegel dB(A) für Differenzisophonenkarten (Quelle: Peutz Consult) ...	133
Abbildung 75: Differenz Isophonenkarte Lärmschutzwand Tageszeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult).....	133
Abbildung 76: Differenz Isophonenkarte Lärmschutzwand Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult).....	134

Abbildung 77: Gebäuderiegel (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	135
Abbildung 78: Isophonenberechnungen Gebäuderiegel Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	135
Abbildung 79: Differenzisophonenkarte Gebäuderiegel Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	136
Abbildung 80: Darstellung Verlagerung Neuansiedlung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	137
Abbildung 81: Ergebnisse Isophonenberechnung Neuansiedlung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	137
Abbildung 82: Differenz Isophonenkarten Verlagerung Neuansiedlung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	138
Abbildung 83: Verkehrsleitsystem ohne Umlenkung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	139
Abbildung 84: Verkehrsleitsystem mit Umlenkung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	139
Abbildung 85: Isophonenberechnung ohne Umlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	140
Abbildung 86: Isophonenberechnung Verkehrsumlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	140
Abbildung 87: Differenz Isophonen Verkehrsumlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult) .....	141
Abbildung 88: Spurkranzschmiereinrichtungen (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	144
Abbildung 89: Lärmmauer (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	146
Abbildung 90: Absorbierende Lärmschutzwand (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	146
Abbildung 91: System zur Steuerung von Lkw-Verkehren (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	150
Abbildung 92: Landstromversorgung (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	151
Abbildung 93: LNG-Tank am Fahrzeug 1 (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	153
Abbildung 94: LNG-Tank am Fahrzeug 2 (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	153
Abbildung 95: Schritt 1: Identifikation der Handlungsnotwendigkeit (Quelle: Fraunhofer IML) .....	154
Abbildung 96: Schritt 2: Ursachendefinition (Quelle: Fraunhofer IML) .....	155
Abbildung 97: Schritt 3: Nutzung Maßnahmenkatalog (Quelle: Fraunhofer IML) .....	156
Abbildung 98: 4. Schritt: Bewertung ausgewählter Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML) .....	157
Abbildung 99: Schritt 5: Entscheidung (Quelle: Fraunhofer IML) .....	157

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kapitelstruktur und beteiligte Projektpartner je Kapitel (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium).....	14
Tabelle 2: Kennzahlen Duisburger Hafen (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b).....	27
Tabelle 3: Steckbrief Lärmquellen - Antriebsart des Lkws (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML).....	42
Tabelle 4: Steckbrief Lärmquellen – Kranfahrten (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) ...	44
Tabelle 5: Messwertarten der TA Lärm und deren Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998).....	46
Tabelle 6: Messergebnisse Portalkran (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	52
Tabelle 7: Ergebnisse Messungen Diesel- und Hybrid-Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult).....	54
Tabelle 8: Messergebnisse Handling durch Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	55
Tabelle 9: Ergebnisse Messung Diesel- und E-MAFI (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) ..	57
Tabelle 10: Messergebnisse Handling von Wechselbrücken durch MAFI (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult).....	58
Tabelle 11: Ergebnisse Messung Rückfahrwarner (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	59
Tabelle 12: Messergebnisse Verladung Schüttgut (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult) .....	62
Tabelle 13: Immissionsrichtwerte (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998) .....	93
Tabelle 14: Immissionsgrenzwerte Verkehrslärm (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Bundesumweltministerium) .....	94
Tabelle 15: Abstand von Straßen nach DIN 18005 (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013b) .....	95
Tabelle 16: Lärmquellen – Lärmmaßnahmen Zuordnung (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML).....	103
Tabelle 17: Kosten für passive Schallschutzmaßnahmen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach FIRU).....	104
Tabelle 18: Übersicht zu möglichen Maßnahmen mit zugehörigen Lärmreduzierungen und Kostenaufwendungen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach Spiekermann 2008).....	104

Tabelle 19: Übersicht zu möglichen Maßnahmen mit zugehörigen Lärmreduzierungen und Kostenaufwendungen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach Spiekermann 2008, S. 27) .....	105
Tabelle 20: Ursachen-Maßnahmen-Matrix (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML) .....	112
Tabelle 21: Übersicht Umgebungsrestriktionen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Remmert 2017) .....	125
Tabelle 22: Maßnahme: Warnsignalgeräte (Quelle: Duisburger Hafen AG).....	143
Tabelle 23: Maßnahme – Gleisschmieranlagen (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	144
Tabelle 24: Maßnahme – Lärmschutzwände (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	145
Tabelle 25: Maßnahme - Leise Maschinen/Werkzeuge (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	147
Tabelle 26: Ausrichtung von Gebäuden (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	148
Tabelle 27: Maßnahme - Prozessoptimierung (räumlich/zeitlich) (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	149
Tabelle 28: Prozessoptimierung (zeitlich) (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	150
Tabelle 29: Maßnahmen – Landstrom (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	151
Tabelle 30: Maßnahme - Einsatz von LNG als alternativer Kraftstoff (Quelle: Duisburger Hafen AG) .....	152

## 1 Einleitung

### 1 Einleitung

Binnenhäfen existieren seit jeher in einem komplexen Spannungsfeld, bei dem wirtschaftliche, politische, rechtliche, stadtplanerische und einwohnerorientierte Interessen und Anforderungen aufeinandertreffen. Der Güterverkehr wächst auch in Zukunft und in Kombination mit dem anhaltenden Trend der Urbanisierung führen die unterschiedlichen Interessen zu einer Verknappung von Flächen und einer Diskrepanz von Interessen und Anforderungen, die in Binnenhäfen aufeinandertreffen.

Neben Herausforderungen hinsichtlich der Ökologie, gewinnen auch zunehmend lärmvermeidende und –vermindernde Maßnahmen in Binnenhäfen an Bedeutung. Eine leise Logistik ist ein entscheidender Faktor bei der Erhaltung und Entwicklung der Logistikkreisläufe Binnenhäfen.

Das Projekt „Leiser Hafen“, gefördert durch das Land Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014-2020 „Investition in Wachstum und Beschäftigung“, hatte das Ziel, lärmvermeidende und -mindernde Maßnahmen unter Berücksichtigung der logistischen Effizienz im Binnenhafen zu entwickeln und umzusetzen. So sollen Nutzungskonflikte minimiert, zukünftige Entwicklungspotenziale eröffnet und stadtverträgliche Lösungen für typische Konfliktthemen in der Hafen- und Stadtentwicklung aufgezeigt werden. Durch die ganzheitliche Betrachtung aller relevanten Hafen- und Hafenumfeldprozesse wird das Land NRW als best practice Anwendungsgebiet und Innovationstreiber für leise, effiziente und damit insgesamt stadtverträgliche Logistik gestärkt.

Hafenstandorten kommt vor dem Hintergrund einer nachhaltigen und integrierten Stadtentwicklung in vielerlei Hinsicht eine hohe Bedeutung zu. Als Logistikkreisläufe tragen sie maßgeblich zur wirtschaftlichen Entwicklung einer Region bei und bieten die Möglichkeit, Verkehrs- und Logistikprozesse ressourcenschonend abzuwickeln. Als trimodale Logistikkreisläufe vernetzen sie die Verkehrsträger Wasserstraße, Schiene und Straße und ermöglichen somit einen ressourcenschonenden Güterverkehr ansässiger Unternehmen in und aus den Industriezentren.

Abbildung 1 stellt den Anlass und die Problemstellung der vorliegenden Arbeit dar. Dem Erhalt und Ausbau des Hafens als trimodalen Standort für den Güterumschlag steht eine heranrückende schutzbedürftige Flächennutzung entgegen, da der Hafen zunehmend als attraktiver Wohn- und Geschäftsstandort gesehen wird.

## 1 Einleitung

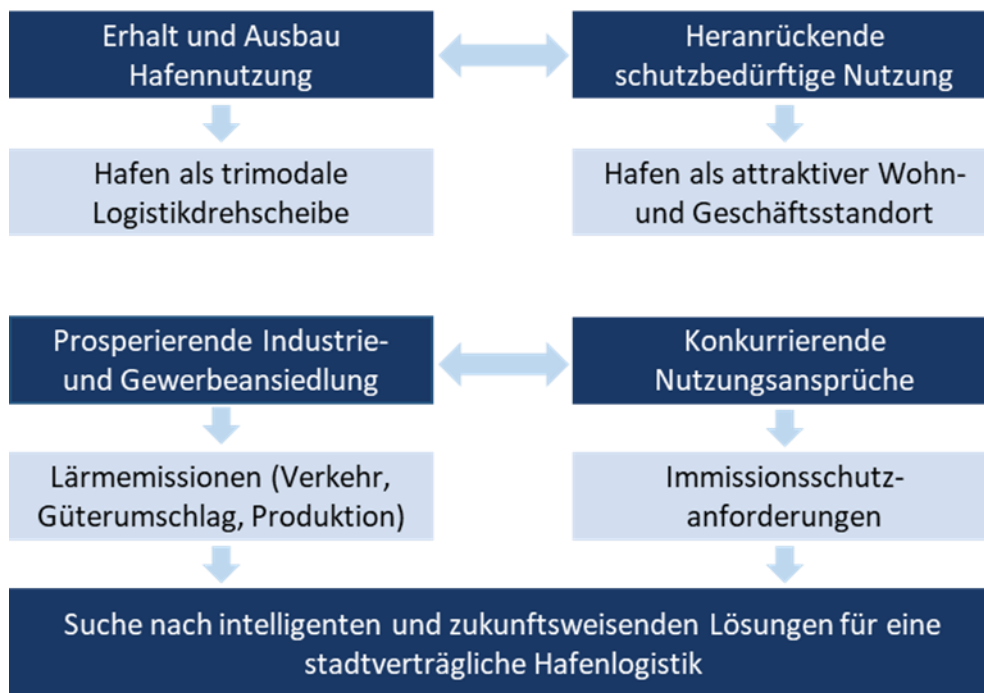


Abbildung 1: Anlass und Problemstellung (Quelle: eigene Darstellung SSR)

Den wirtschaftlichen Vorteilen trimodaler Umschlagstandorte in urbanen Gebieten, wie beispielhaft die Nutzung aller Verkehrsträger, stehen Nachteile gegenüber, die sich vor allem in Form konkurrierender Nutzungsinteressen und -konflikte äußern. Insbesondere die durch Hafenprozesse, Verkehr sowie Umschlags- und Produktionsprozesse auftretenden Lärmemissionen werden von der an den Hafen angrenzenden Wohnbevölkerung als störend wahrgenommen. Lärm zählt zu den von Menschen verursachten Umweltbeeinträchtigungen und hat einen bedeutenden Einfluss auf die Lebensqualität der in Städten wohnenden Menschen.<sup>1</sup> Dauerhafte Lärmemissionen beeinflussen die menschliche Gesundheit negativ. Trotz individueller Ausprägung und Abhängigkeit von der Art der Lärmquelle, zeigen sich Folgen für die Gesundheit sowohl im psychisch als auch im physischen und sozialen Wohlbefinden der Betroffenen. Die World Health Organization (WHO) nennt Lärm als einen der wichtigsten Umweltrisiken für die geistige und körperliche Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen in Europa und hat Leitlinien für den Gesundheitsschutz entwickelt, die als Orientierungshilfe für die Mitgliedsstaaten genutzt werden können.<sup>2</sup> Das Bedürfnis nach Ruhe in der Wohnung sowie im Wohnumfeld macht Lärm daher zu einem Standortfaktor, der in städtischen Gemengelage wirksam wird. In diesem Spannungsfeld ist die Nutzbarkeit von Flächen unmittelbar mit dem Thema Lärm verbunden. Die Planung von Wohnstandorten in direkter Nähe von Hafenanlagen und das Aneinanderrücken zweier unterschiedlicher Nutzungen, sind demzufolge mit grundlegenden Zielkonflikten behaftet. Die Vielzahl der an der Entwicklung des Hafens beteiligten Akteure verschärft die Problemsituation und erschwert die Schaffung eines einheitlichen Meinungsbildes.

Der vorliegende Endbericht dient als Ergebnisdokumentation des Forschungsprojektes „Effiziente und stadtverträgliche Maßnahmen zur Lärmreduzierung in logistischen Knoten im Binnenland“ (Leiser Hafen) im Bearbeitungszeitraum April 2016 bis März 2019. In Zusammenarbeit der Projektpartner Duisburger Hafen AG,

<sup>1</sup> Faust.

<sup>2</sup> World Health Organization (WHO) Regional Office for Europe: Environmental Noise Guidelines for the European Region. Kopenhagen, 2018, S. xiii

## 1 Einleitung

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML), SSR Schulten Stadt- und Raumentwicklung sowie Peutz Consult GmbH wurden lärmvermeidende und -mindernde Maßnahmen entwickelt und umgesetzt. Die Struktur des Endberichts ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

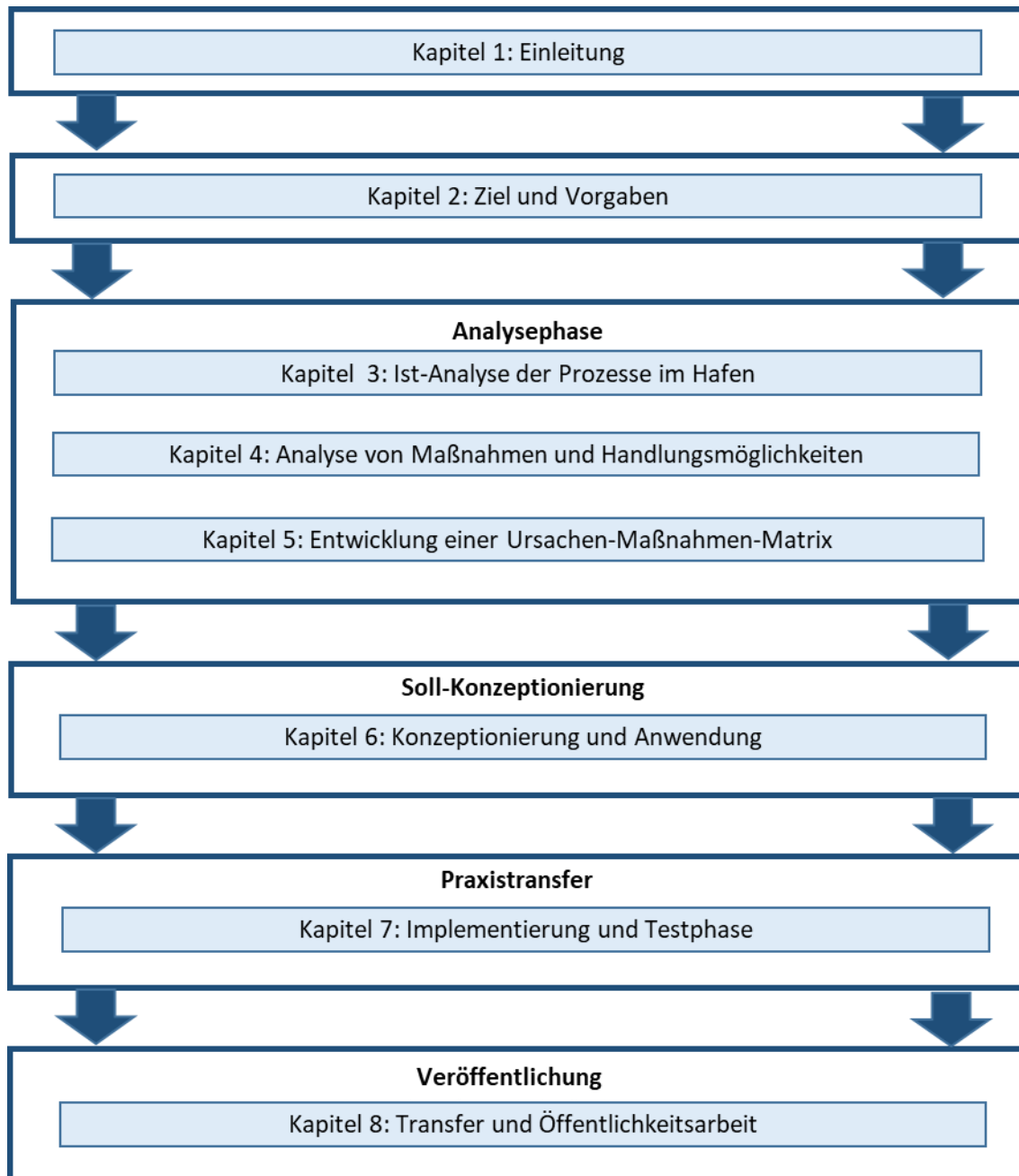


Abbildung 2: Struktur des Endberichts (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Tabelle 1 stellt die Struktur des Endberichts aufgeschlüsselt nach Kapiteln und Projektbeteiligten des Konsortiums dar. Aus der Tabelle ist ersichtlich, welche Projektpartner an welchen Bestandteilen des Endberichts mitgewirkt haben.



## 1 Einleitung

Kapitel	Kapitelname	Duisburger Hafen	Fraunhofer IML	SSR	Peutz Consult
1	Einleitung	x	x	x	x
2	Ziel und Vorgehen	x	x	x	x
3	Ist-Analyse der Prozesse im Hafen	x	x	x	x
3.1	Analyse der Akteure im Binnenhafen und den umliegenden Branchen	x	x	x	
3.2	Hafenanalyse am Beispiel des Duisburger Hafens	x			
3.3	Lärmtechnische Erfassung der Hafenprozesse	x	x	x	x
3.4	Qualitative Steckbriefe der Lärmquellen	x	x	x	x
3.5	Lärmmessungen an relevanten Lärmquellen	x			x
3.6	Darstellung des lärmspezifischen Entwicklungspotenzials	x	x	x	x
3.7	Trendanalyse	x	x	x	x
4	Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten	x	x	x	x
4.1	Erkenntnisse aus Forschungsprojekten und Seehäfen	x	x	x	x
4.2	Gesetzeslage zum Thema Lärm im Binnenhafen	x	x	x	x
4.3	Technische, bauliche und neue Technologien zur Lärminderung	x	x	x	x

1 Einleitung

<b>5</b>	<b>Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix</b>	x	x	x	x
<b>5.1</b>	<b>Kriterien für logistische Effizienz und Lärmemissionen</b>	x	x	x	x
<b>5.2</b>	<b>Ursachen-Maßnahmen-Matrix</b>	x	x	x	x
<b>6</b>	<b>Konzeptionierung und Anwendung</b>	x	x	x	x
<b>6.1</b>	<b>Konzeptionierung von anwendungskonformen Lärminderungsmaßnahmen</b>	x	x	x	x
<b>6.2</b>	<b>Integriertes Hafenumflächenentwicklungskonzept</b>			x	
<b>6.3</b>	<b>Bewertungs- und Auswahltool zur Identifikation und Bewertung von Maßnahmen</b>	x	x		
<b>6.4</b>	<b>Lärmgesteuertes Routing</b>	x	x	x	x
<b>6.5</b>	<b>Auswirkungen von ganzheitlichen Lösungsansätzen in der Praxis</b>	x	x	x	x
<b>7</b>	<b>Implementierung und Testphase</b>	x	x	x	x
<b>8</b>	<b>Transfer und Öffentlichkeitsarbeit</b>	x	x	x	x
<b>8.1</b>	<b>Stakeholderintegration</b>	x	x	x	x
<b>8.2</b>	<b>Erstellung eines Handbuchs (Good-Practice-Guide)</b>	x	x	x	x
<b>8.3</b>	<b>Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichung der Projektergebnisse</b>	x	x	x	x
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	x	x	x	x

Tabelle 1: Kapitelstruktur und beteiligte Projektpartner je Kapitel (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium)

## 2 Ziel und Vorgehen

Ziel des Projektes „Leiser Hafen“ war es, lärmvermeidende und -mindernde Maßnahmen unter Berücksichtigung der logistischen Effizienz im Binnenhafen zu entwickeln und umzusetzen. Hierdurch sollten Nutzungskonflikte minimiert, zukünftige Entwicklungspotenziale eröffnet und stadtverträgliche Lösungen für gängige Konfliktthemen in der Stadt- und Hafentwicklung aufgezeigt werden.

Durch eine ganzheitliche Betrachtung aller relevanten Hafen- und Hafenumfeldprozesse wird das Land NRW als Best-Practice-Anwendungsgebiet und Innovationstreiber für leise, effiziente und damit insgesamt stadtverträgliche Logistik gestärkt. Das Konsortium hat von der LeitmarktAgentur NRW den Förderzuschlag erhalten, im Rahmen des operationellen Programms „EFRE NRW 2014-2020 ‚Investitionen in Wachstum und Zukunft‘“, dieser Aufgabe nachzugehen. Projektpartner sind die Duisburger Hafen AG, das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, Schulten Stadt- und Raumentwicklung (SSR) und die Peutz Consult GmbH. Die Konsortialführung hatte die Duisburger Hafen AG und die wissenschaftliche Leitung des Projekts lag beim Fraunhofer IML. Durch die Partner im Konsortium können die Forschungsfragen aus unterschiedlichen Perspektiven analysiert werden. Der Duisburger Hafen hat die Konsortialführung übernommen und stellte die Testfelder für die Umsetzungsmaßnahmen im Verbundvorhaben. Durch Peutz Consult ist ein Lärmgutachter Teil des Konsortiums, durch den Lärmmessungen im Hafengebiet durchgeführt wurden. SSR hat die Aufgabe, Lärminderung aus Perspektive der Stadtentwicklung zu analysieren. Das Fraunhofer IML hat die Rolle der wissenschaftlichen Projektleitung im Rahmen des Projekts „Leiser Hafen“ übernommen und bei der Entwicklung der Ursachen-Maßnahmen-Matrix beigetragen sowie den wissenschaftlichen Teil des Vorhabens realisiert. Die Zusammensetzung des Konsortiums zeigt, dass verschiedene Perspektiven auf den „Leisen Hafen“ durch die Verbundpartner abgedeckt werden. Es sind stadtplanerische, logistische, industrielle sowie lärmtechnische Interessen vertreten, wodurch das Konsortium eine große Bandbreite von Sichten auf das Problem ermöglicht.

Um ein innovatives und ganzheitliches Lärmmanagement zu erarbeiten, das bei der Auswahl geeigneter emissionsreduzierender und -vermeidender Maßnahmen hilft sowie gleichzeitig aber die Funktion und Effizienz von Binnenhäfen nicht maßgeblich beeinträchtigt, wurden im Rahmen einer Ist-Analyse der Prozesse im Hafen zukünftige Anforderungen und Konflikte – sowohl im Hafen als auch im Hafenumfeld – aufgenommen und Lärmquellen identifiziert. Neben den Entwicklungsperspektiven für Häfen wurden zusätzlich auch Zukunftsthemen der Logistik, wie z.B. Digitalisierung (neue Anforderung an Logistikdrehscheiben, neue Möglichkeiten der Optimierung und Steuerung), aufgenommen und in Form eines virtuellen Hafens dargestellt.

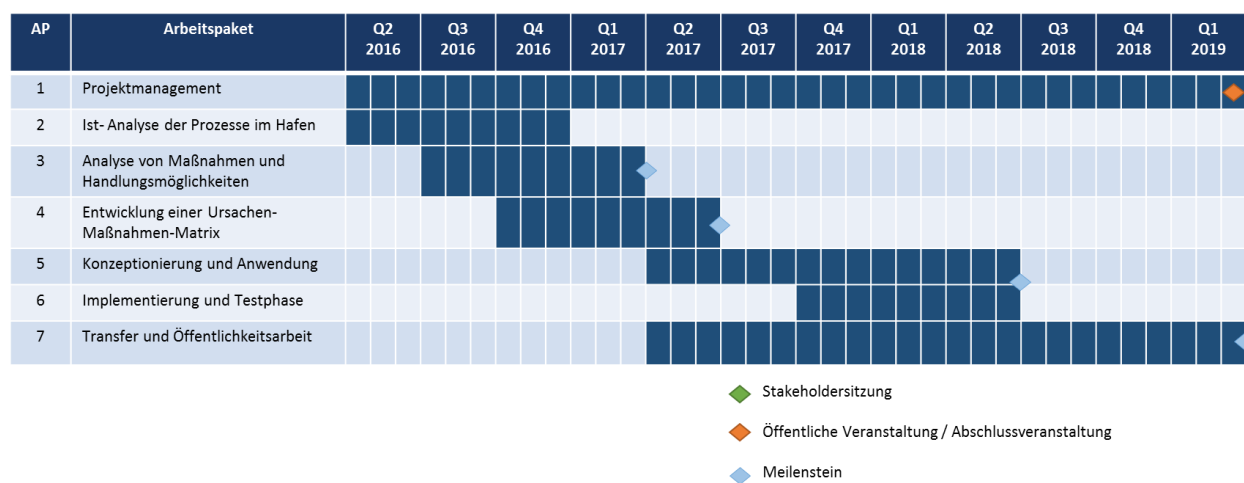
Für die betroffenen Prozesse wurden sowohl technologische als auch prozessuale Lärminderungsmaßnahmen untersucht und bewertet. Neben Umsetzungen, z. B. bei Prozessänderungen, wurden auch weitere Maßnahmen entwickelt, wie etwa lärmgesteuertes Routing für Verkehrsleitsysteme. Abschließend wurde ein Good-Practice-Guide in Form eines Handbuchs und ein Auswahltool zur Identifizierung und Bewertung von Maßnahmen entwickelt.

Ziel des Projekts war es, den Binnenhäfen situationsabhängige Maßnahmen an die Hand zu geben. Die Teillösungen beinhalten dabei bauliche Veränderungen, Prozessänderungen oder auch den Einsatz neuer Techniken und Technologien. Neben dem gesellschaftlichen Nutzen trägt das Projekt damit zur nachhaltigen Entwicklung der Binnenhäfen bei und schafft durch ein sinkendes Lärmemissionsniveau Vorteile für Hafenmitarbeiter und Anlieger gleichermaßen. In einem ersten Schritt wurde eine Ist-Analyse der Prozesse im Hafen vorgenommen (vgl. Kapitel 3). Hierbei wurden die Akteure im Binnenhafen analysiert und die lärmtechnischen Hafenprozesse erfasst. Darauf basierend wurde ein Hafengesamtbild inklusive der lärmspezifischen Entwicklungspotenziale erstellt. Ein weiterer Baustein bei der Ist-Analyse war die Analyse von

## 2 Ziel und Vorgehen

Trends mit Bedeutung für die Entwicklung von Binnenhäfen. Das dritte Arbeitspaket (vgl. Kapitel 4) hat Erkenntnisse aus Seehäfen, Forschungsprojekten und Verordnungen und Gesetzen sowie neue Technologien zur Lärmverminderung für die Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten genutzt. Im vierten Arbeitspaket (vgl. Kapitel 5) wurden die Ergebnisse aus den vorherigen Arbeitspaketen genutzt um eine Ursachen-Maßnahmen-Matrix zu erstellen. Diese basiert unter anderem auf den Kriterien für logistische Effizienz und Lärmemissionen. Die Konzeptionierung für beispielhafte Umsetzung von Lärminderungsmaßnahmen wurde im fünften Arbeitspaket (vgl. Kapitel 6) durchgeführt. Das sechste Arbeitspaket (vgl. Kapitel 7) hat sich mit der Implementierung und Testphase beispielhafter Maßnahmen auseinandergesetzt. Das siebte Arbeitspaket (vgl. Kapitel 8) hat sich mit der Dokumentation der durchgeführten Arbeiten und der Stakeholder Integration beschäftigt.

**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt das Vorgehen bezogen auf den zeitlichen Rahmen auf und stellt die Meilensteine.



**Abbildung 3: Vorgehen Forschungsprojekt Leiser Hafen (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium)**

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Das folgende Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Analyse der Akteure in Binnenhäfen und umliegender Branchen sowie der lärmtechnischen Erfassung von Hafenprozessen. Hierbei fungiert der Duisburger Hafen als Beispiel. Des Weiteren wird, basierend auf den ersten beiden Teilarbeitspaketen des Kapitels ein Hafengesamtbild mit den lärmspezifischen Entwicklungspotenzialen ausgearbeitet und die Ergebnisse des 3. Kapitels fließen in das strategische Ablaufschema (vgl. Kapitel 6.1), als Grundlage des weiteren Vorgehens, ein.

Die Nachvollziehbarkeit folgender Inhalte ist von zentraler Bedeutung, um ein Verständnis grundlegender Zusammenhänge und Prozesse im Hafen und dessen Umfeld zu generieren. Vor diesem Hintergrund sollen nachfolgend Akteure und Zuständigkeiten aufgeführt, wesentliche Lärmquellen benannt sowie Nutzungsinteressen und Nutzungskonflikte aufgezeigt werden.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit definiert Lärm als „jedes unerwünschte laute Geräusch“.<sup>3</sup> Für die Lärmbewertung wird zwischen Emissionen und Immissionen unterschieden. Emissionen sind der Lärm, der von einer Anlage ausgeht und Immissionen bezeichnen die auf den Menschen einwirkenden Geräusche. Die Bewertung von Lärm kann mittels zweier Verfahren durchgeführt werden. Zum einen kann eine Lärmmessung durchgeführt werden, bei der eine Momentaufnahme festgehalten wird. Zum anderen sind Lärmberechnungen möglich. Diese werden in der Praxis allgemein vorgezogen, da Randbedingungen wie beispielsweise Witterungseinflüsse oder Hintergrundgeräusche beachtet werden.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014b.

<sup>4</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2014a.

### 3.1 Analyse der Akteure im Binnenhafen und den umliegenden Branchen

Die Prozesse im Hafen werden durch unterschiedliche private und öffentliche Akteure beeinflusst und gesteuert, wobei ihr Zuständigkeitsgrad in hohem Maß vom lokalen Kontext abhängig ist. Zu den relevanten Stakeholdern im Stadt-Hafen-Kontext zählen der Hafengebeteiber sowie die innerhalb des Hafens ansässigen Unternehmen, Akteure in Politik und Stadtverwaltung, diverse Interessengruppen, zu denen insbesondere lokale Anwohner gezählt werden, sowie ein breites Akteursfeld im Bereich der Logistik und des Infrastrukturbeteibers.

Die Definition der Akteure in Binnenhäfen ist abhängig von den Zielen des betrachteten Hafens. Freeman definiert Stakeholder als jede Person oder Gruppe von Personen, die die Zielerreichung einer Organisation beeinflussen oder von dieser beeinflusst werden.<sup>5</sup> Die Definition verdeutlicht, dass innerhalb einer Organisation eine Vielzahl von verschiedenen Akteuren, die gegebenenfalls konträre Ziele verfolgen, auftreten können. In einer Ausarbeitung von Notteboom und Winkelsmann wird zwischen externen und internen Akteuren im Hafen unterschieden.<sup>6</sup>



**Abbildung 4: Akteure im Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Notteboom und Winkelsmann 2002)**

Alle Beteiligten des Hafengebeteibers werden zu den internen Akteuren zugeordnet. Hierzu zählen Hafenmanagement, Aktionäre und Mitarbeiter des Hafens. Die Definition von relevanten Aktionären kann nicht allgemeingültig erfolgen, da oftmals auch Städte, der Bund oder Bundesländer als Hafengebeteiber beteiligt sind. Hierdurch ergibt sich die Situation, dass Aktionäre auch Teil der externen Akteure sein können. Externe Hafenakteure werden in drei Gruppen unterteilt, die nachfolgend Erläuterung finden.<sup>7</sup> Die hafensässigen Unternehmen fokussieren wirtschaftliche Ziele im Hafen. Als Akteure können in diesem Bereich Transport-, Umschlag- sowie Industrieunternehmen beispielhaft genannt werden. Die Legislative und die politischen Stakeholder im Hafen hingegen bündeln alle behördlichen Akteure auf lokaler, regionaler, nationaler und internationaler Ebene. Die Gesellschaft als dritte Kategorie der externen Akteure im Binnenhafen beinhaltet öffentliche Gruppierungen und Organisationen, die allgemeine Öffentlichkeit und die Presse. Die externen Akteure haben oftmals untereinander konträre Interessen in Bezug auf die Hafentwicklung und Hafennutzung.

<sup>5</sup> Freeman 2010, S. 55.

<sup>6</sup> Dooms und Macharis 2003, S. 5.

<sup>7</sup> Notteboom und Winkelsmann 2002, S. 4–6.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Aus diesen konträren Ansichten, die auch innerhalb von Akteurskategorien auftreten, können Nutzungskonflikte zwischen den beteiligten Akteuren entstehen.<sup>8</sup>

Für das Projekt Leiser Hafen wurden die Akteure in Binnenhäfen, basierend auf einer Literaturrecherche und Workshops im Rahmen des Konsortiums, in fünf Kategorien unterteilt. Für das vorliegende Projekt wurde die Unterteilung interner und externer Akteure von Nottenboom und Winkelsmann (vgl. Abbildung 4) erweitert und angepasst (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5: Akteurskategorien Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Nottenboom und Winkelsmann 2002)**

Jede Akteurskategorie hat unterschiedliche Verantwortlichkeiten und Entscheidungsbereiche im Binnenhafen. Im Folgenden werden die einzelnen Akteure innerhalb ihrer Akteurskategorien kurz beschrieben und ihre Funktionen sowie Zuständigkeiten im Binnenhafen dargestellt. Des Weiteren wird aufgezeigt, wie und in welcher Intensität die Akteure sich gegenseitig beeinflussen. Die Stärke der Beeinflussung wird durch Pfeile symbolisch dargestellt.

---

<sup>8</sup> Dooms und Macharis 2003, S. 12.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### 3.1.1 Darstellung der Akteurskategorien

Im Folgenden werden die fünf Akteurskategorien (Vgl. Abbildung 5), die für dieses Forschungsprojekt definiert wurden, näher erläutert:

##### Infrastrukturbetreiber

Die Infrastrukturbetreiber im Hafen werden in Straße, Schiene und Wasserstraße unterteilt. Die Straße dient als Infrastruktur für den Kraftfahrzeugverkehr. Auf dieser werden Personen sowie Güter befördert.<sup>9</sup> Straßen werden in private und öffentliche Eigentümerschaft unterschieden. Im Binnenhafen fungieren sie als Bindeglied zwischen logistischen Knotenpunkten. Der Zuständigkeitsschwerpunkt auf der Straße liegt im Kombinierten Verkehr bei der Abwicklung der ersten und letzten Meile.<sup>10</sup>

Die Schiene dient als Verkehrsträger für Güterzüge. Der Güterschwerpunkt liegt sowohl auf Schütt- als auch auf Massengütern sowie Containertransporten. Durch den Verkehrsträger Schiene wird die Infrastruktur für den Schienengüter- sowie Schienenpersonenverkehr bereitgestellt.<sup>11</sup>

Die Wasserstraße dient als nationaler sowie internationaler Fahrweg des Schiffsverkehrs. Demzufolge bilden Wasserstraßen ein verknüpftes Netz, welches die großen Seehäfen mit dem Hinterland, wo sich die Mehrheit der Industriezentren befinden, verbindet. Wasserstraßen sind somit u. a. schiffbar gehaltene Flüsse, Seen, Hafenzufahrten, Meerengen und Schifffahrtskanäle.<sup>12</sup> Im Bundeswasserstraßengesetz (Fassung 23.05.2007) wird zwischen Binnenwasserstraßen und Seewasserstraßen unterschieden.<sup>13</sup> Zum Bereich der Wasserstraßeninfrastruktur zählen zudem Schleusenanlagen und Schiffshebewerke. Die Zuständigkeit der Wasserstraßeninfrastruktur im öffentlichen Bereich obliegt dem Land (Landeswasserstraßen) und dem Bund (Bundeswasserstraßen).<sup>14</sup> Die Wasserstraßeninfrastruktur im Hafenbereich fällt unter den Zuständigkeitsbereich der Hafenebetreiber.

##### Interessensgruppen

Im Bereich der Interessensgruppen gibt es viele Akteure. Die allgemeine Öffentlichkeit bezeichnet die Gesamtheit der Menschen, die sich in einem gemeinsamen Interesse zusammenfinden und ihre Einzelinteressen bündeln.<sup>15</sup> Die Anwohner bzw. Bürger hingegen können Einfluss auf den Binnenhafen nehmen, indem sie sich zu Bürgerinitiativen zusammenfinden und auf diese Weise die weiteren Entwicklungen des Binnenhafens beeinflussen.

Die Öffentlichkeit wird durch die Medien bzw. Presse über Entwicklungen im Binnenhafen informiert. Darüber hinaus wird den Entscheidungsträgern die öffentliche Meinung über hafenrelevante Informationen mitgeteilt. Gleichzeitig wirken sie durch Kontrolle und Kritik an der Meinungsbildung anderer Akteure mit.<sup>16</sup>

---

<sup>9</sup> Arnold et al. 2008.

<sup>10</sup> Port of Rotterdam 2018.

<sup>11</sup> Logistikbranche 2018.

<sup>12</sup> Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2017.

<sup>13</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

<sup>14</sup> Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2014.

<sup>15</sup> Montenbruck 2010, S. 191.

<sup>16</sup> dejure.org 2018.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Als Lobbyisten werden Personen bezeichnet, welche versuchen politische Entscheider und Abgeordnete für ihre Interessen zu gewinnen. Ihr Ziel ist die möglichst umfassende Durchsetzung von Interessen, der durch die Lobbyisten vertretenden Gruppen, bei politischen Entscheidungen. Am Entscheidungsprozess selbst sind sie jedoch nicht beteiligt.<sup>17</sup> Die Funktion von Lobbyisten im Binnenhafen ist es, den Interessen des Hafens gegenüber der Stadt mehr Gewicht zu verleihen. Die Arbeitnehmer im Binnenhafen stellen eine eigene Akteurskategorie dar. Sie treten als Beschäftigte ansässiger Unternehmen, der verladenden Wirtschaft und der Logistikdienstleister auf.

#### Politische Rahmenbedingungen

Die Akteure der politischen Rahmenbedingungen werden nach Verwaltungsebenen gegliedert. Die **Europäische Union (EU)** Sie hat das Ziel, freie und faire Wettbewerbsbedingungen in Seehäfen zu etablieren. Dazu gehört die Herstellung eines freien Marktzugangs zu Hafendiensten sowie die Eingliederung der Häfen in das transeuropäische Verkehrsnetz.<sup>18</sup> Das Europäische Parlament greift darüber hinaus durch Richtlinien in die Hafenpolitik ein. Hierzu gehören beispielweise die Richtlinie 2014/23/EU vom 26. Februar 2014 über die Konzessionsvergaben.<sup>19</sup> Die Europäische Kommission hat die Möglichkeit, durch Gewährung höherer Fördersätze, Projekte in Binnen- und Seehäfen zu beschleunigen.<sup>20</sup>

Auf **Bundesebene** werden zahlreiche verkehrspolitische Rahmenbedingungen, welche einen wesentlichen Einfluss auf die Stadtplanung, die Hafenwirtschaft und die Logistik haben, gestaltet. Beispiele der Einflussnahme durch den Bund sind das nationale Hafenkonzept oder die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie.<sup>21,22</sup> Die Entwicklungen im Hafenumfeld werden durch unterschiedliche Förderprogramme des Bundes unterstützt. Die Funktion des Bundes im Binnenhafen wird über verschiedene Ministerien und Behörden gesteuert. Hierbei sind das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), das Bundesumweltministerium, die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) sowie das Eisenbahnbundesamt (EBA) bedeutend.

Auf **Landesebene** wird ebenfalls eine Vielzahl von verkehrspolitischen Rahmenbedingungen gestaltet. Zusätzlich werden auf Landesebene die Vorgaben für den Klimaschutz der Unternehmen in öffentlicher Hand festgesetzt. Das Land, in diesem Fall NRW, ist für die Straßeninfrastruktur im Bundesland zuständig. In NRW wird dies durch Straßen.NRW organisiert.<sup>23</sup>

Auf der Ebene der **Kommunen** werden Entscheidungen in Bezug auf die Straßeninfrastruktur und die Genehmigung von Logistikanlagen sowie -immobilien getroffen.<sup>24</sup> Demzufolge haben die Kommunen eine große Bedeutung für die städtebauliche Entwicklung im Umkreis der Hafengebiete.

---

<sup>17</sup> Leif und Speth 2006, S. 12.

<sup>18</sup> Forschungsinformationssysteme 2003.

<sup>19</sup> Die Bundesregierung 2015, S. 25.

<sup>20</sup> Die Bundesregierung 2015, S. 26.

<sup>21</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2018b.

<sup>22</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2018a.

<sup>23</sup> Straßen.NRW 2018.

<sup>24</sup> adenauercampus 2018.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Stadtplanung

Fragen des Immissionsschutzes fallen in NRW in den Zuständigkeitsbereich der unteren Immissionsschutzbehörden der Kreise und kreisfreien Städte. Sie sind zumeist den Umweltämtern angegliedert. Aufgabe der unteren Immissionsschutzbehörden ist es, die Einhaltung immissionsschutzrechtlicher Vorschriften zu überwachen. Darüber hinaus erteilen sie Genehmigungen zum Betrieb gewerblicher Anlagen und sind für die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen verantwortlich. Von besonderer Bedeutung ist zudem die Information der Bevölkerung über Chancen, Notwendigkeiten und Auswirkungen des Umwelt- bzw. Immissionsschutzes. Bestimmte Aufgaben, wie beispielsweise die Genehmigung und Überwachung größerer Industrieanlagen, nehmen die oberen Immissionsschutzbehörden wahr, soweit diese deren Zuständigkeitsbereich berühren. Oberen Immissionsschutzbehörden obliegt die Aufsicht über untere Immissionsschutzbehörden. Die Fachaufsicht über untere und obere Immissionsschutzbehörden übt das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW aus.

Der Stadtrat ist wichtigstes Organ der kommunalen Selbstverwaltung. Er besteht aus gewählten Vertretern der Parteien oder unabhängigen Wählergemeinschaften einer Stadt und stellt die politische Vertretung der Gemeindeglieder dar. Er tritt in regelmäßigen Sitzungen zusammen und entscheidet über die durch die Verwaltung vorbereiteten Entscheidungen.<sup>25</sup> Diese Entscheidungen betreffen Angelegenheiten von grundlegender Bedeutung oder erheblicher Verpflichtungen für die Gemeinde. Je nach Bundesland und Größe einer Kommune unterscheidet sich die Bezeichnung des Stadtrats. In den Kommunalverfassungen der Bundesländer ist festgelegt, wie die Mitwirkung des Stadtrates konkret ausgestaltet ist.

Die Abteilung Stadtentwicklungsplanung ist innerhalb des Stadtplanungsamtes angesiedelt. Sie befasst sich mit allen Zielvorstellungen für den Gesamtbereich der gemeindlichen Entwicklung oder einzelner Teilbereiche. Auf Ebene der Stadtentwicklungsplanung wird der Rahmen für eine „den sozialen, kulturellen und wirtschaftlichen Erfordernissen dienende städtebauliche Entwicklung gesetzt“<sup>26</sup>. Die Stadtentwicklungsplanung führt verschiedene Fachplanungen zusammen und stimmt sie auf eine gemeinsame Zielvorstellung hin ab.<sup>27</sup> Aufgabe der Abteilung Stadtentwicklungsplanung besteht in der Koordination und Priorisierung raumbezogener Stadtentwicklung. Im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung werden Grundsätze und Zielvorstellungen zur Hafen- und Stadtentwicklung formuliert.

Die Abteilung Stadtplanung befasst sich mit allen Fragen der Bauleitplanung, deren Aufgabe es ist, die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde nach Maßgabe des Baugesetzbuches vorzubereiten und zu leiten. Während auf einer allgemeinen Ebene für das gesamte Gemeindegebiet Bauflächen für bestimmte Nutzungen innerhalb von Flächennutzungsplänen (vorbereitender Bauleitplan) festgesetzt werden, dienen Bebauungspläne (verbindlicher Bebauungsplan) der räumlichen Konkretisierung zukünftiger Nutzungen. Die Abteilung Stadtplanung erarbeitet städtebauliche Entwürfe zur Aufstellung von Bebauungsplänen und führt entsprechende Satzungsverfahren durch. Innerhalb von Bebauungsplänen werden Festsetzungen zum passiven Lärmschutz getroffen.

---

<sup>25</sup> Schneider, Gerd: Toyka-Seid, Christiane 2017.

<sup>26</sup> Akademie für Raumforschung und Landesplanung 2017a.

<sup>27</sup> Akademie für Raumforschung und Landesplanung 2017a.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Die Abteilung Bauordnung befasst sich mit allen Fragen, die Bauanträge, Grundstücksteilungen oder die Bestellung von Baulasten betreffen. In ihrem Aufgabengebiet fällt die Erteilung von Baugenehmigungen.<sup>28</sup>

Die Abteilung Verkehrsplanung befasst sich mit Ursachen von Verkehr, dem Verkehr selbst sowie seinen Auswirkungen.<sup>29</sup> Verkehrsplanung hat die Gewährleistung von Erreichbarkeit in allen Teilräumen einer Gemeinde und den damit verbundenen Teilnahmechancen aller Bürger an wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und kulturellen Prozessen sowie die Vermeidung verkehrsbedingter Beeinträchtigungen von Lebensqualität und Umwelt zum Ziel. Die Abteilung Verkehrsplanung ist für die Erarbeitung von Verkehrskonzepten verantwortlich. Im Rahmen dieser Konzepte werden Maßnahmen formuliert, die zur Verkehrsreduzierung oder Verkehrsverlagerung beitragen.

Die Einhaltung von Vorschriften des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes fällt in die Zuständigkeit von Gewerbeaufsichtsämtern, deren Bezeichnung je nach Bundesland variiert (z.B. Amt für Arbeitsschutz oder Staatliches Umweltamt). Die Aufgabe von Gewerbeaufsichtsämtern ist die Überwachung und Erteilung von Genehmigungen der ihr zugewiesenen Vorschriften.

Die Wirtschaftsförderung ist auf die Stärkung der Stadt als Wirtschaftsstandort ausgerichtet. Vorrangige Ziele und damit verbundene Aufgaben betreffen die Standortsicherung ansässiger Unternehmen (Bestandspflege) und die Ansiedlung neuer Unternehmen (Existenzgründung und Neuansiedlung). Zum Aufgabenprofil einer Wirtschaftsförderung gehören die Sicherung und Schaffung von Arbeitsplätzen, die Promotion des Wirtschaftsstandortes, die Förderung von Innovationen in Wirtschaft, Gesellschaft und Infrastruktur, die Wirtschaftsentwicklung im Einklang mit der ökologischen Anforderung und Nutzung möglicher Synergien sowie die Konsolidierung der Finanzkraft der Stadt.<sup>30</sup>

#### Logistik

Der Logistikbereich unterteilt sich in Terminalbetreiber, Logistikdienstleister, verladende Wirtschaft, Hafenbetreiber und sonstige Hafenernehmen. Terminalbetreiber sind Unternehmen, welche Transportgüter zwischen unterschiedlichen Verkehrsträgern umschlagen. Terminals werden nach ihrem Standort in Seehafen- oder Binnenterminals unterteilt.<sup>31</sup> Die Aufgabe der Terminalbetreiber im Binnenhafen ist der verkehrsträgerübergreifende Umschlag von Transportgütern, die landseitige Abfertigung der Frachtführer, die Zwischenlagerung der Güter sowie der wasserseitige Schiffsumschlag.

Logistikdienstleister sind Unternehmen, die logistische Dienstleistungen anbieten. Beispielsweise sind dies der Gütertransport, der Umschlag, die Lagerung oder Mehrwertdienstleistungen. Somit erbringen Logistikdienstleister logistische Dienstleistungen für andere Unternehmen.<sup>32</sup> Ihre Aufgabe im Binnenhafen ist die verkehrsträgerübergreifende Planung, Steuerung und Durchführung von Transporten und Value Added Services. Ergänzungsfunktionen sind der Umschlag, die Lagerung, der Sammelverkehr und Informationen.

---

<sup>28</sup> Stadt Recklinghausen 2017.

<sup>29</sup> Akademie für Raumforschung und Landesplanung 2017b.

<sup>30</sup> Wirtschaftsförderung Dortmund 2017.

<sup>31</sup> Schulte 2016, S. 355.

<sup>32</sup> Arnold et al. 2008.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Die verladende Wirtschaft ist Auftraggeber oder Nachfrager von Logistik- und Transportdienstleistungen. Die verladende Wirtschaft beauftragt Logistikunternehmen, ist aber Eigentümer der zu transportierenden Güter.<sup>33</sup> Hauptsächlich werden Industrie- und Handelsunternehmen als verladende Wirtschaft bezeichnet. Ihre Funktion im Binnenhafen ist die Auswahl und Beauftragung von Logistikdienstleistern und die wertschöpfende Tätigkeit.

Die Hafenbetreiber lassen sich in zwei Kategorien unterteilen. Hafengesellschaften, welche vor allem auf den Erhalt und den Ausbau der Infrastruktur ausgerichtet sind und den Terminalbetrieb den privaten Gesellschaften überlassen, stellen die erste Kategorie dar. Zum anderen existieren Hafenbetreiber, welche eigenständig die Suprastruktur im Hafen betreiben.<sup>34</sup> Die Aufgabe der Hafenbetreiber ist die Sicherung und der Ausbau der Hafenstruktur, in einigen Fällen kann dies auch der Containerumschlag sein, falls der Hafenbetreiber eine eigene Suprastruktur besitzt.

#### 3.1.2 Bewertung der Beziehungen zwischen den Akteuren

Das Konsortium hat in Workshops die Beeinflussung der beschriebenen Akteurskategorien untereinander erarbeitet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 dargestellt. Während der Diskussionen in den Workshops wurde deutlich, dass starke Interdependenzen zwischen den Akteuren bestehen. Die Stärke der Beeinflussung der jeweiligen Akteure ist in Abbildung 6 anhand unterschiedlicher Pfeilrichtungen gekennzeichnet. Beispielhaft sei hier die Verbindung zwischen den Akteurskategorien Logistik & Verlader und Infrastrukturbetreiber genannt, die sich gegenseitig stark beeinflussen und darüber hinaus voneinander abhängig sind. Aus diesem Grund wurden sowohl bei der Beeinflussung von Logistik & Verlader auf die Akteurskategorie der Infrastrukturbetreiber, als auch die Beeinflussung der Infrastrukturbetreiber auf die Akteurskategorie Logistik & Verlader hohe Bewertungen vergeben.

		Wird beeinflusst				
		Infrastrukturbetreiber	Interessengruppen	Logistik & Verlader	Stadtplanung	Akteure der politischen Rahmenbedingungen
Beeinflusst	Infrastrukturbetreiber	-	↑	↑	→	↓
	Interessengruppen	→	-	→	↑	↑
	Logistik & Verlader	↑	↑	-	→	→
	Stadtplanung	↑	↑	↑	-	→
	Akteure der politischen Rahmenbedingungen	↑	→	↑	↑	-

**Legende**

- ↑: hohe Beeinflussung
- : mittlere Beeinflussung
- ↓: geringe Beeinflussung

Abbildung 6: Gegenseitige Beeinflussung der Akteure im Binnenhafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

<sup>33</sup> Koch 2012.

<sup>34</sup> Hildebrand 2008.

## 3.2 Hafenanalyse am Beispiel des Duisburger Hafens

Der Duisburger Hafen ist mit 1.550 Hektar (ha) Grundfläche der weltweit größte Containerbinnenhafen. Als Hafenbetreiber fungiert die Duisburger Hafen AG (duisport) deren Geschäftsmodell auf den vier Kernbereichen Infra- und Suprastruktur, logistische Dienstleistungen, Verpackungslogistik und Kontraktlogistik basiert. Die Unternehmensgruppe duisport ist in einer ganzen Reihe selbstständiger Gesellschaften organisiert, die alle duisport als Bestandteil im Namen tragen. Der Duisburger Hafen steht zu zwei Dritteln im Eigentum des Landes Nordrhein-Westfalen und zu einem Drittel im Eigentum der Stadt Duisburg.

Der Duisburger Hafen verfügt über 21 Hafenbecken, 8 Containerterminals mit 21 Containerbrücken sowie 5 Importkohleterminals. Die Gleislänge im Hafenbereich beträgt 200 km. Weiterhin sind im Duisburger Hafen 19 Anlagen für Flüssiggutumschlag, insgesamt 130 Krananlagen mit bis zu 500 t Tragfähigkeit sowie 2 Ro / Ro-Anlagen vorhanden.<sup>35</sup>

### 3.2.1 Abbildung und Analyse der Infra- und Suprastruktur des Hafens

Die Funktionen eines Hafens umfassen den Umschlag von Gütern und Personen und die Lagerung sowie den An- und Abtransport der Güter.<sup>36,37</sup> Voraussetzung für die Erfüllung dieser Funktionen sind entsprechende Einrichtungen sowie eine gut ausgebaute Infrastruktur. Diese stellt die Anbindung der Häfen an die Verkehrsnetze, sowohl land- als auch seeseitig, her. Die ansässigen Unternehmen im Hafen nutzen die gegebene Hafenaufbaustruktur und ergänzen diese durch Anschluss ihrer eigenen Anlagen. Die Struktur eines Hafens teilt sich in Infra- und Suprastruktur auf.<sup>38,39</sup>

Bei der **Infrastruktur** handelt es sich im Allgemeinen um zur Verfügung stehende Flächen sowie land- und wasserseitige Zugänge für die jeweiligen Schiffstypen. Im Detail sind dies ortsfeste Anlagen im Hafen wie Gleise und Kaikanten sowie Zufahrten auf der Landseite. Wasserseitig besteht die Infrastruktur aus Hafen- und Wendebecken sowie Fahrrinnen und Liegewannen.<sup>40,41,42</sup>

Die **Suprastruktur** eines Hafens umfasst im Allgemeinen notwendige Transport-, Abfertigungs- und Umschlagsgeräte sowie innerbetriebliche Transportsysteme, um den Gütertausch zu gewährleisten.<sup>43</sup> Im Detail handelt es sich um bewegliche und ortsfeste Einrichtungen. Erstere sind vorhandene Krananlagen, Flurförderzeuge und Containerbrücken. Letztere stellen Lager- oder Reparaturhallen dar.<sup>44,45</sup> Diese Gerätschaften nutzen zur Erfüllung ihres Betriebszweckes die gegebene Infrastruktur, nämlich vorhandene Straßen und Schienen sowie Hafenterrassen und den Kai.<sup>46</sup>

---

<sup>35</sup> Duisburger Hafen AG 2017b.

<sup>36</sup> Gleißner und Femerling 2016.

<sup>37</sup> Deutsch 2013.

<sup>38</sup> Forschungsinformationssystem.

<sup>39</sup> Deutsch 2013.

<sup>40</sup> Gleißner und Femerling 2016.

<sup>41</sup> Via-Bremen.

<sup>42</sup> Clausen und Geiger 2013., S. 212.

<sup>43</sup> Clausen und Geiger 2013., S. 212.

<sup>44</sup> Gleißner und Femerling 2016., S. 29.

<sup>45</sup> Via-Bremen.

<sup>46</sup> Walter 2015., S. 5.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Trimodale KV-Terminals bilden eine Schnittstelle zwischen den Verkehrsträgern Straße, Schiene und Wasserstraße. Beim Kombinierten Verkehr werden Güter mit mindestens zwei Verkehrsträgern transportiert, ohne dabei das Transportgefäß zu wechseln.<sup>47</sup> Bei einem trimodalen KV-Terminal wird zwischen drei Verkehrsträgern, welche entlang der Transportkette zusammenarbeiten, umgeschlagen. Ein bimodales KV-Terminal bildet die Schnittstelle für zwei Verkehrsträger.

Flüssiggutterminals dienen dem Umschlag von Flüssiggut. Dies sind mineralische, pflanzliche oder tierische Produkte in flüssiger oder gasförmiger Form, die während des Transports im flüssigen Zustand gehalten werden.<sup>48</sup>

Des Weiteren gibt es Massen- und Schüttgutterminals, Schwergutterminals für besonders sperrige oder schwere Ladungsgüter, die nicht in Standard-Container transportiert werden können sowie Roll-on-Roll-off Terminals, welche die bereits unter Güterstruktur beschriebenen Transporte von Landfahrzeugen auf Wassertransportmitteln ermöglichen.<sup>49</sup>

---

<sup>47</sup> Clausen und Geiger 2013.

<sup>48</sup> Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

<sup>49</sup> Transway.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### 3.2.2 Kennzahlen des Duisburger Hafens

Tabelle 2 fasst die wesentliche Kennzahlen und logistische Besonderheiten des Duisburger Hafens zusammen.

Kriterium	Erläuterung
<b>Umsatz</b>	2017: 249,7 Mio. € (2016: 230 Mio. €)
<b>EBITDA</b>	2017: 40,5 Mio. € (2016: 40 Mio. €)
<b>Güterumschlag 2017</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtumschlag aller Duisburger Häfen, inkl. privater Werkshäfen: 131 Mio. t (2016: 133 Mio. t)</li> <li>• Gesamtumschlag in den Häfen der duisport-Gruppe: 68 Mio. t (2016: 67 Mio. t)</li> <li>• Containerumschlag: 4,1 Mio. TEU (2016: 3,7 Mio. TEU)</li> </ul>
<b>Verkehrsverbindungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Netzwerk mit mehr als 400 KV-Zugverbindungen pro Woche zu 80 nationalen und internationalen Zielen</li> <li>• Verkehrsknotenpunkt von fünf Autobahnen</li> <li>• Wassertiefe für Fluss-Seeschiffe mit einer Ladekapazität von bis zu 6.000 t bzw. etwa 500 20-Fuß-Standardcontainern</li> <li>• Abfertigung von 20.000 Zügen und 25.000 Schiffen jährlich</li> </ul>
<b>Lagerfläche / Flächenverfügbarkeit</b>	<p>2,2 Mio. m<sup>2</sup> überdachte Lagerfläche</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuell über 100 Hektar an Flächen verfügbar, auch im regionalen Umfeld wie logport IV (Kamp-Lintfort) und Lülldorf (zwischen Köln und Bonn). Weitere 100 Hektar Flächen für Logistik- und Industrieansiedlungen sollen in den kommenden fünf Jahren entwickelt werden.</li> </ul>
<b>Beschäftigte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rund 1.100 in der duisport-Gruppe</li> <li>• Mehr als 45.000 direkt und indirekt hafenabhängig Beschäftigte in rund 300 Transport- und Logistikunternehmen im gesamten Duisburger Hafen</li> </ul>
<b>Investitionen / Wertschöpfung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionen: 600 Mio. € seit 1998</li> <li>• Wertschöpfung: 3 Milliarden € pro Jahr (generiert durch die 300 Unternehmen am Standort)</li> </ul>

Tabelle 2: Kennzahlen Duisburger Hafen (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b)



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### 3.2.3 Infra- und Suprastruktur des Duisburger Hafens

Das von der Duisburger Hafen AG verwaltete Gebiet erstreckt sich über eine Fläche von 1.550 ha über die Duisburger Stadtteile Rheinhausen, Wanheim, Hohenbudberg, Ruhrort bis nach Walsum im Duisburger Norden. Zwei weitere Hafenareale befinden sich in Kamp-Lintfort und Oberhausen. Die verschiedenen Logistikareale sind dabei in die sogenannten logports 1-6 unterteilt. Diese unterscheiden sich durch unterschiedliche multimodale Terminals, den Zugang zu den Infrastrukturen von Schiff-, Schienen- oder Zugverkehr sowie den Kapazitäten von Hallenflächen und Produktionsanlagen. Die in Duisburg-Rheinhausen und Wanheim gelegenen logports 1+2 ergeben eine Gesamtfläche von rund 300 ha und sind direkt am Rhein gelegen.<sup>50</sup>

Die direkte Lage am Rhein, dem europäischen Hauptverkehrsweg für Fluss-Seeschiffe, sowie die Anbindung an ein sehr gut ausgebautes Schienen- und Straßenverkehrsnetz ermöglichen die Ansiedlung international operierender Logistikdienstleister.<sup>51</sup>

Neben den verschiedenen Optionen zum Transport der Güter zeichnet sich der Hafen auch durch rund 2,2 Mio. m<sup>2</sup> überdachte Lagerflächen aus, die es Unternehmen ermöglichen, auch besonders sensible Güter zwischenzulagern. Insgesamt stehen rund 14 Mio. m<sup>2</sup> Industrie- und Logistikflächen bereit.<sup>52</sup>

Die nachfolgenden Abbildungen 5 – 8 zeigen Ausschnitte und Übersichtskarten für das Hafengebiet.

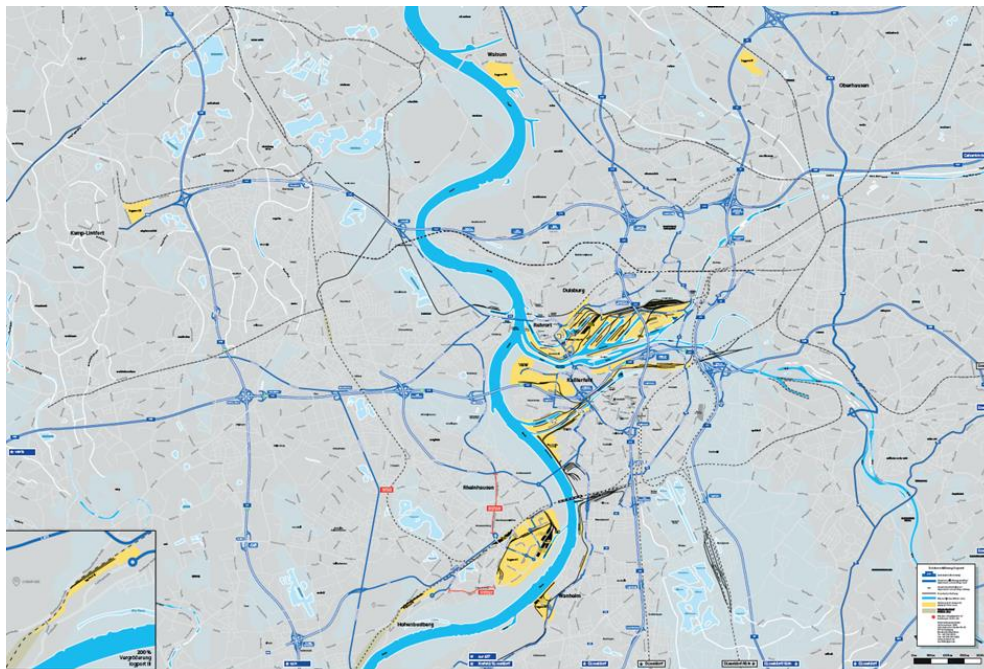


Abbildung 7: Übersicht der logports 1-6 (gelb markiert) in Duisburg, Kamp Lintfort und Oberhausen (Quelle: Duisburger Hafen)

<sup>50</sup> Duisburger Hafen AG 2017b.

<sup>51</sup> Duisburger Hafen AG 2017b.

<sup>52</sup> Duisburger Hafen AG 2017b.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

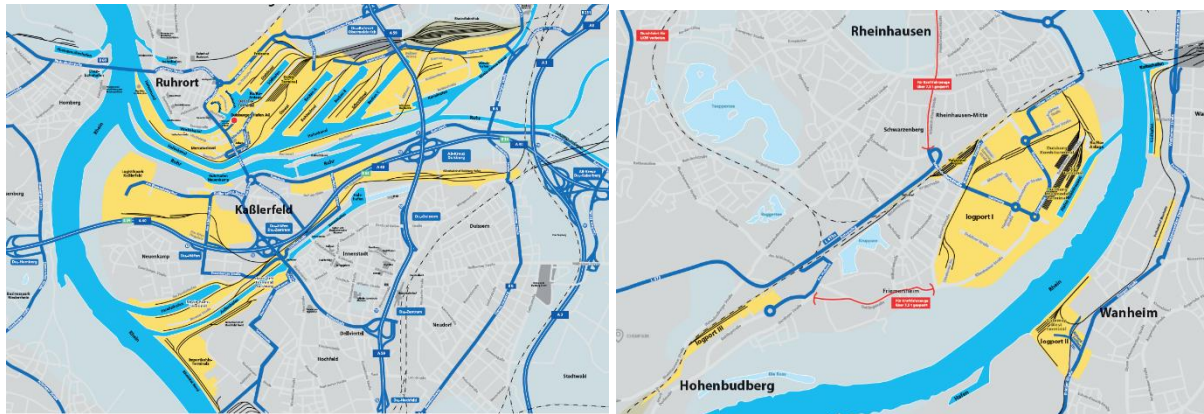


Abbildung 8: Hafengelände in DU-Ruhrort, Kaßlerfeld und Hochfeld (links) sowie Logports 1 (DU-Rheinhausen), 2 (DU-Wanheim) und 3 (DU-Hohenbudberg) (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b)

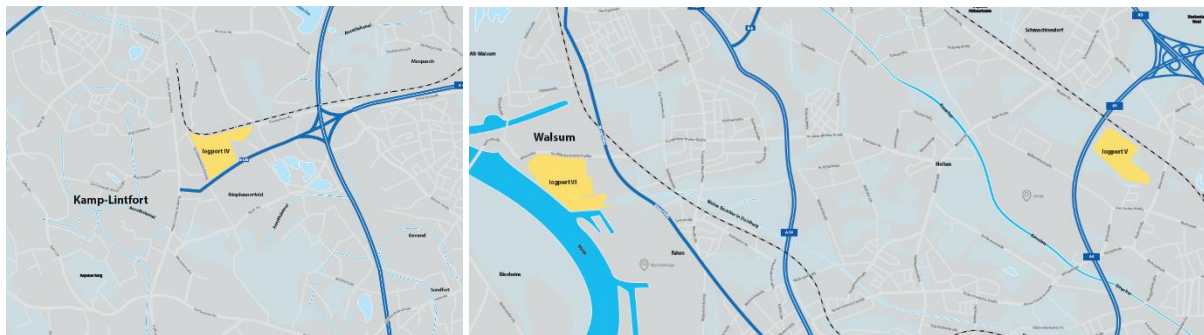


Abbildung 9: Logport 4 in Kamp-Lintfort (links) und Logport 5 (Oberhausen) und 6 (DU-Walsum) (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b)

#### 3.2.4 Analyse der vorhandenen Lärmsituation

Wie in den Kartenausschnitten zu sehen, ist der Duisburger Hafen keine einheitliche abgeschlossene Fläche, sondern besteht aus einer Vielzahl von Einzelbereichen, die über das gesamte Stadtgebiet räumlich verteilt liegen. Dadurch sind an mehreren Punkten an das Hafengebiet angrenzende Wohngebiete anzutreffen. Je nach Situation vor Ort ergeben sich dadurch mögliche Konfliktpotenziale hinsichtlich der Lärmemissionen im Hafengebiet. Im Folgenden wird die Situation in den einzelnen Hafengebieten kurz skizziert:

##### DU-Ruhrort, Kaßlerfeld und Hochfeld:

Im ältesten und historisch gewachsenen Hafenbereich Duisburg-Ruhrort sind insbesondere die nördlich angrenzenden Wohngebiete der Stadtteile Ruhrort und Meiderich bezüglich einer Lärmbelastung zu beachten. Südlich der Hafengebiete ist nur wenig Wohnbebauung vorhanden und somit das Konfliktpotenzial weniger groß. Wie bei allen anderen Logistikflächen steht insbesondere der Lkw -Verkehr im Zu- und Ablauf im Fokus. Die Anbindung erfolgt zwar hauptsächlich südlich in Richtung der Autobahn A40 ohne eine Durchfahrt von Wohngebieten, jedoch finden auch Lkw -Fahrten in Richtung Osten zur A59 statt. Diese beeinträchtigen heute direkt Anwohner im Stadtteil Duisburg-Meiderich.

Der Hafenstandort Kaßlerfeld ist zwischen der A40 im Süden und dem Hafengebiet Ruhrort im Norden gelegen und ist somit von der nächstgelegenen Wohnbebauung weiter entfernt.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Das südlich der A40 gelegene Hafengebiet Hochfeld (Parallelhafen und Außenhafen) hat geringes Konfliktpotenzial mit dem zwischen A40 und Hafengebiet liegenden Wohngebiet Duisburg Neuenkamp.

#### Logport I:

Die Logistikfläche logport I ist auf einem ehemaligen Stahlwerksgelände linksrheinisch in Duisburg-Rheinhausen entwickelt worden. Auf 265 Hektar Fläche sind ca. 50 Logistikunternehmen angesiedelt. Zudem werden in 3 Containerterminals Ladeeinheiten zwischen Binnenschiff, Zügen und Lkw umgeschlagen. Auf der in sich abgeschlossenen Fläche ergeben sich insbesondere in den Randbereichen Konfliktpotenziale zur Wohnbebauung. Nördlich ist dies der Stadtteil Rheinhausen, südwestlich der Stadtteil Friemersheim. In Richtung Osten sind Lärmemissionen auf das rechtsrheinisch gelegene Duisburg-Wanheim zu beachten. Obwohl die Entfernung in Richtung Wanheim relativ groß ist, kann sich der Schall über den Rhein relativ ungestört ausbreiten. In den Stadtteil Rheinhausen und Friemersheim ist hingegen der Lkw -Verkehr zu und von logport I als Problem zu nennen. Obwohl zahlreiche Lkw-Durchfahrtsverbote bestehen, werden diese teilweise von Lkw-Fahrern missachtet.

#### Logport II:

Die rechtsrheinisch gelegene Logistikfläche logport II ist mit 35 Hektar wesentlich kleiner als logport I. Sie befindet sich auf der Fläche einer ehemaligen Zinkfabrik. Zug- und Lkw-Verkehre können auf die anliegenden Wohngebiete in Wanheim und Angerhausen Auswirkungen haben. Lärmauswirkungen auf linksrheinische Flächen sind nicht relevant, da auf der gegenüberliegenden Rheinseite die Logistikfläche logport I liegt.

#### Logport III:

Auf der Fläche logport III (15 Hektar groß) ist seit 2013 ein bimodales Terminal für den Kombinierten Verkehr in Duisburg-Hohenbudberg in Betrieb. Bezüglich der Lärmemissionen stellen sich aufgrund der nahgelegenen Wohngebiete und dem direkt an das Terminalgelände angrenzenden Niederrhein Therapiezentrum Duisburg zahlreiche Herausforderungen. Südlich des Terminals befindet sich das Wohngebiet Eisenbahnsiedlung und nördlich der Terminalfläche die Wohnsiedlung Mühlenberg. Für zu- und abgehende Lkw-Verkehre wurde eine neue Zufahrtsstraße und eine neue Brücke über die bestehende Eisenbahnstrecke zur direkten Anbindung des Terminals an die L473 geschaffen.

#### Logport IV:

Die Logistikfläche befindet sich auf einer ehemaligen Kohlelagerfläche in Kamp-Lintfort, wurde 2014 entwickelt und umfasst eine Fläche von 30 Hektar. Angebunden ist die Fläche über den Autobahnzubringer B528 an die A42 und A57. Die Lärmauswirkungen der Logistikaktivitäten auf der Fläche auf die nördlich gelegenen Wohngebiete in Kamp-Lintfort ist als eher gering einzuschätzen.

#### Logport V & VI:

Logport V ist eine Flächenentwicklung für Logistik im Bereich der Stadt Oberhausen und logport VI ist ein Projekt zur Umgestaltung einer vormals direkt am Rhein gelegenen Papierfabrik im Stadtteil Duisburg-Walsum in eine Logistikfläche. Beide Logistikflächen befinden sich derzeit in der Planungsphase, so dass noch keine konkreten Aussagen über die zukünftigen Lärmsituationen getroffen werden können. In der Planungsphase erweist sich jedoch bereits die Zu- bzw. Abfahrt für Lkw als größte Herausforderung hinsichtlich der Vermeidung von Lärm in angrenzenden Gebieten.

### 3.3 Lärmtechnische Erfassung der Hafenprozesse

Eine Zuordnung nach Verkehrsmitteln (Lkw, Güterzug und Binnenschiff), Güterstruktur (Massen- und Schüttgut, Container, Tank- und Silotransporte, RoRo und Stückgut), Umschlags- und Umfuhrequipment (Krane und Flurfördergeräte) sowie sonstigen Lärmquellen (Rohrleitungen und Betankung) ist möglich.<sup>53</sup>

Um in Kapitel 5 eine Zuordnung der Lärmquellen zu den Lärmmaßnahmen vornehmen zu können wurden die relevanten Lärmquellen in einem Morphologischen Kasten kategorisiert.

Ein Morphologischer Kasten ist eine Kreativitätstechnik, mithilfe derer Probleme in elementare Bestandteile zergliedert und anschließend für jedes Problemelement Lösungsmöglichkeiten erarbeitet werden. Durch eine Kombination der Lösungsmöglichkeiten kann so eine Gesamtlösung gefunden werden.<sup>54</sup> Der Morphologische Kasten dient im Rahmen dieses Projekts zur Clusterung und zur Darstellung relevanter Prozesse in Bezug auf Lärm im Hafen.

Abfragekategorie		Ausprägung/ Auswahlmöglichkeiten					
1	Akteure	Stadtplanung	Politische Rahmenbedingungen	Interessengruppen	Logistik	Infrastrukturbetreiber	
1.1	Akteursgliederung	Terminalbetreiber	Logistikdienstleister	verladende Wirtschaft	Hafenbetreiber	Sonstige Hafenunternehmen	
2	Lärmquellen						
2.1	Lärmquellenkategorien	Güterstruktur	Verkehrsmittel	Wirtschaftsverkehr	Umschlags-equipment	Sonstiges	
2.2	Lärmquellenelemente	Schwere Nfz	Leichte Nfz	Lok	Wagon	...	
3	Flächen						
3.1	Flächenbetrachtung	Sondergebiet	Industriegebiet	Gewerbegebiet	Kern-, Dorf- und Mischgebiet	Reine Wohngebiete	
3.2	Entfernung zu Flächen	0-50m	50-100m	100-150m	150-200m	>200m	
4	Umweltauflagen						
4.1	Umweltauflagen (zusätzliche)	Keine	Flächensteckbrief	Naturschutzauflagen	Umweltgebiete	Lärmaktionspläne	
5	Prozesse	Güterstruktur	Verkehrsmittel	Quelle/Senke	Umschlags- und Umfuhrequipment	Transportmotivation	Sonstiges
6	Rechtliche Rahmenbedingungen						

Abbildung 10: Morphologischer Kasten (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

<sup>53</sup> Klukas 2017.

<sup>54</sup> Schawel und Billing, S. 174.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Aus dem in Abbildung 10 dargestellten Morphologischen Kasten wurden vier Lärmquellenkategorien herausgearbeitet. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um in den nachfolgenden Kapiteln eine Zuordnung der Lärmquellen zu den Lärmmaßnahmen vornehmen zu können (vgl. Kapitel 5.2).



Abbildung 11: Klassifizierung der Lärmquellen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Abbildung 11 zeigt die Klassifizierung der Lärmquellen in Form der Auswahlmaske. Es wurden vier Kategorien entwickelt in die die Lärmquellen einsortiert wurden. Nachfolgend werden die wichtigsten Lärmquellen mit Relevanz für das Projekt „Leiser Hafen“ kurz erläutert, um eine allgemeine Grundlage für die nachfolgenden Kapitel zu schaffen.

#### 3.3.1 Güterstruktur

Unter Güterstruktur wird die Zusammensetzung des Güteraufkommens in einem bestimmten Sektor verstanden. In der Binnenschifffahrt lassen sich die Güter in die folgenden Gütergruppen aufteilen:

##### Massen- und Schüttgut

Als Massegüter zählen im Allgemeinen Güter, die in großen Mengen hergestellt, gefördert, verbraucht und transport werden, wobei sie einen vergleichsweise geringen Wert aufweisen. Typische Massengüter in der Binnenschifffahrt sind vor allem Erze, Steine und Erden, Kokerei- und Mineralölerzeugnisse, Kohle, Rohöl und Erdgas sowie Chemische- und Mineralerzeugnisse.<sup>55</sup>

<sup>55</sup> Forschungsinformationssysteme 2018.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Schüttgut wird als „stückiges, körniges oder staubiges Massengut“<sup>56</sup> bezeichnet und zählt zu den festen und fließfähigen Gütern, die nicht nach Stückzahl, sondern nach Gewicht und Volumen bestimmt werden. Darunter fallen vor allem die Gütergruppen Erze, Steine und Erden sowie Kies, Getreide und Sand.<sup>57</sup>

#### Container

Container sind als Ladeeinheiten definiert, die Güter für den Umschlag zusammenfassen. ISO-Container sind Ladeeinheiten, die einfach zwischen unterschiedlichen Verkehrsträger umgeschlagen werden können. Container können unterschiedliche Ausführungen haben, hierbei sind die gängigsten die 20- und 40-Fuß-Container. Die Maximalbeladung beträgt 15-20 t bei einem 20-Fuß-Container und bis zu 30 t Fracht bei einem 40-Fuß-Container.<sup>58 59</sup>

Container lassen sich unter anderem anhand ihrer Auslastung der verfügbaren Zuladungskapazität in Full Container Load (FCL) und Less than Container Load (LCL) unterscheiden. Unter Full Container Load werden voll beladene Container, welche ausschließlich von einem Unternehmen gepackt werden und als gesamter Container per Haus-zu-Haus Verkehr transportiert werden verstanden.<sup>60</sup> Less than Container Load bezeichnet Sendungen, die nicht die gesamte Kapazität eines Container in Anspruch nehmen und deshalb mit anderem Stückgut in einem Sammelcontainer zusammengefasst werden.<sup>61</sup> Befinden sich keine Güter in dem Container, nennt sich dies Leercontainer.

#### Tank- und Silotransporte

Tanktransporte dienen zum Transport flüssiger oder gasförmiger Ladungen. Tankcontainer können durch die gesamte Logistikkette hinweg von allen Verkehrsträgern außer der Luftfahrt genutzt werden, was ein Umfüllen der Ladung überflüssig macht.<sup>62</sup> Spezielle Silofahrzeuge dienen zum Transport von Schüttgut.<sup>63</sup>

#### Sondertransporte

Sondertransporte sind Transporte, welche nicht durch Container, Tank- bzw. Silotransporte befördert werden können. Hierbei wird zwischen Schwergut- oder Gefahrguttransporte sowie Projektlogistik unterschieden.

Als Schwergut werden besonders schwere und/oder sperrige Ladungsgüter bezeichnet, die aufgrund ihrer Form, Gewicht oder Sensibilität nicht in Standard-Containern transportiert werden können.<sup>64</sup>

Projektlogistik beinhaltet die Lieferung von Produktions- oder sonstigen Anlagen, Fabrikteilen, Kraftwerken etc. oder auch der Transport von umfangreichen Warenlieferungen. Sie stellt hohe logistische, kaufmännische und betriebswirtschaftliche Anforderungen an ihre Dienstleister.<sup>65</sup>

---

<sup>56</sup> Heinrich 2014.

<sup>57</sup> Heinrich 2014.

<sup>58</sup> Clausen und Geiger 2013.

<sup>59</sup> Leitner 2015.

<sup>60</sup> Transway.

<sup>61</sup> Sea Air Transport.

<sup>62</sup> Gefahrgut 2017.

<sup>63</sup> iloxx.de.

<sup>64</sup> Transway.

<sup>65</sup> Lantenhammer.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Unter Gefahrgut werden Stoffe und Gegenstände bezeichnet, von denen aufgrund ihrer Natur, ihrer Eigenschaften oder ihres Zustandes im Zusammenhang mit der Beförderung Gefahren für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung ausgehen können.<sup>66</sup>

#### Allgemeiner Ladungsverkehr

Ladungsverkehr wird durch ein Sendungsgewicht zwischen 2,5 und 25 Tonnen gekennzeichnet. Dabei sind Güter zu einer Ladeinheit zusammengefasst und werden ohne Auflösung vom Versender zum Empfänger transportiert. Der Vorteil des Ladungsverkehrs ergibt sich durch das Wegfallen von Sammel-, Verteil- und Umschlagsaktivitäten.<sup>67</sup> Der entsprechende Teilmarkt setzt sich aus den sogenannten Komplettladungen (FTL) und Teilladungen (LTL) zusammen. Ersteres beschreibt den Direkttransport zwischen der Quelle und der Senke und letzteres betrachtet den effizienteren Ansatz mit Multi-Stopp-Touren bzw. sogenannten Milk-Runs.<sup>68</sup>

#### Stückgut

Stückgut ist eine Güterart, die sich durch ihre Formbeständigkeit bei Transport-, Lagerungs- und Umschlagsvorgängen als Beförderungseinheit kennzeichnet.<sup>69</sup> Stückgutverkehr ist Bestandteil des Teilmarktes allgemeiner Ladungsverkehr und stellt den Transport mit individuellen Trocken- und Stapelgütern im Sendungsgewicht von rund 30 kg bis 2.500 kg dar.<sup>70</sup>

#### 3.3.2 Verkehrsmittel

Als Verkehrsmittel gelten Fahrzeug mit oder ohne eigenen Antrieb für den Transport von Personen oder Gütern. Dabei wird kategorisch unterschieden, „welche Transportart aufgrund der Anforderungen Güter (Beschaffenheit, Wert, Menge etc.) und aufgrund der geforderten Leistungsmerkmale (Geschwindigkeit, Zuverlässigkeit, Zielort etc.) notwendig ist.“<sup>71</sup> Im Allgemeinen wird zwischen Schienen-, Wasser-, Straßen- und Luftfahrzeugen unterschieden. Folgende Verkehrsmittel haben einen Hafenbezug:

#### Schwere Nutzfahrzeuge

Schwere Nutzfahrzeuge sind Kraftfahrzeuge, welche ausschließlich für Güterverkehr bestimmt sind und deren zulässiges Gesamtgewicht mindestens 12 Tonnen beträgt.<sup>72</sup> Schwere Nutzfahrzeuge werden anhand ihres Antriebs nach Verbrennungs-, Elektro-, Erdgas- oder Hybridantrieb unterschieden.

Ein Verbrennungsmotor ist ein Antrieb, der chemische Energie aus Kraftstoffen in mechanische Energie umwandelt. Die häufigsten Arten sind Ottomotoren, Dieselmotoren, Stirlingmotoren sowie Dampfmaschinen. Vorteil von Verbrennungsmotoren ist die Möglichkeit des Mitführens von meist flüssigem Kraftstoff mit einer hohen Energiedichte.<sup>73</sup>

---

<sup>66</sup> Gefahrgut 2017.

<sup>67</sup> Forschungsinformationssysteme 2016.

<sup>68</sup> Schwemmer 2016.

<sup>69</sup> Hennig et al. 2013.

<sup>70</sup> Schwemmer 2016.

<sup>71</sup> Schwemmer 2016.

<sup>72</sup> Cimolino 2003.

<sup>73</sup> RP-Energie-Lexikon 2018b.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Der Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller (VDIK) versteht unter dem Begriff „Elektrofahrzeuge“ alle Fahrzeuge, die am Stromnetz aufgeladen werden und über eine nennenswerte elektrische Reichweite verfügen. Diese kann unter anderem durch Außenbedingungen (Kraftstoffqualität, Temperatur und Luftdruck) variieren und die Leistung beeinflussen.<sup>74</sup> Erdgasbetriebene Fahrzeuge haben einen deutlich niedrigeren Ausstoß von Stickoxiden und CO<sub>2</sub> als vergleichbare diesel- oder benzinbetriebene Fahrzeuge.<sup>75</sup> Hybridantriebe ermöglichen den Betrieb eines Verkehrsmittels mithilfe unterschiedlicher Energieträger. Meist werden Verbrennungsmotoren mit Elektromotoren verwendet, um die Energiebilanz des Verkehrsmittels zu verbessern.<sup>76</sup>

#### Leichte Nutzfahrzeuge

Leichte Nutzfahrzeuge sind definiert als Kraftfahrzeuge mit einem maximal zulässigen Gesamtgewicht von bis zu 3,5t.<sup>77</sup> Leichte Nutzfahrzeuge lassen sich ebenfalls wie schwere Nutzfahrzeuge nach der Antriebsart unterscheiden.

#### Lokomotive

Eine Lokomotive, auch Zugmaschine genannt, ist ein spurgebundenes Triebfahrzeug zum Ziehen von Güterwagen. Lokomotiven lassen sich je nach Antrieb in Elektrische-Lok, Diesel-Lok und Lok mit alternativem Antrieb unterscheiden.<sup>78</sup>

#### Binnenschiff

Binnenschiffe dienen zur Beförderung von Personen und Gütern auf Binnengewässern. Zum Einsatz kommen Motorgüterschiffe, Schubverbände und Koppelverbände,<sup>79</sup> welche mit Dieselmotoren oder alternativen Antrieben ausgestattet sind.

#### Personenkraftwagen (Pkw)

Ein Pkw ist definiert als ein durch einen Motor angetriebenes, nicht schienengebundenes Landfahrzeug mit mindestens vier Rädern, welches zur Beförderung von nicht mehr als neun Personen (einschließlich Fahrer) bestimmt ist.<sup>80-81</sup> Pkw unterteilen sich, wie schwere und leichte Nutzfahrzeuge, nach der Antriebsart in Verbrennungsmotor, Elektroantrieb, Erdgasantrieb und Hybridantrieb.

### 3.3.3 Umschlags- und Umfuhrequipment

Umschlags- und Umfuhrequipment beschreibt die Ausrüstung, mit der Güter umgeschlagen oder bewegt werden. Dazu zählen beispielsweise Krane, Flurfördergeräte, Stetigfördergeräte sowie Umschlagsequipment für flüssige Güter.

---

<sup>74</sup> Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. 2018.

<sup>75</sup> Ingenieur.de 2018.

<sup>76</sup> RP-Energie-Lexikon 2018a.

<sup>77</sup> Moussiopoulos et al. 1993.

<sup>78</sup> Aberle 2009.

<sup>79</sup> Gabler Wirtschaftslexikon 2018a.

<sup>80</sup> Kfztech.de 2018.

<sup>81</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Umschlag

Umschlag bezeichnet den Wechsel von Gütern von einem Arbeitsmittel zu einem anderen innerhalb einer Transportkette. Der Umschlagsprozess wird entweder mithilfe eines dritten Arbeitsmittels durchgeführt oder vom Arbeitsmittel selbst. Der Umschlag erfolgt direkt oder indirekt.<sup>82</sup>

Beim direkten Umschlag oder auch direkten Überladung werden Güter direkt vom Wagon/Lkw in das Schiff oder umgekehrt umgeschlagen, während die Güter beim indirekten Umschlag über den Kai gehen, bevor sie vom Schiff übernommen bzw. gelöscht werden.<sup>83</sup>

#### Reachstacker (Greifstapler)

Sogenannte Reachstacker kommen bei kurzen Transportwegen und vielen Ein- und Ausstapelvorgängen zum Einsatz. Mithilfe ihres heb- und senkbaren Teleskoparmes können auch beladene Container 6-fach in die Höhe und drei Reihen hintereinander gestapelt werden. Container werden mit einem drehbaren Spreader aufgenommen, so dass der Reachstacker nicht zwangsweise senkrecht vor dem Container stehen muss. Dieses Flurförderzeug ist sehr flexibel einsetzbar und bietet viele Erweiterungsmöglichkeiten.<sup>84</sup>

#### Containerbrücken (Rail-Mounted Gantry Cranes)

Containerbrücken kommen in hochfrequentierten Containerterminals zum Einsatz und sind auf Schienen fahrbare Portalkrane, welche einen see- und landseitigen Ausleger haben, so dass ein Schiff parallel be- und entladen werden kann. Ein am Ausleger befestigter Heberahmen (Spreader) lässt sich problemlos in die genormten Eckbeschläge eines ISO-Containers einhaken, wodurch die schnelle Auf- und Abnahme eines Containers gewährleistet ist.<sup>85</sup>

#### Drehmobilkrane

Mobilkrane haben eine deutlich verringerte Umschlagsleistung als Containerbrücken und kommen dementsprechend in kleinen und mittleren Terminals zum Einsatz. Vorteilhaft sind ihre geringen Investitionskosten und eine höhere Flexibilität im Gegensatz zur Containerbrücke.<sup>86</sup>

#### Terminaltraktoren

Terminaltraktoren werden für den horizontalen Transport von Ladeeinheiten auf der Terminalfläche eingesetzt. Es können damit sowohl Container (mit Hilfe eines zusätzlichen Chassis), als auch Trailer (Sattelaufleger) transportiert werden. Trailer werden dafür über eine hydraulische Vorrichtung im Terminaltraktor angehoben und können anschließend verfahren werden. Trailer nehmen in vielen Terminals in Binnenhäfen einen nicht unwesentlichen Anteil an der Gesamtheit der umgeschlagenen Ladeeinheiten ein.<sup>87</sup>

---

<sup>82</sup> Arnold et al. 2008., S. 508.

<sup>83</sup> Koch 1997.

<sup>84</sup> Brinkmann 2005, S. 266 f.

<sup>85</sup> Brinkmann 2005.

<sup>86</sup> Brinkmann 2005.

<sup>87</sup> Schüller und Töppner 2007.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Krane

Ein Portalkran überspannt den Arbeitsbereich mit einem oder mehreren Hauptträgern (Kranbrücke) wie ein Portal.<sup>88</sup> Ein Brückenlaufkran ist schienengeführt und fährt auf hochliegenden Kranbahnen, die auf einem oder zwei Trägern gestützt sind. Sie sind flurgesteuert und mit einer Bedieneinheit bzw. Fernbedienung ausgerüstet oder mit einem Steuerstand ausgestattet.

Darüber hinaus gibt es Hafemobilkrane, welche im Hafenbereich frei verfahrbar sind sowie schiffseigene Hebezeuge, welche für das Be- und Entladen von Gütern auf dem Schiff montiert sind.

#### Flurfördergeräte

Flurfördergeräte sind Transportmittel für horizontale Transport von Gütern, die zumeist innerbetrieblich auf ebener Erde eingesetzt werden. Sie zählen zu den Unstetigförderern.<sup>89</sup>

Zu den Flurfördergeräten gehört unter anderem der Gabelstapler, welcher primär für das Handling und auch für den innerbetrieblichen Transport von Paletten, Gitterboxen und anderen moderate Frachten zum Einsatz kommt.

Der Containerstapler ist eine Ausführung aus der Gruppe der Gegengewichtsstapler, speziell zum Umschlag von ISO-Containern. Es wird zwischen Leercontainerstaplern und Vollcontainerstaplern mit einer Traglast von bis zu 10 Tonnen bzw. bis zu 40 Tonnen unterschieden.<sup>90</sup>

Zugmaschinen mit Containerchassis nehmen ISO-Container und andere genormte Behälter direkt auf. Diese werden durch entsprechende Verriegelungsbolzen gesichert.<sup>91</sup>

Diesel-Zugmaschinen der Firma MAFI werden weltweit zum Umsetzen von Containern und Sattelauflegern sowie zum Be- und Entladen von RoRo-Schiffen eingesetzt. Das Portfolio ergänzen Schwanenhäuse, Cargo- und Rolltrailer, Containerchassis sowie Industrie- und Schwerlastanhänger.<sup>92</sup>

#### Stetigförderer

Stetigförderer sind innerbetriebliche Transport- und Fördersysteme, die einen kontinuierlichen Transportstrom auf einem festgelegten Förderweg über eine begrenzte Länge gewährleisten. Dazu kann das Fördergut zwischen Quelle und Senke stetig oder im Takt bewegt werden.<sup>93</sup>

---

<sup>88</sup> Item.

<sup>89</sup> VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik 2008., S. 636.

<sup>90</sup> Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München.

<sup>91</sup> Academic 2017a.

<sup>92</sup> MAFI Transport-Systeme GmbH.

<sup>93</sup> Item.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Roll-on-Roll-off (RoRo)

Roll-on-Roll-off bezeichnet den Kombinierten Verkehr von Straßenfahrzeugen oder Schienenfahrzeugen über eine Rampe auf das Schiff. Das Schiff befördert das Straßenfahrzeug über See an einen anderen Hafen, um dort den Straßenverkehr ohne Umrüstung fortzusetzen.<sup>94</sup>

#### Sattelauflieger und Sattelzugmaschine

Bei einem Sattelkraftfahrzeug handelt es sich um eine Fahrzeugkombination, die aus einer Sattelzugmaschine und einem Sattelanhänger (auch Sattelauflieger genannt) besteht. Eine Sattelzugmaschine ohne Sattelanhänger gilt als Zugmaschine.<sup>95</sup> Sattelauflieger sind entweder voll beladen (FTL), weniger als voll beladen (LTL) oder leer.<sup>96</sup> <sup>97</sup> Auch hier kann zwischen temperaturgeführten und nicht temperaturgeführten Aufliegern unterschieden werden.

#### 3.3.4 Wirtschaftsverkehr

Unter Wirtschaftsverkehr versteht man den Transport aller Güter und Personenbewegungen, die im Vollzug erwerbswirtschaftlicher und dienstlicher Tätigkeiten durchgeführt werden und die im Funktions- und Planungsfeld (der Stadt) ablaufen.<sup>98</sup> Zum Wirtschaftsverkehr gehören Service- und Dienstleistungsverkehr sowie Geschäfts- und Dienstverkehr.

Zum Dienstleistungsverkehr gehören alle von deutschen bzw. inländischen Privatpersonen oder Unternehmen an Privatpersonen sowie Unternehmen in fremden Staaten erbrachten Dienstleistungen auf dem Gebiet der technischen Unterstützung.<sup>99</sup>

#### Gütertransport

Gütertransport ist definiert als Transport von Gütern über Unternehmensgrenzen hinweg oder innerhalb eines Werksgeländes. Güterverkehr erfolgt regional, national oder international und durch Kabotage.<sup>100</sup>

#### Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV)

Der ÖPNV umfasst zum einen den straßengebundenen ÖPNV und zum anderen den Schienenpersonennahverkehr (SPNV). Ersteres bezeichnet die Beförderung von Personen mit beispielsweise Straßenbahnen und Omnibussen und dient als Befriedigung der Verkehrsnachfrage im Stadtverkehr. Der SPNV bezeichnet den öffentlichen Nahverkehr mit Eisenbahnen und gehört demzufolge dem national geltenden Rechtsrahmen für Schienenverkehr an.<sup>101</sup> Das Angebot an öffentlichen Verkehrsleistungen wird von privaten und gewerblichen Unternehmen sowie Unternehmen der öffentlichen Hand und von gemischtwirtschaftlichen

---

<sup>94</sup> Arnold et al. 2008.

<sup>95</sup> Das Verkehrslexikon.

<sup>96</sup> Cargomar.

<sup>97</sup> Cargomar.

<sup>98</sup> IHK München und Oberbayern 2017.

<sup>99</sup> Generalzolldirektion.

<sup>100</sup> Logistikknowhow 2014.

<sup>101</sup> Peters 2005.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Unternehmen erbracht. Zu den Verkehrsmitteln des ÖPNV gehören unter anderem S-Bahn, Bus und Straßenbahn / U-Bahn sowie als Verbindung zwischen den Zentren einer Region Eisenbahn- und Fahrzeugverkehr des Regionalverkehrs.<sup>102</sup>

---

<sup>102</sup> Rühle 2007.

### 3.4 Qualitative Steckbriefe der Lärmquellen

Basierend auf den durch das Konsortium identifizierten Lärmquellen im Binnenhafen und den obenstehenden Definitionen werden in diesem Kapitel beispielhaft Steckbriefe der Lärmquellen dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung aller Lärmquellen ist im Anhang.

Die Lärmquellen im Binnenhafen haben viele unterschiedliche Verursacher. Hier sind sowohl der Verkehrs-, Industrie- und Gewerbelärm auf dem Hafengelände, als auch der Lärm im unmittelbaren Gebiet durch Transportvorgänge zu nennen. Abbildung 12 zeigt die Aufteilung der Lärmquellen nach den vier im vorherigen Kapitel genannten Lärmkategorien.

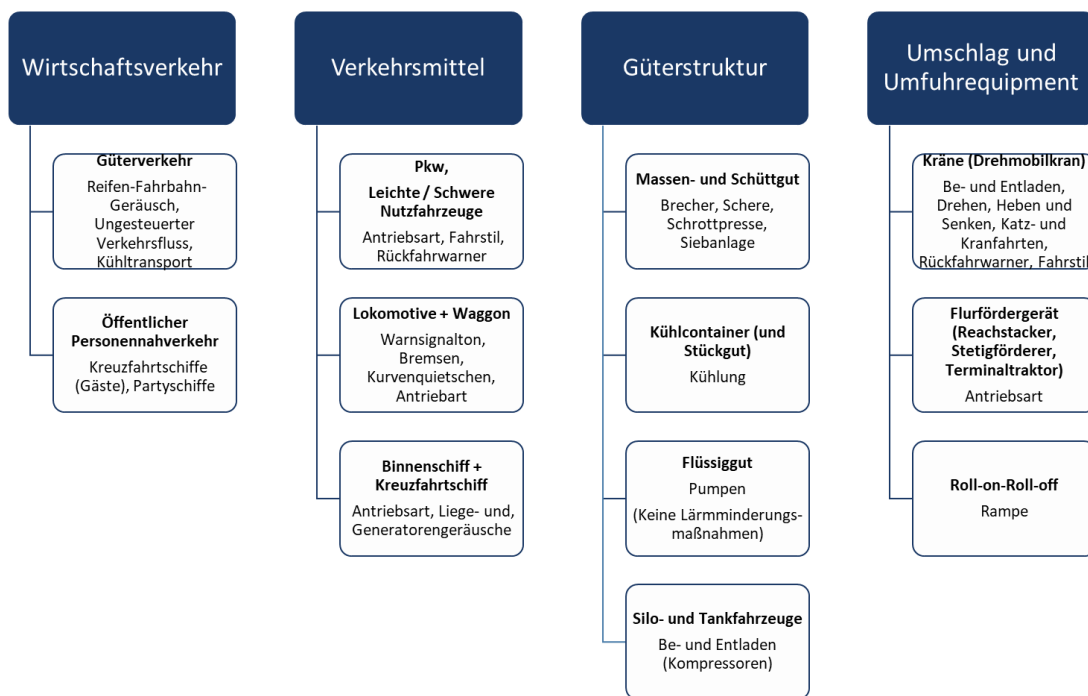


Abbildung 12: Lärmkategorien und -quellen Leiser Hafen (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Beispielhaft werden im Folgenden zwei Steckbriefe zu Lärmquellen beschrieben. Die hier aufgeführten Lärmquellensteckbriefe beinhalten auch Lärminderungsmaßnahmen (vgl. Kapitel 4), da die Lärminderungsmaßnahmen den Quellen direkt zugeordnet wurden, um eine genaue Zuordnung bei der Erstellung der Ursachen-Maßnahmen-Matrix zu ermöglichen (vgl. Kapitel 5.2).

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Lärmquelle: Antriebsart des Lkws	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	An- und Abtransporte über die Straße mit dem Verkehrsmittel Lkw
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Hafenbereich und Zubringerstraßen</p> <p>Antriebsgeräusche entstehen durch den Betrieb eines Motors, eines Getriebes, einer Antriebsstange, dem Betrieb von Nebenaggregaten und Anbauteilen.</p> <p>Insbesondere treten Antriebsgeräusche bei Dieselmotoren durch die Verbrennungsdrücke, Druckschwankungen im Ansaug- und Abgassystem sowie mechanische Kräfte im Ventil- und Kurbelbetrieb auf.</p>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Einsatz von alternativen umweltfreundlicheren Antrieben – LNG (Liquefied Natural Gas)</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Der Einsatz von LNG-Antriebsmotoren bei schweren Nutzfahrzeugen führt primär zu einer Reduzierung der Luftschadstoff- und Lärmemission. Bei einer Geräuschmessung, bei der verschiedene Stelle eines Fahrzeuges mit Mikrofonen ausgestattet werden, konnten deutliche Unterschiede zwischen einem Dieselverbrennungsmotor und einem Gasmotor nachgewiesen werden. Die Differenz an den unterschiedlichen Stellen schwankte zwischen zwei und sieben dB(A) zugunsten des Gas-Motors. Laut dem deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) lag der Durchschnittswert bei der Messung bei 66 dB(A) für den Gas-Motor und bei 71 dB(A) für den Diesel-Motor.<sup>103</sup></p> <p>Neben diesem Vorteil wird auch weiterhin die gleiche Leistung beibehalten, allerdings mit 20 % weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen. Zudem ist Flüssigerdgas in der Regel preiswerter, so dass die Möglichkeit besteht, die Kraftstoffkosten zu senken.<sup>104</sup></p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Die Zukunftschancen für LNG als Dieseleratz sind hinsichtlich eines preisstabilen Alternativkraftstoff gut. LNG besitzt den Vorteil, dass aufgrund des geringeren Volumens eine höhere Reichweite möglich ist, welche bei 1.500 Kilometern (km) liegt.<sup>105</sup> Demzufolge muss das LNG-angetriebene Fahrzeug weniger häufig eine Tankstelle aufsuchen.<sup>106</sup> Ein Beispiel für den Versuch eine LNG-Infrastruktur im Hafen aufzubauen, ist der Duisburger Hafen. Dort entsteht während einer Testphase in Zusammenarbeit mit dem Energieunternehmen RWE, sowohl eine mobile als auch eine stationäre LNG-Tankstelle für die Versorgung der Spediteure. Die geplanten Investitionskosten belaufen sich auf 500.000 Euro. Die Bundesregierung hat zudem beschlossen, Unternehmen, die einen in der EU angebotenen LNG-Lkw anschaffen wollen, mit einem Zuschuss von bis zu 12.000 Euro zu unterstützen. Dazu kommen die geringeren Kosten von einem Kilo Gas</p>

<sup>103</sup> DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. 2018.

<sup>104</sup> DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. 2018., S. 9.

<sup>105</sup> Hartmann 2016.

<sup>106</sup> Wurster et al. 2014., S. 16.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

	<p>gegenüber einem Liter Diesel. Zudem besteht eine auf zwei Jahre befristete Befreiung von der LKW-Maut. Somit sind Investitionskosten eines Transportunternehmens in die LNG-Technologie bei einer durchschnittlichen Laufleistung von etwa 100.000km/Jahr eines Lkw innerhalb weniger Jahre amortisiert.<sup>107</sup></p> <p>Der Einsatz dieses Kraftstoffes würde nicht nur auf dem Hafengelände, sondern auch auf den öffentlichen Straßen bzw. Zubringerstraßen zu einer Reduzierung der Lärmbelastung beitragen.</p>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Einsatz von alternativen umweltfreundlicheren Antrieben – Elektrischer Antrieb und Hybridvarianten</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Bei einem voll-elektrisch angetriebenen Lkw entfallen die antriebsbedingten Lärmemissionen beinahe komplett. Neben dem fast lautlosen Antrieb, ist diese Art von Antrieb sehr energieeffizient, da sie im Stillstand im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren keine Energie benötigen. Bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h, ab der das Reifen-Fahrbahn-Geräusch höher als die Antriebsgeräusche eines Lkw-Dieselmotors ausfällt, sinkt somit der Lärmpegel.<sup>108</sup></p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Durch den hohen Energieverbrauch eines Lkw ist der Gebrauch des Elektroantriebes bei der Langstreckennutzung derzeit technisch kaum umsetzbar.<sup>109</sup></p>

Tabelle 3: Steckbrief Lärmquellen - Antriebsart des Lkws (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

<sup>107</sup> Duisburger Hafen AG 2017a.

<sup>108</sup> Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt 2013.

<sup>109</sup> Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt 2013., S. 3.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Lärmquelle: Kranfahrten	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlagprozess auf dem Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Bei Kranfahrten bewegt sich der Portalkran auf zwei parallelen Schienen und dient der horizontalen und vertikalen Bewegung von Gütern sowie Containern. Die Verladebrücken für Container kann beispielsweise auf seinen zwei parallelverlaufenden Schienen frei verfahren werden. Dadurch entstehen Geräusche, die als störend empfunden werden können.</p> <p>Die Laufkatze ist an einem Kran befestigt und kann horizontal verfahren werden. Sie trägt ein Hubwerk, mit dem Lasten gehoben oder gesenkt werden können. Durch Laufkatzen werden schwere Lasten zu einem Zielort transportiert und dort punktgenau von oben abgesetzt. Im Hafen werden hauptsächlich Laufkatzen verwendet, die ein eigenes Führerhaus für Bedienpersonal sowie einen eigenen internen Antrieb besitzen. Die Fahrten der Laufkatze werden als Katzfahrten bezeichnet.</p>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Verringerung der Bremsgeräusche durch Verbesserung der Schienenklemmung</b>
<b>Wirkung</b>	Die Schienenklemmung verbindet einen Portalkran formschlüssig mit der Schienenanlage. <sup>110</sup> Mit Hilfe eines stark übersetzenden Keilgetriebes wird die Kraft des Kolbens über Rollen in eine quer wirkende Haltekraft umgewandelt und realisiert damit hohe Haltekräfte, ohne sich dabei zu verklemmen. <sup>111</sup> Dies geschieht in der Regel durch einen Ausfall der Pneumatik. Nur bei einer querwirkenden Kraft, wie zum Beispiel Druckluft, sind die Klemmen und damit der Bremschuh gelöst. <sup>112</sup> Daraus erschließt sich, dass eine reibungsfreie und steuerbare Regulierung der Druckluft eine Verbesserung der Schienenklemmung erfolgen kann und die Bremsgeräusche des Kranes sich verringern.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Schienenklemmung entspricht dem heutigen Stand der Technik. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise sind Schienenklemmungen besonders gut geeignet für hohe und breite Laufwagen. Der Einsatz von Pneumatik ermöglicht im Vergleich zu hydraulischen oder elektronischen Lösungen geringere Systemkosten. <sup>113</sup> Weitere Vorteile sind eine hohe Steifigkeit und eine nahezu Verschleißfreiheit. Die Schienenklemmung ist ebenfalls mit einem integrierten Spezialbelag zum Bremsen in Notsituationen zu erwerben. <sup>114</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Verbesserung und Umgestaltung der Pendelstützen</b>

<sup>110</sup> Voss und Hartmann 2018., S. 109.

<sup>111</sup> Zimmer group 2018.

<sup>112</sup> Schienenklemmung LinClamp SK 2017.

<sup>113</sup> Schienenklemmung LinClamp SK 2017.

<sup>114</sup> Zimmer group 2018.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

<b>Wirkung</b>	Der Portalkran bewegt sich auf zwei Kranarmen, wobei einer davon als Pendelstütze das Tragwerk statisch bestimmt macht. Die Verbindung zwischen der Pendelstütze und dem Brückenträger kann das Fahrverhalten eines Portalkrans beeinflussen. <sup>115</sup> Diese Verbindung stellt ein Gelenklager dar, das durch drei Freiheitsgrade eine gleichmäßige Lastverteilung auf die Kranbahn ermöglicht. <sup>116</sup> Durch eine unregelmäßige Beanspruchung der Freiheitsgrade wird eine Abnutzung der Lageroberfläche verursacht. Dadurch entstehen deutlich hörbare Brumm- und Schwinggeräusche. Mit Hilfe einer auf Teflon basierenden Schmieremulsion zwischen dem Lagerinnenring und der wartungsfreien Gleitschicht kann diesen entgegengesteuert werden. <sup>117</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Diese Art von Verbesserung der Pendelstützenlagerung ist bereits Stand der Technik.
<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<b>Temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters</b>
<b>Wirkung</b>	Aufgrund der hohen Leistung eines Krans muss eine funktionierende Motorlüftung gewährleistet sein. Jedoch läuft diese unabhängig von der Belastung immer gleich. Durch eine temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters kann die Lärmemission effektiv gemindert werden.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die temperaturabhängige Steuerung eines Motorlüfters ist nach aktuellem Stand der Technik nur ein Konzept. Jedoch lässt sich das Verfahren bereits existierender Lüftungsanlagen auf die temperaturabhängige Steuerung übertragen. Dabei wird an einer temperatursensiblen Stelle ein Widerstand eingebaut, der eine temperaturgeführte Drehzahl des Lüfters bewirkt. Über diesen Widerstand kann dann die Kühlleistung des Lüfters automatisch an die Gerätetemperatur angepasst werden und die Komponenten des Motorlüfters werden auf die momentane Kühlungsanforderung entsprechend abgestimmt. <sup>118</sup>

Tabelle 4: Steckbrief Lärmquellen – Kranfahrten (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

<sup>115</sup> Scheffler et al. 1998.

<sup>116</sup> Hebezeuge Fördermittel - Technische Logistik 2017.

<sup>117</sup> Rühlicke 2007.

<sup>118</sup> Rinortner 2011.



## 3.5 Lärmmessungen an relevanten Lärmquellen

In diesem Kapitel werden Lärmmessungen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Leiser Hafen“ am Beispiel des Duisburger Hafens durchgeführt wurden, dargestellt. Hierfür wurden durch Peutz Consult Lärmmessungen an definierten Lärmquellen durchgeführt.

### 3.5.1 Physikalische Grundlagen

Beim Schall handelt es sich u.a. um einen Schwingungsvorgang in Gasen (z.B. Luft), welcher sich wellenförmig ausbreitet.<sup>119</sup> Die Schwingungen der Luftmoleküle bzw. die dadurch bewirkte Änderung des Luftdrucks, den sogenannten Schalldruck, kann das menschliche Gehör wahrnehmen. Für den Höreindruck sind zwei Größen von besonderer Wichtigkeit, hierbei handelt es sich um die Lautstärke und die Tonhöhe. Die Lautstärke hängt von der Größe des Schalldrucks ab. Je höher die Druckschwankungen sind, umso mehr Energie steckt in der Schallwelle und umso lauter wird die bei gleichbleibender Tonhöhe wahrgenommen. Die Tonhöhe des Schalls hängt von der Häufigkeit der Druckschwankungen ab, wobei die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde Frequenz genannt wird und in Herz (Hz) angegeben wird. Der Schalldruck- und Frequenzbereich in dem das menschliche Gehör Schall wahrnehmen kann, umfasst einen Frequenzbereich bei gesundem Menschen von 16 Hz bis 20.000 Hz. Schall im Frequenzbereich von etwa 16 bis 100 Hz wird hierbei als tieffrequenter Schall bezeichnet, Schall im Frequenzbereich unterhalb von 16 Hz wird als Infraschall bezeichnet. Der Schall im Bereich von oberhalb von 20.000 Hz wird als Ultraschall bezeichnet.<sup>120</sup>

Der Schalldruckpegel ist eine Verhältnisgröße, die aus dem Bezugsschalldruck (Hörschwelle) und dem momentanen Schalldruck gebildet wird. Die Frequenzempfindlichkeit des Ohres wird in Messgeräten grob nachgebildet. Realisiert wird dies durch spezielle Bewertungfilter. Als Grundlage für die Bewertung des vom menschlichen Gehör aufgenommenen Schalls wird bei Geräuschemessungen u.a. der sogenannte A-Filter verwendet und mit dem Kürzel dB(A) bezeichnet.

Der Schalleistungspegel kennzeichnet die Geräuschemission, die z.B. durch ein Aggregat unter spezifischen Betriebsbedingungen hervorgerufen wird. Die abgestrahlte Schalleistung einer Geräuschquelle kann durch die Messung des Schalldrucks an mehreren Stellen einer geschlossenen Hüllfläche bestimmt werden. Während der Schalldruckpegel, die Größe des Schalldrucks eines Schallfeldes für einen bestimmten Ort in einer definierten Entfernung zu einer Geräuschquelle beschreibt, gibt der Schalleistungspegel die Geräuschemission einer Quelle an. Ist der Schalldruckpegel in einem bestimmten Abstand von der Geräuschquelle bekannt, so kann hieraus der Schalleistungspegel einer Quelle berechnet werden.<sup>121</sup> Der Schalleistungspegel stellt innerhalb der Berechnungen zum vorliegenden Forschungsvorhaben die Ausgangsgröße zur Ermittlung der Geräuschemissionen im Bereich der Schutzwürdigen Nachbarschaft dar. Auf Grundlage des Schalleistungspegels einer Geräuschquelle, deren Höhe sowie deren Einwirkdauer kann unter Berücksichtigung weiterer Minderungsparameter auf dem Übertragungsweg der anteilige Immissionspegel einer Quelle bestimmt werden.

### 3.5.2 Durchführung der Messungen

#### Kurzzeitmessungen

---

<sup>119</sup> Hering und Strohner 2002.

<sup>120</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2016.

<sup>121</sup> Umwelt Bundesamt 2013.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Zur Ermittlung der Geräuschemissionen in Verbindung mit den Fahrtbewegungen von Flurförderzeugen unterschiedlicher Antriebsarten (Diesel, Hybrid, Gas, Elektro) erfolgten Luftschallmessungen in Anlehnung an die Vorgaben der DIN 45642 „Messung von Verkehrsgeräuschen“. Während der Vorbeifahrt erfolgten hier zeitgleich an zwei Messpositionen im Messabstand von jeweils 7,5 m zur Mitte des Fahrweges in einer Höhe von 1,2 m über Fahrbahnoberfläche über eine Fahrstreckenlänge von jeweils rund 10 m zu beiden Seiten der Messpositionen bei definierter Fahrgeschwindigkeit, Luftschallmessungen als Grundlage zur Ermittlung der Emissionen der Vorbeifahrt.

Als Grundlage für die Ermittlung der Geräuschemissionen (Schalleistungspegel) und der Geräuschimmissionen (Schalldruckpegel) werden bei der Beurteilung von Gewerbelärm gemäß der TA Lärm die in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Messwertarten verwendet, wobei die Wahl der zusätzlich zum Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  zu erfassenden Messwertart vom Einzelfall abhängt.

Messwertart		Anwendung
$L_{Aeq}$	Mittelungspegel	Beurteilung der Geräuschimmissionen
$L_{AFmax}$	Maximalpegel	Beurteilung von Geräuschspitzen
$L_{AFTeq}$	Taktmaximal-Mittelungspegel	Zuschlag für Impulshaltigkeit
$L_{AF95}$	Grundgeräuschpegel	Prüfung auf ständig vorherrschende Fremdgeräusche

Tabelle 5: Messwertarten der TA Lärm und deren Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998)

Zur Ermittlung der in Verbindung mit der Kranung von Containern mittels Portalkranen auftretenden Geräuschemissionen erfolgten u.a. Messungen gemäß der Richtlinie über zulässige Schallemissionen von Containerkranen der DB AG. Hiernach sind für folgende Tätigkeiten der Krananlage die maximal zulässigen Immissionspegel zu prüfen:

- 1) Kranfahren
- 2) Katzfahren
- 3) Heben und Senken
- 4) Drehen

So erfolgten Messungen in Verbindung mit dem Kranfahren zeitgleich an zwei Messpositionen im Abstand von jeweils 25 m von der Kranfahrbahn in einer Messhöhe von 3,5 m über der Fahrbahnoberfläche.

Die gemäß der Richtlinie über zulässige Schallemissionen von Containerkranen der DB AG erforderlichen Messanordnungen sind den nachfolgenden Grafiken zu entnehmen:

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

- **Messung Nr. 1 – Kranfahren:** Messhöhe  $h = 3,5 \text{ m}$  ü. SO

1. 50 m Kranfahren mit maximaler Beschleunigung von Startposition aus
2. 100 m Kranfahren mit höchst möglicher Geschwindigkeit an Startposition vorbei
3. 50 m Kranfahren mit maximaler Bremsung bis zur Startposition

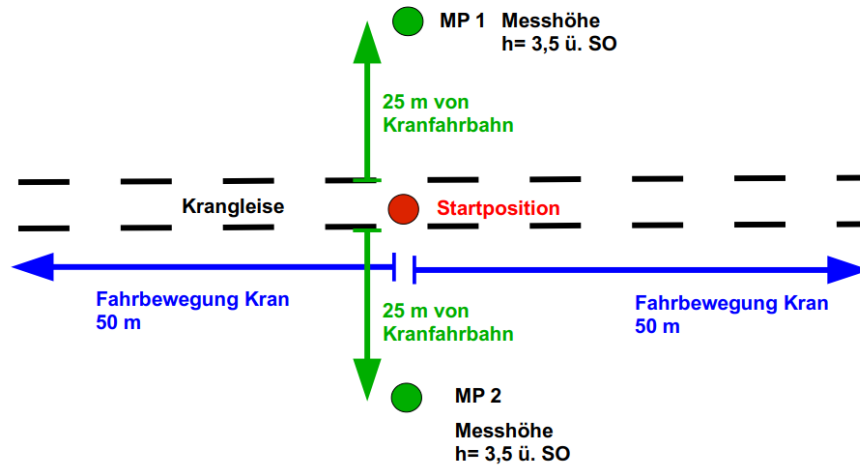


Abbildung 13: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 1  
(Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

- **Messung Nr. 2 – Katzfahren:** Messhöhe  $h = 7,5 \text{ m}$  ü. SO

1. Katzfahren in eine Richtung mit maximaler Beschleunigung von Mittelpunkt aus
2. Katzfahren mit höchst möglicher Geschwindigkeit an Mittelpunkt vorbei
3. Katzfahren mit maximaler Bremsung bis zum Mittelpunkt

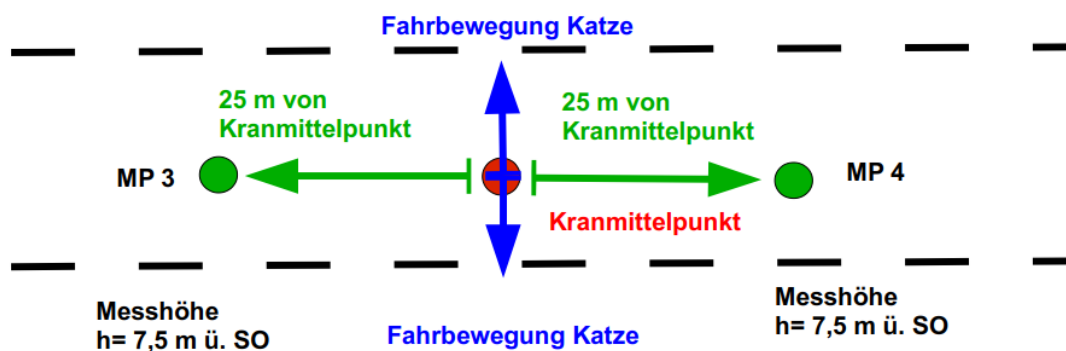


Abbildung 14: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 2  
(Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

- **Messung Nr. 3 – Heben und Senken:** Messhöhe  $h = 7,5 \text{ m}$  ü. SO

1. Heben bis zur höchsten Stellung bei maximaler Beschleunigung
2. Senken bis  $0,5 \text{ m}$  über Schienenoberkante

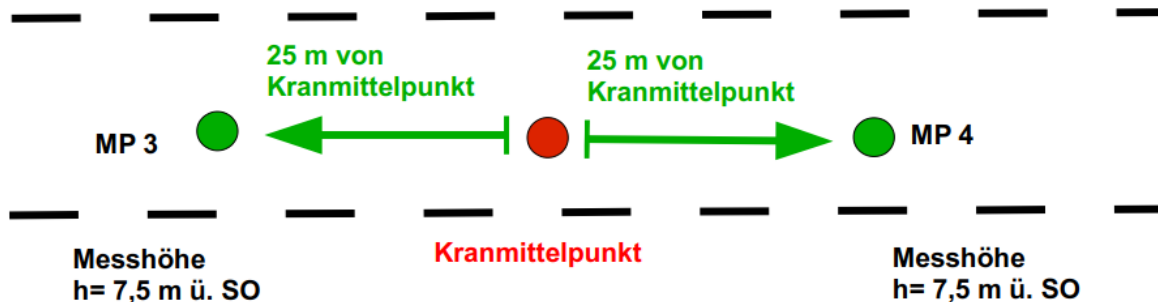


Abbildung 15: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 3  
(Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

- **Messung Nr. 4 – Drehen:** Messhöhe  $h = 7,5 \text{ m}$  ü. SO

1. Drehen in maximaler Geschwindigkeit mit Last (ca. 20 t)

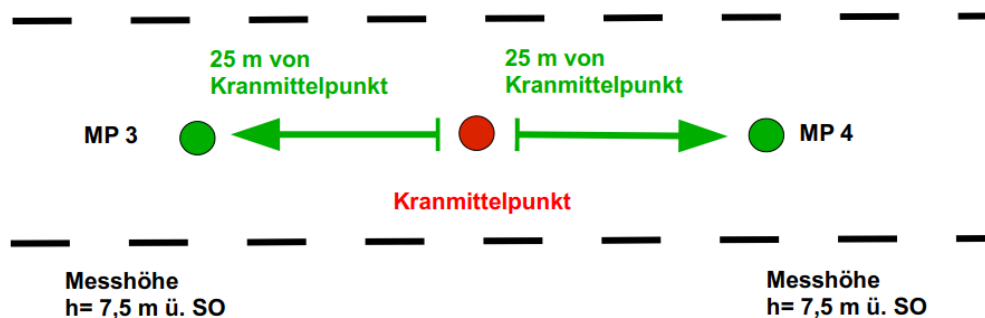


Abbildung 16: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkränen der DB AG, Messung 4  
(Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

Zusätzlich zu diesen beiden beschriebenen Messverfahren erfolgten Luftschallmessungen im Anlagennahbereich u.a. in Verbindung mit dem Containerhandling mittels Reachstackern, Schiffsbeladungen sowie eine Prüfung der Wirksamkeit von Minderungsmaßnahmen, wie z.B. Kapselung von Hydraulikaggregaten bei Kranspreadern in definierten Abständen. Falls dies die vor Ort vorgefundene Situation ermöglichte, erfolgte hier zeitgleich an zwei Messpositionen in zwei unterschiedlichen Entfernungen Luftschallmessungen, wie dies z.B. in Verbindung mit dem Containerhandling mittels Reachstackern erfolgte.

Auf Grundlage der beschriebenen Messmethoden wurden die den Berechnungen des im Folgenden beschriebenen Modells des virtuellen Hafens (vgl. 3.6) zu Grunde gelegten Schallemissionen ermittelt.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Langzeitmessungen

Zusätzlich zu den beschriebenen Geräuschmessungen im Anlagennahbereich erfolgten an zwei Messpositionen Luftschallmessungen über einen längeren Zeitraum im Bereich eines Containerterminals zur messtechnischen Ermittlung der Wirksamkeit vor und nach der Errichtung von Lärmschutzwänden sowie an einem Messort im Einwirkungsbereich einer Hafenzufahrtsstraße im öffentlichen Straßenverkehrsbereich zur Ermittlung der Immissionen in Verbindung mit den hier stattfindenden Lkw-Verkehren als Grundlage für eine Bewertung der Wirksamkeit von möglichen Verkehrsleitsystemen in Form einer Umlenkung von Verkehren.

Die Messungen erfolgten jeweils über einen längeren Zeitraum, um hier belastbare Ergebnisse erzielen zu können, ohne relevante Störeinflüsse aus der Umgebung (allgemeine Verkehrsgeräusche, Witterungsbedingungen) ausschließen zu können.

#### 3.5.3 Kranmessungen nach DB-Richtlinie

Das Anfang 2004 von der Duisburger Hafen AG in Zusammenarbeit mit der TOBIES Kran- und Förderanlagen GmbH und der SGKV e.V. gestartete und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt GOOD SOUND („Ermittlung und Erprobung von Verfahren und Technologien zur Reduzierung von Schallemissionen bei der Kranung intermodaler Ladeeinheiten“) hatte das Ziel die Schallemissionen, die während der Kranungsprozesse intermodaler Ladeeinheiten entstehen, messbar zu reduzieren und dadurch eine Verbesserung der Akzeptanz von KV-Terminals zu bewirken.

Bei den wesentlichen Geräuschquellen bei Portalkränen handelt es sich um folgende:

- Kranfahrwerk (Kranfahren mit akustischem Warnsignal)
- Spreader (Hydraulikeinheit zur Aufnahme von Containern)
- Windenhaus (Motorengeräusche beim Heben und Senken der Last)
- Katzfahrwerk (Motoren- und Abrollgeräusche Rad- / Schiene)

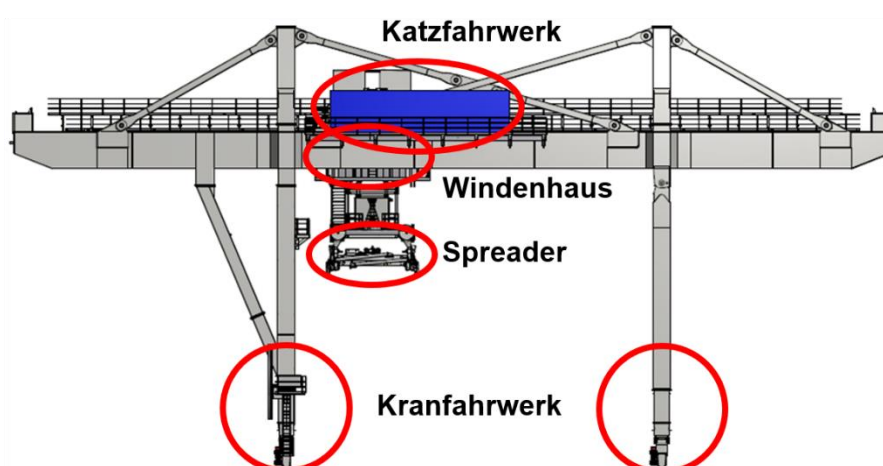


Abbildung 17: Darstellung Kranbestandteile (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

Um eine standardisierte und vergleichbare Messmethode anzuwenden erfolgten hierzu an bestehenden Anlagen im Duisburger Hafen Luftschallmessungen gemäß der Richtlinie über zulässige Schallemissionen von

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Containerkranen der Deutschen Bahn AG von 1995. Nachfolgend sind beispielhaft das Schema für die Messung Nr. 1 „Kranfahren“ gemäß der DB-Richtlinie sowie der zugehörige Messaufbau dargestellt.

- **Messung Nr. 1 – Kranfahren:** Messhöhe  $h = 3,5 \text{ m}$  ü. SO
1. 50 m Kranfahren mit maximaler Beschleunigung von Startposition aus
  2. 100 m Kranfahren mit höchst möglicher Geschwindigkeit an Startposition vorbei
  3. 50 m Kranfahren mit maximaler Bremsung bis zur Startposition

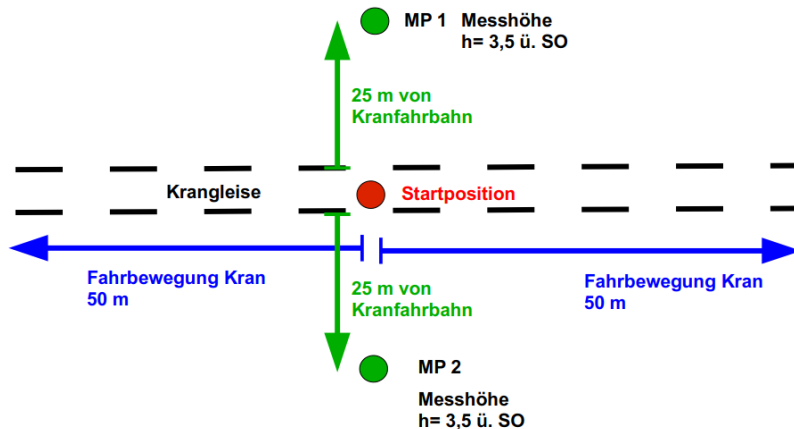


Abbildung 18: Messanordnung gemäß der Richtlinie über zulässige Schallimmissionen von Containerkranen der DB AG, Messung 1 (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)



Abbildung 19: Messaufbau Kran (Quelle: Peutz Consult)

In der folgenden Abbildung sind die Ergebnisse für zwei gemäß der DB-Richtlinie durchgeführter Kranmessungen aufgeführt.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

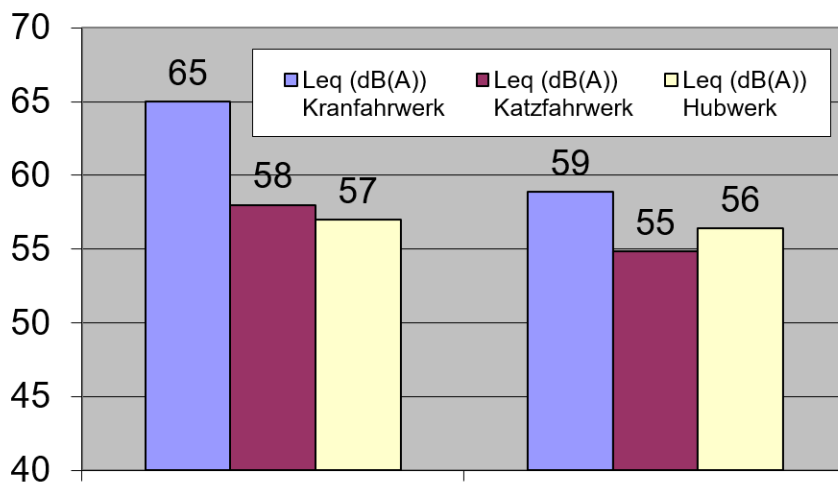


Abbildung 20: Ergebnisse der Kranmessungen in dB(A) (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

So ergeben sich im Vergleich zwischen dem Kran auf dem DIT Gelände und einem auf dem logport III Gelände in Duisburg eingesetzten lärmoptimierten Kran Pegelminderungen von rd. 6 dB für die Kranfahrt, 3 dB für die Katzfahrt und 1 dB für das Hubwerk. Durch den Einbau von entkoppelnden Delta-Lagern konnten hier z.B. die Abrollgeräusche „Rad – Schiene“ des Katzfahrwerkes gemindert werden.

#### 3.5.4 Nahbereichsmessungen und Vorbeifahrtspegel

##### Portalkrane

Da durch die Messungen gemäß der DB-Richtlinie nur Emissionswerte für einzelne Kranbewegungen erfasst werden erfolgten zusätzlich hierzu gezielte vergleichende Luftschallmessungen auf dem logport III Gelände in Duisburg an zwei Portalkranen ohne und mit Umsetzung folgender Maßnahmen:



Abbildung 21: Kapselung des Hydraulikaggregates am Kran-Spreader (ohne links und mit rechts Kapselung) (Quelle: Peutz Consult)



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

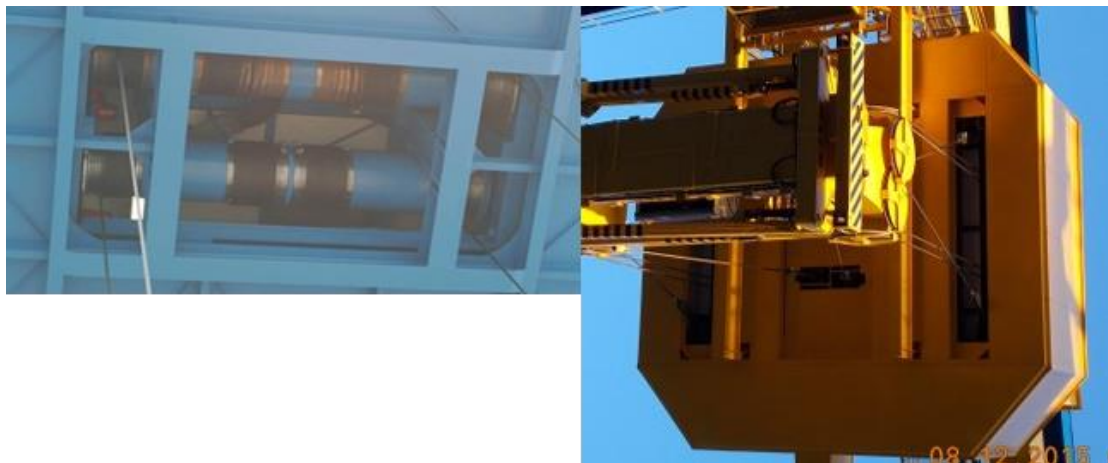


Abbildung 22: Schließen der Öffnungen am Windeshaus auf ein Mindestmaß (ohne links und mit rechts) (Quelle: Peutz Consult)



Abbildung 23: Absorbierende Innenauskleidung des Windeshauses (Quelle: Peutz Consult)

Die Messergebnisse sind nachfolgend aufgeführt.

Geräuschquelle	Messentfernung	$L_{Aeq}$	$L_{AFmax}$	$L_{AFTeq}$	$K_I$
	m	dB(A)			dB
Hydraulik Spreader ohne Kapselung	2	69,8	71,3	70,6	0,8
Hydraulik Spreader mit Kapselung		63,8	66,4	64,8	1,0
Heben / Senken ohne Kapselung	2	67,3	73,8	70,2	2,9
Heben / Senken mit Kapselung		66,1	71,6	69,0	2,9

Tabelle 6: Messergebnisse Portalkran (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

So ergeben sich im Vergleich Pegelminderungen von rd. 6 dB für die Kapselung der Hydraulik des Spreaders sowie rd. 1 dB für die Maßnahmen am Windenhaus (Heben und Senken von Lasten).



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Reachstacker

Reachstacker sind Flurförderzeuge die zum Stapeln und Umschlagen von Containern im kombinierten Terminalverkehr in Verbindung mit Portalkranen eingesetzt werden. Durch den am Ende eines schrägen Arms montierten Spreader können die Ladeeinheiten (Container) übereinander und über andere Container hinweg gestapelt werden. Im Zuge der Ermittlung der Hauptlärmemittenten des Hafens waren auch die in Verbindung mit den Fahrtbewegungen von Reachstackern unterschiedlicher Antriebsarten auftretenden Lärmemissionen messtechnisch zu erfassen.

Im Rahmen des Projekts wurden an zwei Messpositionen in einem Abstand von jeweils 7,5 m zum Reachstacker zeitgleiche Messungen während gleichförmigen Vorbeifahrt eines dieselbetriebenen Reachstackers und eines Reachstackers mit hydrostatischem Antrieb vorgenommen.



**Abbildung 24: Reachstacker mit Dieselantrieb (links) und hydrostatischem Antrieb (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen AG 2017b)**

Die Ergebnisse der Messungen mit den beiden Reachstackern an zwei Messpunkten, mit jeweils drei Messungen sind in Abbildung 25 dargestellt. Die linke Seite der Abbildung zeigt den Messaufbau, bei dem die beiden Messpunkte in Relation zu den Reachstackern dargestellt ist. Durch die gleichen Abstände der Messpunkte zu den Messobjekten ist eine Vergleichbarkeit gegeben.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

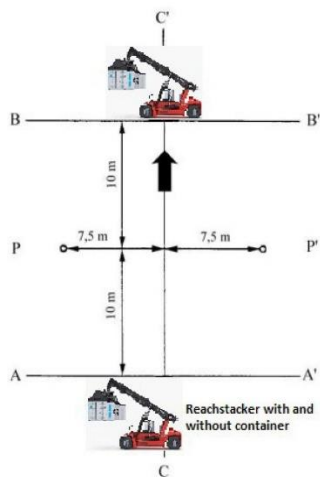


Abbildung 25: Aufbau Lärmmessung Reachstaker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

Messort	Geräuschquelle	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFTeq</sub>	L <sub>AF95</sub>	K <sub>I</sub>	SEL
		dB(A)				dB	dB(A)
A	1. Vorbeifahrt Diesel-Reachstaker mit Container	75,9	81,8	78,8	64,1	2,9	89,3
B		76,5	84,9	80,1	61,4	3,6	90,6
A	2. Vorbeifahrt Diesel-Reachstaker mit Container	80,1	89,2	84,6	70,1	,45	94,4
B		81,6	81,8	87,7	67,2	6,1	96,0
A	3. Vorbeifahrt Diesel-Reachstaker mit Container	75,1	83,4	78,0	68,3	2,9	90,1
B		76,6	86,0	80,0	60,7	3,4	91,2
A	1. Vorbeifahrt Hybrid-Reachstaker mit Container	69,5	80,0	76,3	60,1	4,8	84,7
B		70,1	79,9	74,3	61,1	4,2	85,1
A	2. Vorbeifahrt Hybrid-Reachstaker mit Container	69,2	76,6	72,7	60,1	3,0	84,3
B		71,1	80,9	74,9	58,5	3,8	86,1
A	2. Vorbeifahrt Hybrid-Reachstaker mit Container	68,2	76,6	72,7	60,1	4,5	83,1
B		69,0	78,9	74,0	57,6	5,0	84,1

Tabelle 7: Ergebnisse Messungen Diesel- und Hybrid-Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Wie in Tabelle 7 ersichtlich hat sich durch die Messungen gezeigt, dass für den Hybrid-Reachstacker rund 8 dB(A) geringere Vorbeifahrtspegel erreicht werden als beim Diesel-Reachstacker. Im Bereich der Umschlagvorgänge durch Reachstacker stellen neben den eigentliche Geräuschen in Verbindung mit den Fahrtbewegungen insbesondere das Handling von Containern, das heißt die Aufnahme- und Absetzvorgänge mittels Reachstacker eine relevante Lärmquelle dar.

Hierzu erfolgten im Rahmen der Lärmmessungen zeitgleich in den Abständen von 15 und 30 m Luftschallmessungen mehrerer Zyklen Messungen der Handlingbewegungen des Reachstackers. Die Messergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

Messort	Geräuschquelle	Messentfernung	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFteq</sub>	L <sub>AF95</sub>	L <sub>WAteq</sub>
		m	dB(A)				dB(A)
A	1. Handling Container mit Diesel-Reachstaker	15	77,7	92,0	82,2	63,4	113,7
B		30	73,8	88,7	78,5	61,9	116,0
A	2. Handling Container mit Diesel-Reachstaker	15	78,2	87,1	84,6	62,5	116,1
B		30	74,6	93,3	80,9	63,7	118,4
A	1. Handling Container mit Hybrid-Reachstaker	15	77,7	100,3	87,7	62,3	119,2
B		30	72,6	94	81,2	59,7	118,7
A	2. Handling Container mit Hybrid-Reachstaker	15	73,4	92,3	80,8	58,4	112,3
B		30	69,9	89,3	77,5	56,1	115,0

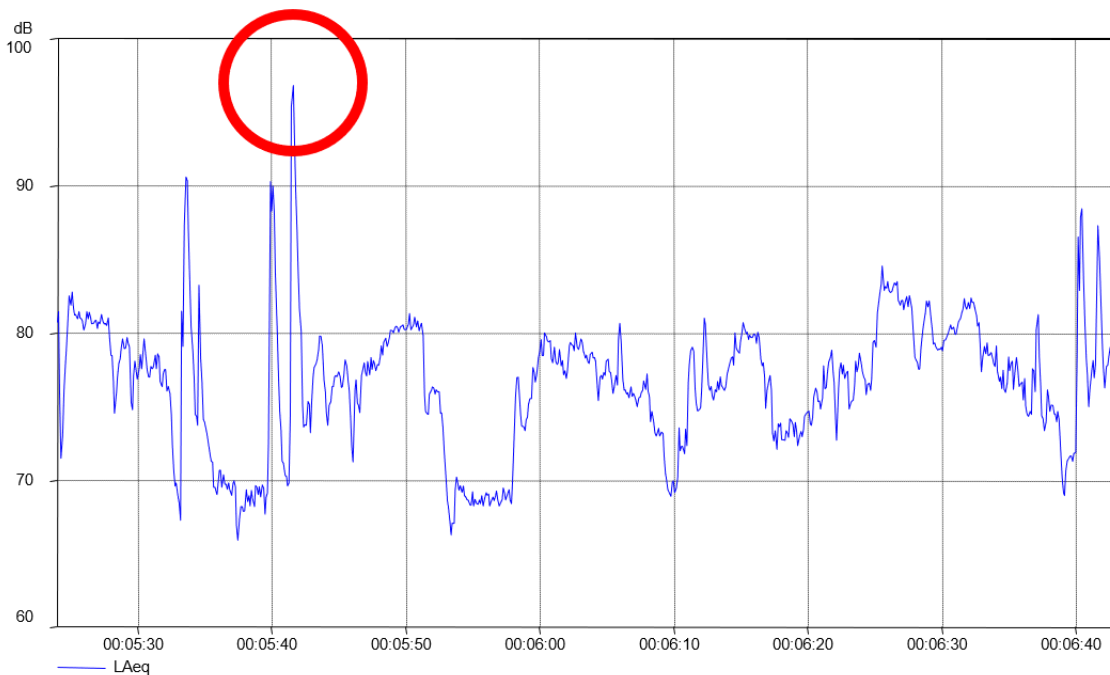
Tabelle 8: Messergebnisse Handling durch Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Messwerte für das Containerhandling mittels Hybrid-Reachstacker nur um rund 1dB(A) höher lagen, als für die Messwerte für das Containerhandling mittels Diesel-Reachstacker. mit dem Containerhandling mittels Hybrid-Reachstacker lagen nur um rd. 1 dB(A) höhere Messwerte vor.

Der Umschlag ISO-genormter Container erfolgt mit Spreadern (spread engl. für „spreizen“). Der auf die Containerlänge einstellbare Teleskoprahmen ist mit Twistlocks (twist engl. für „verdrehen“) ausgestattet. Die Verriegelung der Twistlocks erfolgt durch Verdrehen nach Einführen in die vier oberen Eckbeschläge des Containers.

Der nachfolgende Pegel-Zeitverlauf zeigt grafisch die in Verbindung mit dem Containerhandling / dem Umschlag beim Einsatz herkömmlicher Spreader (vgl. Abbildung 26).

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



**Abbildung 26: Pegelzeitverlauf Messungen Reachstacker (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)**

Durch den Einsatz schalltechnisch optimierter Systeme können die in Verbindung mit dem Containerhandling / dem Umschlag auftretenden Schallemissionen reduziert werden. Solche Systeme bzw. optimierten Spreader weisen im wesentlichen folgende Merkmale auf:

- Stoßdämpfer am Twistlockendbalken
- Hydraulikpumpen in geräuscharmer Ausführung
- Gepufferte Flipper (klappbare Zusatzeinrichtung zum zentrieren des Containers)
- Anschlagpuffer aus Gummi an der Oberseite der Teleskoparmführungen
- Ultraschallsensoren zur Anpassung der Senkgeschwindigkeit beim Aufsetzen des Spreaders auf den Container

In Verbindung mit dem Einsatz solch schalltechnisch optimierte Spreader lassen sich laut den Herstellerangaben Pegelminderungen von 2 dB(A) für das Teleskopieren und bis zu 23 dB(A) für die Anpassung der Senkgeschwindigkeit erzielen.

#### **Flurförderzeuge zum Wechselbrückentransport (Umsetzer-Lkw)**

Zum intermodalen Transport von Wechselbrücken und Aufliegern werden vielerorts Umsetzer-Lkw, welche auch unter dem Namen „MAFI“ oder „Wiesel“ bekannt sind, eingesetzt. In gleicher Weise wie bereits bei den vorherigen Messungen erfolgten hier, bei einem identischen Messaufbau, ebenfalls vergleichende Luftschallmessungen der Vorbeifahrt und des Handlings (hier von Wechselbrücken). Es erfolgten Messungen an einem „klassischen“ Umsetzer-Lkw mit Dieselantrieb sowie an einem modernen Umsetzer-Lkw mit Elektroantrieb.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



Abbildung 27: Umsetzer-Lkw mit Dieselantrieb (links) und mit elektrischem Antrieb (rechts) (Quelle: Duisburger Hafen)

Die obenstehende Abbildung zeigt die beiden Umsetzer-Lkw anhand derer die Messungen durchgeführt wurden.

Messort	Geräuschquelle	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFteq</sub>	L <sub>AF95</sub>	K <sub>i</sub>	SEL
		dB(A)				dB	dB(A)
A	1. Vorbeifahrt Diesel-MAFI mit Wechselbrücke	72,5	78,7	76,2	59,7	3,7	84,8
B		73,0	78,4	76,1	64,3	3,1	85,0
A	2. Vorbeifahrt Diesel-MAFI mit Wechselbrücke	72,1	78,3	75,7	63,3	3,6	84,4
B		72,4	78,8	76,8	62,9	4,4	84,1
A	3. Vorbeifahrt Diesel-MAFI mit Wechselbrücke	71,9	77,9	75,0	59,7	3,1	84,5
B		72,5	78,7	75,6	61,0	3,1	75,0
A	1. Vorbeifahrt E-MAFI mit Wechselbrücke	58,6	67,5	64,0	47,2	5,4	71,6
B		90,4	69,4	68,3	52,9	7,9	71,5
A	2. Vorbeifahrt E-MAFI mit Wechselbrücke	61,1	69,4	66,3	51,5	5,2	73,2
B		61,4	70,8	68,2	52,9	6,8	73,4
A	2. Vorbeifahrt E-MAFI mit Wechselbrücke	59,9	66,0	64,6	51,6	4,7	71,0
B		60,1	67,7	66,3	54,0	6,2	71,3

Tabelle 9: Ergebnisse Messung Diesel- und E-MAFI (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Die Messergebnisse in Tabelle 9 zeigen, dass die Umsetzer-Lkw mit elektrischem Antrieb im Mittel rund 12dB(A) geringere Vorbeifahrtspegel aufweisen im Vergleich zum klassischen Umsetzer-Lkw mit Dieselantrieb.

Auf Grundlage der Messergebnisse ergaben sich für den Umsetzer-Lkw („MAFI“) mit elektrischem Antrieb im Mittel rd. 12 dB(A) geringe Vorbeifahrtspegel im Vergleich zum klassischen Umsetzer-Lkw mit Dieselantrieb.

Die Ergebnisse der zeitgleich in den Abständen von 15 und 30 m durchgeführten Luftschallmessungen mehrere Aufnahme- und Absatzvorgänge von Wechselbrücken sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

Messort	Geräuschquelle	Messentfernung	L <sub>Aeq</sub>	L <sub>AFmax</sub>	L <sub>AFTeq</sub>	L <sub>AF95</sub>	L <sub>WATeq</sub>
		m	dB(A)				dB(A)
A	1. Handling Wechselbrücken mit Diesel-MAFI	15	66,9	82,0	74,2	63,5	98,4
B		30	61,7	77,0	67,7	58,9	99,2
A	2. Handling Wechselbrücken mit Diesel-MAFI	15	66,3	80,0	72,4	63,6	97,8
B		30	61,4	75,0	67,7	58,2	98,9
A	3. Handling Wechselbrücken mit Diesel-MAFI	15	66,3	72,0	69,2	64,3	97,8
B		30	61,6	66,1	64,2	59,2	99,1
A	1. Handling Wechselbrücken mit E-MAFI	15	59,5	71,9	66,6	47,4	91,0
B		30	56,8	68,2	65,4	45,8	94,3
A	2. Handling Wechselbrücken mit E-MAFI	15	60,1	72,4	67,1	49,7	91,6
B		30	55,6	68,1	62,8	47,6	93,1
A	3. Handling Wechselbrücken mit E-MAFI	15	58,5	67,7	64,8	50,0	80,0
B		30	55,3	65,1	61,6	49,0	92,8

Tabelle 10: Messergebnisse Handling von Wechselbrücken durch MAFI (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

Tabelle 10 zeigt, dass in Verbindung mit dem Wechselbrücken Handling mittels elektrisch betriebenen Umsetzer-Lkw im Mittel rund 6dB(A) niedrigere Werte gemessen wurden.

#### Akustische Rückfahrwarner

Die klassischen, der Sicherheit dienenden, u.a. bei Lkw, Reachstackern und Gabelstaplern zum Einsatz kommenden akustischen Rückfahrwarner sind durch einen deutlich hervortretenden Einzelton gekennzeichnet, welcher auch deutlich über den Gefahrenbereich hinaus hörbar ist. Zudem ist bei der Beurteilung solcher Geräuschquellen in den meisten Fällen bei einer schalltechnischen Bewertung ein Lästigkeitszuschlag für die

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Tonhaltigkeit von 3 oder 6 dB zu berücksichtigen. Der Lästigkeitszuschlag ( $K_i$ ) ist die Differenz zwischen dem Takt-Maximalpegel und dem Mittelungspegel.<sup>122</sup>

Zur Beurteilung der möglichen geringeren Immissionen moderner sogenannter „Breitbandwarner“, welche nicht mehr durch einen einzelnen hervortretenden Einzelton sondern durch ein breitbandiges Spektrum gekennzeichnet sind, erfolgten vergleichende Messungen beider Rückfahrwarnsysteme während der Rückwärtsfahrt dieselbetriebener Reachstacker.

Messort	Geräuschquelle	Messent- fernung	Mess- dauer	$L_{Aeq}$	$L_{AFmax}$	$L_{AFTeq}$	$L_{AF95}$	$L_{WAeq}$	$K_i$	$L_{WATEq}$
		m	sec	dB(A)					dB	dB(A)
Hinter Reachstack- er	Rückwärtsfahrt herkömmlicher Rückfahrwarner	4	50	92, 0	102,6	100,0	75,9	112,0	8, 0	120,0
Hinter Reachstack- er	Rückwärtsfahrt Breitband- Rückfahrwarner	4	18	80, 0	84,3	83,0	76,5	100,0	3, 0	103,0

Tabelle 11: Ergebnisse Messung Rückfahrwarner (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

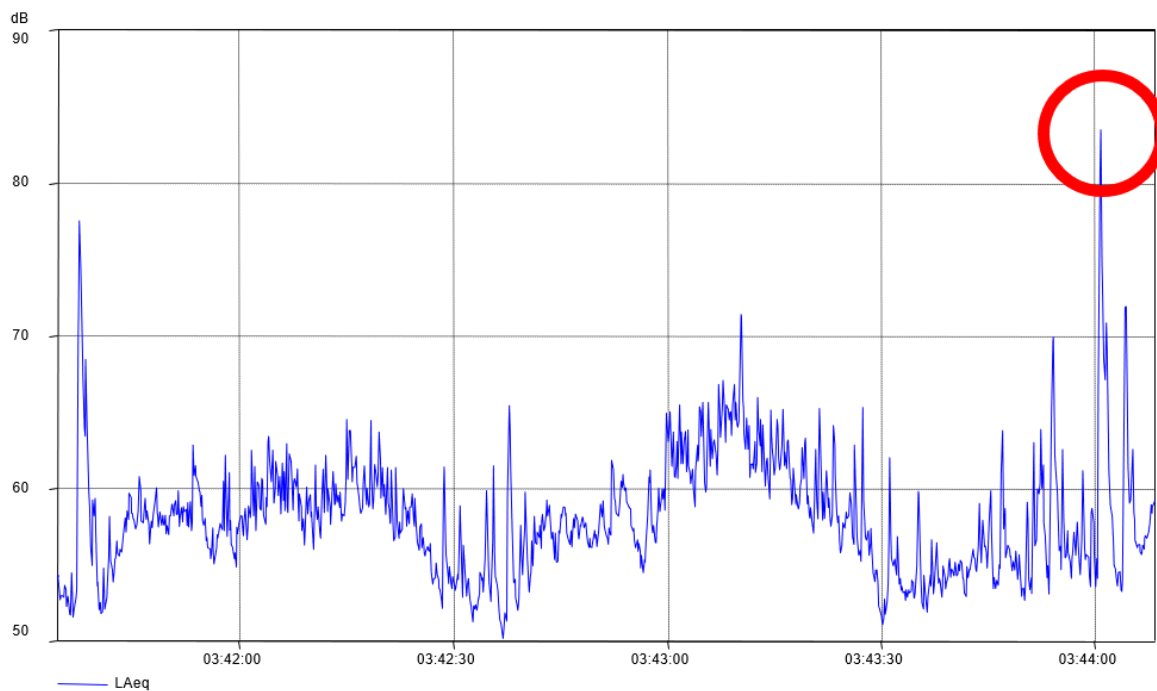
Wie in Tabelle 11 dargestellt hat sich gezeigt, dass die Geräuschemissionen des Breitbandwarners (inklusive Motorengeräuschen) deutlich niedriger sind als die klassischen Rückfahrwarner.

#### Containerverladung auf Schiffe

In Verbindung insbesondere mit der Containerbeladung von Schiffen mittels Portalkranen treten sowohl beim Kontakt „Container - Schiffsrumpf“ und „Container - Container“ stark impulshaltige Geräusche auf (Metall auf Metall).

<sup>122</sup> Fouad.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



**Abbildung 28: Pegelzeitverlauf Containerverladung auf Schiffe (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)**

Wie die Messergebnisse zeigen, lagen die höchsten Pegel insbesondere beim ersten Container (direkter Kontakt mit dem Schiffsrumpf) mit Maximalpegeln in einem Messabstand von rd. 90 m von bis zu rd. 82 dB(A) vor.

Durch den Einsatz moderner Lasergesteuerter Messsysteme, welche am Katzfahrwerk des Portalkrans montiert sind, wird bei der Überfahrt der gestapelten Container permanent ein aktuelles Höhenprofil der Container erzeugt und gleichzeitig wird durch die Laserscanner die Höhe der Last (Spreader mit oder ohne Container) gemessen.

Durch die relative Positionsmessung der Distanz zwischen den Objekten wird das Hubwerk so angesteuert, dass ein geräuschreduzierter Absetzvorgang (sog. „Softlanding“) beim Kontakt Spreader / Container, Container / Container, Container / Wagon oder Container / Lkw-Anhänger erfolgt.

#### **Schüttgutverladung**

In einem Importkohleterminal erfolgten Luftschallmessungen zur Ermittlung der in Verbindung mit der Verladung von Schüttgut (hier: Kohle und Koks) verbundenen Geräuschimmissionen. Es erfolgten Messungen der Schiffsentladung mittels Drehkran, dem Schüttguttransport über Förderbänder, der Klassierung über eine Siebanlage, Güterzug-Rangierfahrten sowie die Lkw-Beladung mittels Radlader.



3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



Abbildung 29: Verladung Schüttgut (Quelle: Duisburger Hafen)

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Geräuschquelle	Messdauer	Mess-entfernung	$L_{Ceq} - L_{Aeq}$	$L_{Aeq}$	$L_{AFmax}$	$L_{AFTeq}$	$L_{AF95}$
	min	m	dB(A)				dB(A)
Schiffsentladung mittels Kran	6	≈ 40	8,1	62,7	77,0	68,2	55,3
	8	≈ 40	10,0	61,3	79,9	67,9	54,1
	1,5	≈ 90	11,5	56,4	69,1	61,7	49,1
	2	≈ 90	11,9	57,1	73,0	63,5	51,1
Beladung Lkw durch Radlader mit Koks	8	≈ 20	6,4	89,9	102,3	85,6	51,7
Beladung Lkw durch Radlader mit Kohle	5	≈ 30	18,6	67,4	83,0	72,4	62,2
Förderbandanlage	1,5	≈ 20	9,2	63,8	69,3	65,5	62,3
Übergabestation Förderbandanlage	1	≈ 5	6,8	70,1	72,6	71,7	68,6
Siebanlage	3	≈ 20	9,5	72,9	83,9	76,5	57,6
Radlader	0,5	≈ 6	16,2	69,7	80,0	76,9	59,7
Vorbeifahrt Güterzug	1	≈ 10	13,3	66,2	67,7	66,9	65,6

Tabelle 12: Messergebnisse Verladung Schüttgut (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)

#### 3.5.5 Dauermessungen

Wie bereits erwähnt, erfolgten Dauermessungen im Bereich von zwei Messpositionen, zum einen im Bereich eines Containerterminals sowie im Einwirkungsbereich einer Hauptzufahrt zu einer Hafenanlage.

##### Messpunkt Containerterminal

Um Vandalismus bzw. Einfluss durch Dritte vermeiden zu können, mussten die Messungen im Bereich des Containerterminals auf dem Dach eines Containergebäudes im Bereich einer Lkw-Abstellfläche erfolgen. Nachfolgend ist die Aufstellsituation dargestellt (vgl. Abbildung 30).

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



Abbildung 30: Messpunkt Containerterminal (Dauermessung) (Quelle: Peutz Consult)

Eine für dieses Containerterminal durchgeführte schalltechnische Untersuchung kam zu dem Ergebnis, dass u.a. im Bereich der hierzu südlich gelegenen schutzwürdigen Wohnnutzungen die Errichtung von Lärmschutzwänden erforderlich ist. Im Bereich der beschriebenen Messpositionen erfolgten hierbei im Zuge der Dauermessung Messungen vor sowie nach Errichtung dieser Lärmschutzwände.

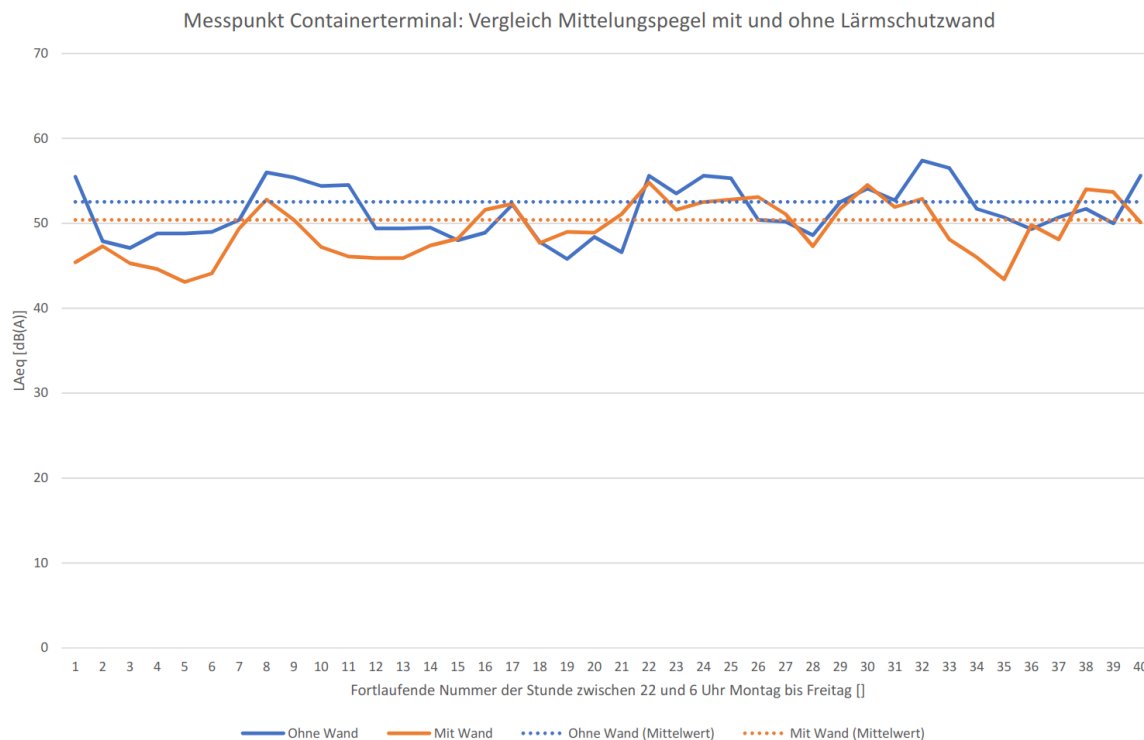
Die nachfolgenden Fotos zeigen Aufnahmen jeweils vor und nach Errichtung dieser Lärmschutzwände, die im Projektzeitraum errichtet wurden.



Abbildung 31: Messpunkt Containerterminal (Dauermessung): vor (links) und nach (rechts) Errichtung der Lärmschutzwand (Quelle: Peutz Consult)

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Das nachfolgende Diagramm zeigt die hier messtechnisch erfassten Pegelzeitverläufe im Vergleich der Messungen vor und nach Errichtung der Lärmschutzwand.



**Abbildung 32: Messpunkt Containerterminal: Vergleich Mittelungspegel mit und ohne Lärmschutzwand (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)**

Wie die im o.g. aufgeführten Diagramm dargestellten Messergebnisse zeigen, ergibt sich im direkten Vergleich vor und nach Errichtung der Lärmschutzwand eine Pegelminderung im Bereich der gewählten Messposition von etwa 3 dB. Die Messungen erfolgten in einer Messhöhe von rund 4,5 m über Geländeneiveau. Übertragen auf die zu schützende Wohnbebauung ist für die Erdgeschossbereiche davon auszugehen, dass hier noch höhere Pegelminderungen im Bereich von etwa 4 bis 5 dB(A) vorliegen.

Losgelöst von dieser messtechnischen Ermittlung der Wirksamkeit aktiver Schallschutzmaßnahmen, wie hier im Falle von Lärmschutzwänden, erfolgen ebenfalls Betrachtungen der Wirksamkeit von solchen Lärmschutzwänden rechnerisch für den virtuellen Hafen.

#### Messpunkt Hafeneinfahrt

An einer zweiten Dauermessposition erfolgten in einer Kleingartenanlage im Einwirkungsbereich einer Hauptzufahrt zu einer Hafenanlage, wie beschrieben, Messungen zur Ermittlung der hierdurch entstehenden Geräuschimmissionen der Lkw-Verkehre.

Nachfolgend ist ein Foto dieser Messposition dargestellt.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

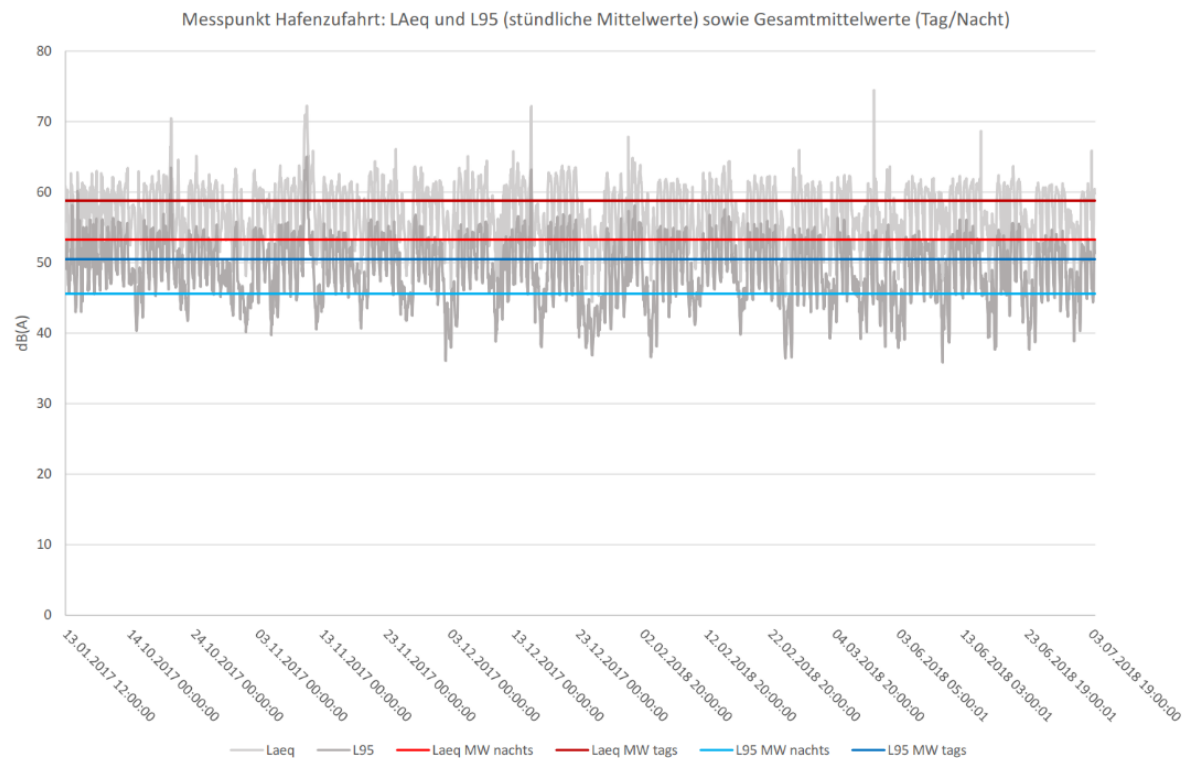


**Abbildung 33: Messpunkt Hafenzufahrt (Dauermessung) (Quelle: Peutz Consult)**

Die hier ebenfalls über einen längeren Messzeitraum messtechnisch erfassten Geräuschimmissionen sind im nachfolgenden Pegelzeitverlauf dargestellt.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



**Abbildung 34: Messpunkt Hafenzufahrt: LAeq und L95 sowie Gesamtmittelwerte (Quelle: Eigene Darstellung Peutz Consult)**

Wie Abbildung 34 zu entnehmen ist, ergaben sich an der zweiten Dauermessstation in Verbindung mit den Lkw-Verkehren äquivalente Dauerschallpegel von ca. 59 dB(A) zum Tageszeitraum (6-22 Uhr) und ca. 53 dB(A) zum Nachtzeitraum.

Durch die Lage der Messposition in der Nähe des Hafengebiets wird der Schallpegel bei Abwesenheit von Verkehrsgeräuschen durch die Geräusche aus dem Hafen maßgeblich beeinflusst. Somit lässt sich der durch das Hafengebiet hervorgerufene Schallpegel als Hintergrundpegel des maßgeblich durch Verkehrslärm beeinflussten Schallpegels an der Messposition beschreiben.

Als Näherung kann hierfür ein Perzentilpegel herangezogen werden. Im vorliegenden Fall wurde als Näherung zur Bestimmung des Hintergrundpegels der Perzentilpegel L<sub>95</sub> ausgewertet. Dieser beschreibt denjenigen Schallpegel, der zu 95% der Messzeit überschritten wurde. Die Auswertung des L<sub>95</sub> an der Messposition im Bereich der Hafenzufahrt ergab – wie im o.a. Diagramm erkennbar – Werte von ca. 50 dB(A) zum Tageszeitraum und ca. 46 dB(A) zum Nachtzeitraum.

### 3.6 Darstellung des lärmspezifischen Entwicklungspotenzials

Die Wahrnehmung von Häfen aus Sicht der Stadtentwicklung spiegelt sich in Konzepten und Berichten zur Stadtentwicklung von Städten wider. Zur Beantwortung der Frage, wie Binnenhäfen wahrgenommen werden, wurden daher verfügbare Stadtentwicklungskonzepte derjenigen zehn Städte untersucht, die über die größten Binnenhäfen Deutschlands verfügen. Informationen aus durchgeführten Expertengesprächen ergänzen die Angaben. Im Rahmen dieses Screenings konnten folgende Ergebnisse abgeleitet werden.

In allen untersuchten Konzepten wird die hohe wirtschaftliche und logistische Bedeutung des Binnenhafens herausgestellt. Für die Stadt Duisburg ist der Hafen „international bedeutendes Alleinstellungsmerkmal und Wettbewerbsvorteil, [der] als internationales Aushängeschild zunehmend eine bedeutende Rolle für die Entwicklung des Wirtschaftsstandorts“<sup>123</sup> übernimmt. Andere Städte betonen die grundsätzliche Bedeutung der Logistikwirtschaft sowie die mit dieser unmittelbar verbundenen arbeitsmarktpolitischen Bedeutung, ohne den Binnenhafen selbst herauszustellen (z.B. Stadt Neuss: „Die 110 ansässigen Firmen bieten zahlreiche Arbeitsplätze und sind daher für Neuss und seine Bewohner von großer Bedeutung.“<sup>124</sup>).

Die Darstellung der mit dem Binnenhafen verbundenen wirtschaftlichen Vorzüge erklärt kommunale Zielsetzungen, die den Erhalt oder Ausbau bestehender Hafenflächen vorsehen. So heißt es beispielsweise bei der Stadt Duisburg, dass geeignete Flächen für emittierende Nutzungen zu sichern und anzubieten sind, um Duisburg als Produktions-, Hafen- und Logistikstandort wettbewerbsfähig zu halten.<sup>125</sup> Dies soll durch Flächenmobilisierung auf „bereits genutzten oder untergenutzten Industrie- und Gewerbearealen“<sup>126</sup> geschehen, um die Ansiedlung weiterer gewerblicher Nutzungen zu ermöglichen. Ähnliche Darstellungen und Zielsetzungen zur räumlichen Entwicklungsperspektive des Binnenhafens spiegeln sich auch in Stadtentwicklungskonzepten anderer Städte wider. Allerdings steht dem Ausbau bestehender Hafensareale nur in Ausnahmefällen auch ein ausreichendes Flächenpotenzial gegenüber. In Hamburg werden Handlungsbedarfe „bei der Bereitstellung spezieller, auf die Anforderungen [...] zugeschnittenen Flächenangebote“<sup>127</sup> gesehen und auch die Stadt Karlsruhe betont, dass „die Weiterentwicklung der Rheinhäfen [...] stark] von der mangelnden Flächenverfügbarkeit begrenzt“<sup>128</sup> wird. Zielformulierungen in Stadtentwicklungskonzepten, die den Hafenausbau vorsehen, bleiben auf einer allgemeinen Ebene. Konkrete Zielaussagen finden sich in vertiefenden Fachkonzepten, die das Thema Logistik oder Hafenswirtschaft schwerpunktmäßig beleuchten.

Emissionsbedingte Nutzungskonflikte im direkten Hafenumfeld werden im Rahmen von Stadtentwicklungskonzepten benannt, aber nur selten bewertet. Die Darstellung des Hafens beruft sich vielmehr auf dessen gesonderte Zweckbestimmung. Die Stadt Neuss formuliert hierzu, dass „aufgrund der speziellen Funktion des Gebietes mit seinen Gewerbe- und Industriebetrieben [...] Wohngebäude hier nicht erwünscht und zweckmäßig“<sup>129</sup> sind. Konfliktpotenziale durch Hafenslärm werden benannt, wenngleich die Lärmbelastung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm als größeres Problem identifiziert wird. Demgegenüber deuten Forderungen nach einem „Mindestmaß gegenseitiger Toleranz und der Hinnahme eines gewissen Maßes an Störungen im Gegenzug zu den Vorteilen, die durch ein lebendiges Wohnumfeld, die mögliche Arbeitsplatznähe oder eine

---

<sup>123</sup> Stadt Duisburg. Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement 2016.

<sup>124</sup> Scheuvs et al. 2011.

<sup>125</sup> Stadt Duisburg. Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement und Projekt Duisburg2027 2014.

<sup>126</sup> Stadt Duisburg. Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement 2016.

<sup>127</sup> Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt 2007.

<sup>128</sup> Stadt Karlsruhe. Amt für Stadtentwicklung 2012.

<sup>129</sup> Scheuvs et al. 2011.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

großartige Hafenkulisse gegeben sind“<sup>130</sup> auf eine Relativierung hafenbezogener Störungen hin. Weitergehende Formulierungen veranschaulichen, wie Binnenhäfen zum Imagegewinn einer Stadt beitragen können und klammern Probleme nahezu vollständig aus: „Auch wenn es hier mitunter lärmt und wenig geordnet erscheint, so liegt im rauen, umtriebigen Hafengeschehen doch ein gewisser Reiz“<sup>131</sup>.

Emissionsbedingte Konflikte durch Hafelärm spielen aus Sicht der Stadtentwicklungsplanung grundsätzlich eine wichtige Rolle, wenngleich den Themen Schienen- und Straßenverkehrslärm eine höhere Bedeutung zukommt. Zielsetzungen zur Lärminderung erfolgen lärmquellenübergreifend und haben allgemeingültigen Charakter. Auf eine Benennung einzelner Lärmschutzmaßnahmen wird im Rahmen der untersuchten Stadtentwicklungskonzepte zumeist verzichtet und stattdessen auf die Ausarbeitung innerhalb der Lärmaktionspläne verwiesen.

Für die Darstellung des lärmspezifischen Entwicklungspotenzials wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein Hafengesamtbild mit den lärmspezifischen Entwicklungspotenzialen entwickelt. Hierfür wurde in Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten Partner ein virtueller Hafen entwickelt auf Basis dessen die Prozesse, Lärmquellen und zugehörige Lärminderungsmaßnahmen dargestellt werden. Durch die Diversität des Konsortiums sind verschiedene Sichtweisen auf den Binnenhafen in die Entwicklung des virtuellen Hafens eingeflossen, so dass ein perspektivisches Gesamtbild entstanden ist, das die Sichtweisen verschiedener Akteure widerspiegelt. Aufgrund der Sensibilität der Lärmthematik, ist ein virtueller Hafen entwickelt worden, an dessen Beispiel typische Binnenhafenprozesse dargestellt und Lärminderungspotenziale aufgezeigt werden können.

Der virtuelle Hafen stellt, ohne sich direkt auf einen existierenden Hafen zu beziehen, beispielhaft einen Binnenhafen dar. In diesem ist eine trimodale Anbindung gegeben und der Umschlag verschiedener Güter (Container, Schüttgut, Flüssiggut) ist möglich. Am Beispiel des virtuellen Hafens sollen Lärmquellen und Lärmmaßnahmenbündel aufgezeigt und Insellösungen präsentiert werden. Durch Modellberechnungen wurden Isophonenkarten für den virtuellen Hafen entwickelt, die die Auswirkungen von Lärmmaßnahmen darstellen. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der Lärmmessungen im Rahmen des Projekts für die Erstellung der Isophonenkarten des virtuellen Hafens herangezogen, um so die in der Praxis ermittelte schalltechnische Realdaten mit einfließen zu lassen. Das Grundmodell des virtuellen Hafens ist in Abbildung 35 dargestellt.

---

<sup>130</sup> Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt 2007.

<sup>131</sup> Stadt Mannheim. Dezernat für Planung, Bauen, Umweltschutz und Stadtentwicklung 2008.



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



**Abbildung 35: Grundmodell virtueller Hafen (Quelle: Fraunhofer IML)**

Der virtuelle Hafen zeigt modellhaft die typischen Merkmale eines Binnenhafens und die daraus resultierenden möglichen Nutzungskonflikte.

Im nordwestlichen Teil des Hafengebietes des „virtuellen Hafens“ wurde eine logistische Nutzung mit Handel bzw. Lagerung von Stahl berücksichtigt. Bei den hiermit verbundenen berücksichtigten relevanten Geräuschquellen handelt es sich zum einen um die Umschläge von Metallhalbzeugen in einer Betriebshalle bei im Wesentlichen geschlossenen Toren sowie eine Gleisanbindung mit dem Warenumschlag auf Güterzüge. Weiterhin finden auf dem Geländefreibereich Lagertätigkeiten mittels Gabelstapler statt. Weiterhin finden auf dem Betriebsgeländefreibereich Fahrt- / Rangier- / Abstellvorgänge von Lkw sowie Fahrt- / Parkvorgänge von Pkw statt, sowie innerhalb der Halle Beladevorgänge von Güterzügen. Berücksichtigt wurden hierbei für die beschriebenen Nutzungen auf Grundlage der Erfahrung vergleichbarer Projekte die hierfür typischen Nutzungsdauern bzw. Frequentierungen sowohl zum Tages- (06.00 bis 22.00 Uhr) als auch zum Nachtzeitraum (22.00 bis 06.00 Uhr).

Östlich der unter oben beschriebenen Logistiktätigkeit wurden innerhalb des „virtuellen Hafens“ vier logistische Nutzungen mit den hier in Verbindung mit der Warenkommissionierung innerhalb sowie außerhalb der Halle stattfindenden Tätigkeiten berücksichtigt. Hierbei handelt es sich zum einen um die innerhalb der Hallen zum Tages- und Nachtzeitraum durchgehend stattfindenden logistischen Tätigkeiten (Warenkommissionierung mit Elektrostaplern oder Handhubwagen) sowie um die über Ladedocks mit umlaufender Torrandabdichtung stattfindenden Beladevorgänge von Lkw. Die in Verbindung mit den Ladetätigkeiten ebenfalls stattfindenden Fahrt- / Rangier- / Abstellvorgänge von Lkw sowie Fahrt- / Parkvorgänge von Pkw wurden hier ebenfalls mit einer nutzungstypischen Frequentierung für den Tages- und Nachtzeitraum berücksichtigt.

Im westlichen Teil der eigentlichen Hafenmole des „virtuellen Hafens“ wurde unmittelbar unterhalb der beschriebenen logistischen Nutzungen ein Container-Terminal berücksichtigt. In Verbindung mit diesem Container-Terminal finden mit nutzungstypischen Frequentierungen zum Tages- und Nachtzeitraum Ein- / Ausfahrten von Containerschiffen, Fahrt- / Rangier- / Abstellvorgänge von Lkw, eine Gleisanbindung mit Güterzugverkehren sowie Fahrt- / Parkvorgänge von Pkw statt. Weiterhin wurden hier Fahrtbewegungen sowie

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Umsetzvorgänge von Containern mittels Reachstackern berücksichtigt. Ebenfalls wurde hier der Containerumschlag mittels Portalkran von und auf Schiffe, Lkw sowie Züge angesetzt.

Unmittelbar östlich des Container-Terminals wurde innerhalb des „virtuellen Hafens“ ein Schüttgut-Terminal berücksichtigt. In Verbindung hiermit finden mit einer teilweisen Nachtnutzung die Ein- / Ausfahrt von Frachtschiffen, deren Löschung bzw. Beladung von Schüttgütern mittels Drehkran sowie der innerbetriebliche Transport über Förderbänder bzw. Aufkippbänder statt. Zusätzlich wurden weitere innerbetriebliche Transportvorgänge von Schüttgütern mittels Radlader sowie Reinigungsvorgänge mittels Bobcat berücksichtigt. Fahrt- / Rangier- / Abstellvorgänge von Lkw wurden ebenfalls eingebaut.

Im Bereich der östlichen Hafenmole wurde innerhalb des „virtuellen Hafens“ ein Metall-Terminal mit dem Umschlag von Metallhalbzeugen über eine die Hafenmole überkragende Betriebshalle berücksichtigt. Neben den Ein- / Ausfahrten von Containerschiffen wurde hier die Be- / Entladung der Schiffe, die in Verbindung hiermit ebenfalls stattfindenden Freiflächentätigkeiten (Umladen von Stahlhalbzeugen) sowie Fahrt- / Rangier- / Abstellvorgängen von Lkw berücksichtigt. Für diese beschriebenen Tätigkeiten wurden hier ebenfalls nutzungstypische Frequenzen zum Tages- und Nachtzeitraum angesetzt.

Der virtuelle Hafen verfügt über eine trimodale Anbindung mittels Schiene, Straße und Wasserstraße. Somit wurden verschiedene Lärmquellen durch Verkehrsmittel und –träger beachtet. Des Weiteren wurde der Wohnbebauung, die oftmals in der Nähe zum Binnenhafen liegt, Rechnung getragen.

### 3.7 Trendanalyse

Ein Trend bezeichnet „die grundsätzliche Richtung einer Entwicklung [...] von der eine gewisse Konstanz und Nachhaltigkeit angenommen werden kann“.<sup>132</sup> Trenddefinitionen unterscheiden sich hinsichtlich des Zeitbezugs. Zu langfristigen (globalen) Trends zählen sogenannte Meta- und Megatrends, wohingegen Modetrends kurzfristigen Charakter haben.<sup>133</sup> Letztere sind nicht Bestandteile nachfolgender Ausführungen.

Sowohl für die jüngste Vergangenheit als auch für die nächsten Jahre ist von einer deutlichen Zunahme des weltweiten Transportaufkommens auszugehen (vgl. Abbildung 36). Belief sich das weltweite Containeraufkommen zu Beginn der achtziger Jahre noch auf rd. 50 Millionen Tsd.€, so stieg es zu Beginn des 21. Jahrhunderts auf über 200 Millionen Tsd.€ an. Entwicklungen der jüngeren Vergangenheit deuten ebenfalls auf eine deutliche Ausweitung des Welthandels sowie des gestiegenen weltweiten Containeraufkommens hin. Mit Hilfe des vom RWI / ISL errechneten Containerumschlag-Index, in den die Angaben zum Containerumschlag von mehr als 82 internationalen Häfen eingehen, auf die rund 60 Prozent des weltweiten Containerumschlags entfallen, lässt sich für den Zeitraum 2007 bis 2017 ein insgesamt positives Wachstum konstatieren. Die Steigerung des Transportaufkommens begründet sich einerseits durch „Produktionsverlagerungen in Niedriglohnländer, die Just-in-time-Produktion sowie weltweite Einkaufs- und Vertriebsstrategien der Industrie“.<sup>134</sup> Andererseits tragen der „gestiegene Export deutscher Investitionsgüter und Recyclingmaterialien, vor allem nach Südostasien und Osteuropa, als auch der Import in Asien produzierter Konsumartikel zu einem dynamischen Anstieg des Warenumschlags bei“<sup>135</sup>.

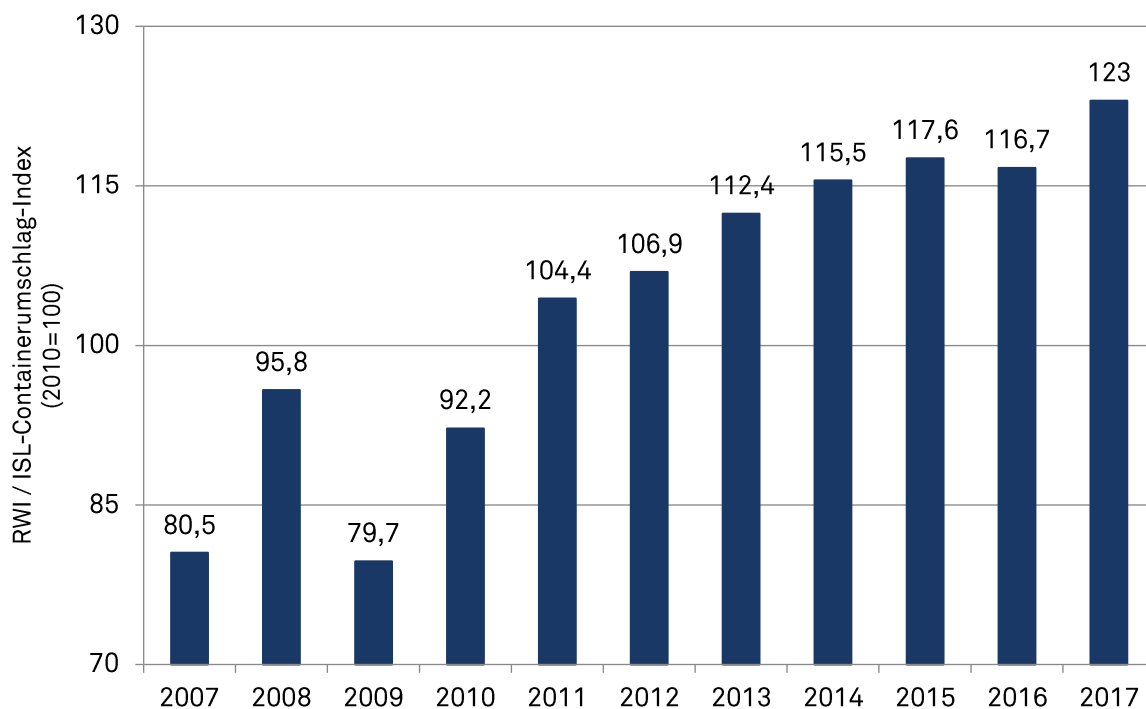


Abbildung 36: Entwicklung des RWI / ISL-Containerumschlag-Index (Quelle: SSR auf Grundlage von RWI)

<sup>132</sup> Pepels und Aretz 2008, S. 230.

<sup>133</sup> Aretz 2008, S. 230–231.

<sup>134</sup> Hautz 2008, S. 43.

<sup>135</sup> Hautz 2008, S. 43.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

Die Zahlen verdeutlichen das rasante globale Güterwachstum und Deutschlands bedeutende Rolle als Logistikstandort. Umschlags- und Transportlogistik stellen heute allerdings nur einen Teil des Leistungsspektrums von Binnenhäfen dar. Sie sind auch Standorte industrieller Wertschöpfung und Kreislaufwirtschaft. Ihr breites Leistungsspektrum erstreckt sich zunehmend auf die Lagerung, Weiterverarbeitung und Veredelungsprozesse. Logistikunternehmen übernehmen heute im Gegensatz zu früher vermehrt Teilprozesse innerhalb der Produktionskette, wie z.B. Kommissionierung von Waren oder Endmontage bzw. Installationstätigkeiten (Value Added Services“). Demzufolge verändern sich auch Anforderungsprofile an die im Hafen beschäftigten Mitarbeiter. Binnenhäfen sind heute weit mehr als trimodale Logistkdrehscheiben. Sie sind zunehmend bedeutender Wirtschaftsstandort und wichtiger Impulsgeber für Arbeitsmarkt und Beschäftigung.

Angesichts des stetig wachsenden Containerumschlags stehen Häfen vor der „größten Herausforderung ihrer Geschichte“.<sup>136</sup> Den Häfen stünden „gravierende Veränderungen im Wachstumsmarkt der Transport-, Verkehrs-Logistik- und Distributionsdienstleistungen“ bevor, wobei hiervon insbesondere Häfen betroffen sind, die durch ihre Lage im Landesinneren wenige Ausweichmöglichkeiten, z.B. durch zusätzliche Landgewinnung, haben. Produktionssteigerungen oder technologische Veränderungen können die zusätzliche Umschlagmenge nicht mehr kompensieren, weshalb zusätzliche Flächen und finanzielle Ressourcen für den Hafenausbau erforderlich werden.<sup>137</sup>

Diese und weitere Trends mit thematischem Bezug zum Leisen Hafen, wurden in vier Oberkategorien aufgeschlüsselt.

- Gesellschaft & Politik
- Technik
- Digitalisierung & Vernetzung
- Transport

Jeder Trend ist sowohl kurz beschrieben als auch durch die Projektpartner anhand verschiedener Kriterien bewertet worden. Der Einfluss des Trends auf die oben dargestellten Akteure im Binnenhafen ist mit Hilfe einer 5 Punkte Skala dargestellt. Hierdurch wird deutlich, welche Akteure von dem Trend betroffen sind und Auswirkungen durch diesen zu erwarten haben. Es lässt sich somit auch leichter ableiten, für welche Akteure ein Handlungsbedarf durch den Trend entsteht. Die Auswirkungen beschreiben in wieweit der Trend Relevanz für den Leisen Hafen hat und diesen direkt beeinflusst. Das Lärminderungspotenzial gibt an, ob der jeweilige Trend über lärmindernde Potenziale verfügt oder ob die Lärmproblematik durch Durchsetzung des Trends gegebenenfalls verstärkt wird. Das letzte Kriterium zur Bewertung der Trends ist die qualitative zeitliche Einordnung des Trends. Dieser beschreibt, wann der Trend voraussichtlich in Bezug auf den Leisen Hafen umgesetzt wird.

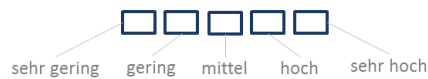
---

<sup>136</sup> Hautz 2008, S. 44.

<sup>137</sup> Hautz 2008, S. 44–47.

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

- Einfluss auf Akteure
  - Beschrieben durch Füllgrad der Kästen



- Piktogramme Akteure:



Abbildung 37: Bewertungschema der Trends nach Einfluss auf die Akteure (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

#### 3.7.1 Gesellschaft und Politik

##### Urbanisierung (M)

Kurzbeschreibung	Einfluss auf Akteure
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verstädterung und damit verbundener steigender Wohnbedarf in Ballungszentren</li> <li>- Ausbreitung städtischer Lebensformen</li> </ul>	
Auswirkungen auf Binnenhäfen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Annäherung/ Vermischung der Wohnbebauung mit industrieller/ gewerblicher Nutzung</li> <li>- Zunehmende Nutzungskonflikte zwischen Hafen und Stadtentwicklung</li> <li>- Bedeutung der Lärmproblematik für Binnenhäfen nimmt zu</li> </ul>	

Abbildung 38: Trendbeschreibung Urbanisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Florian Weis 2018))

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Klimawandel (M)

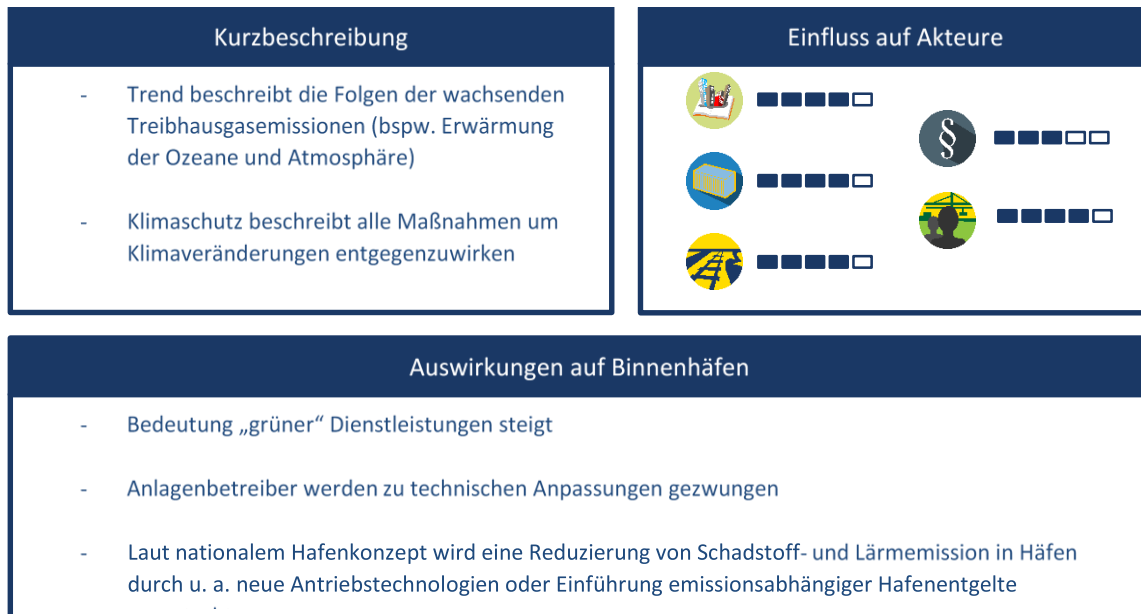


Abbildung 39: Trendbeschreibung Klimaschutz (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2017; Die Bundesregierung 2015))

#### Globalisierung (M)



Abbildung 40: Trendanalyse Globalisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Globalisierung Fakten 2017; Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; Internationales Transportforum 2015 2015))

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Social Networked Industry

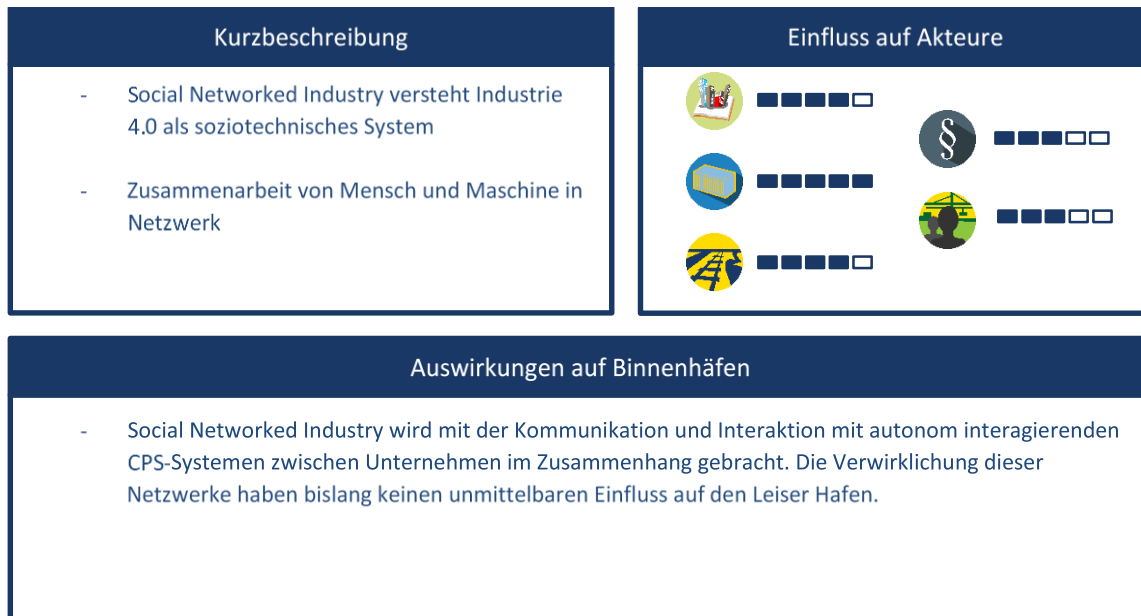


Abbildung 41: Trendanalyse Social Networked Industry (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Fraunhofer IML 2017))

#### 3.7.2 Technik

#### (Hoch)-automatisiertes Fahren

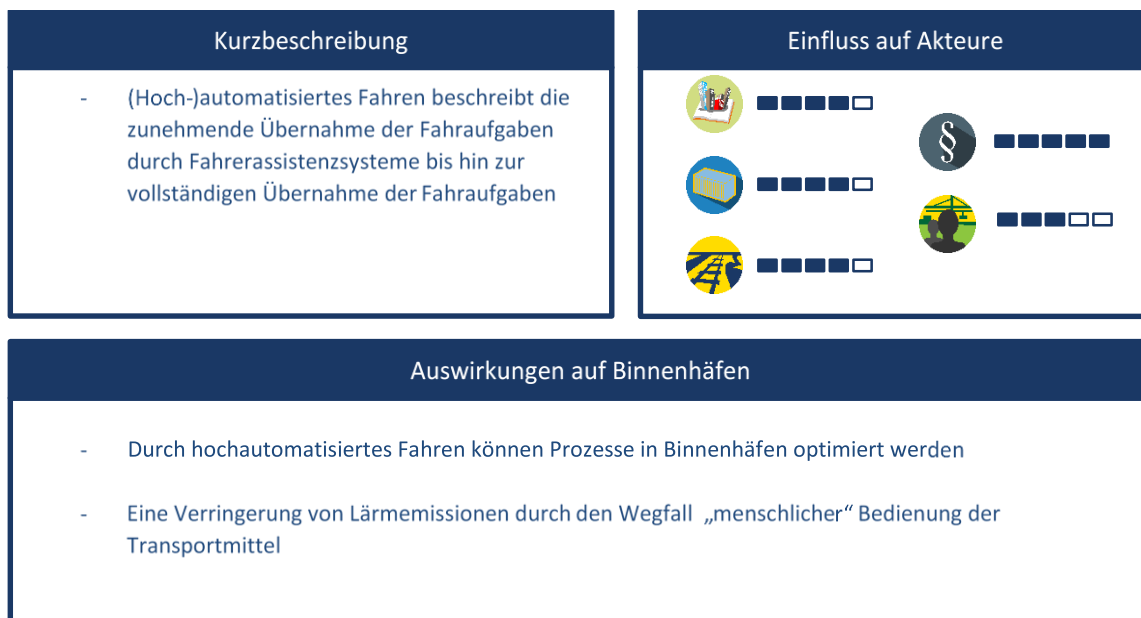


Abbildung 42: Trendanalyse Autonomes Fahren (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Daimler AG 2018))

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Alternative Antriebe

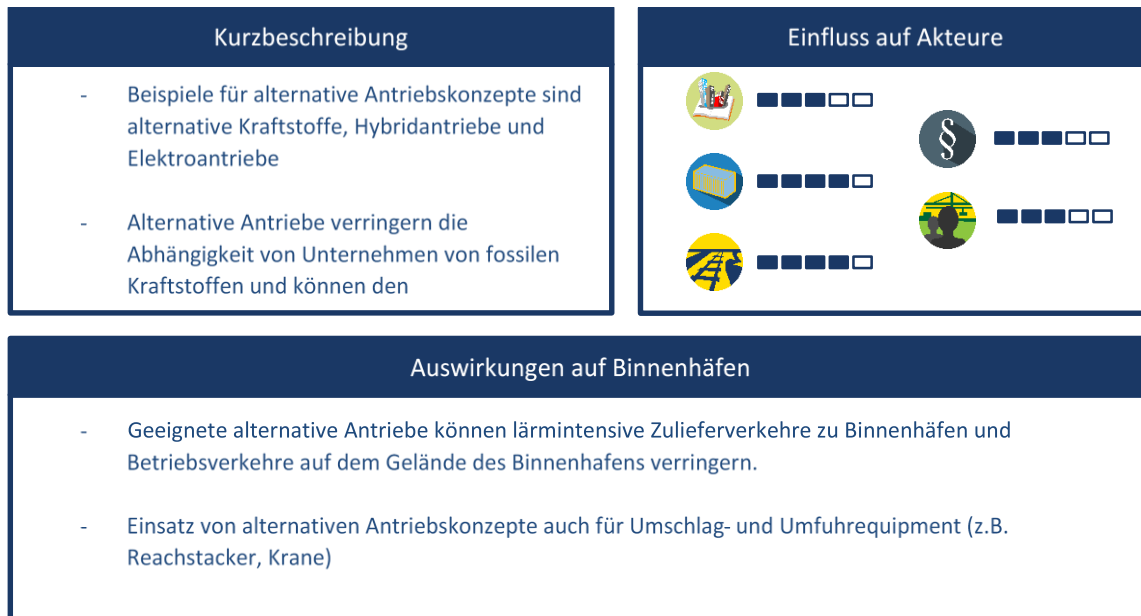


Abbildung 43: Trendanalyse alternative Antriebe (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. 2018))

#### Automatisierung

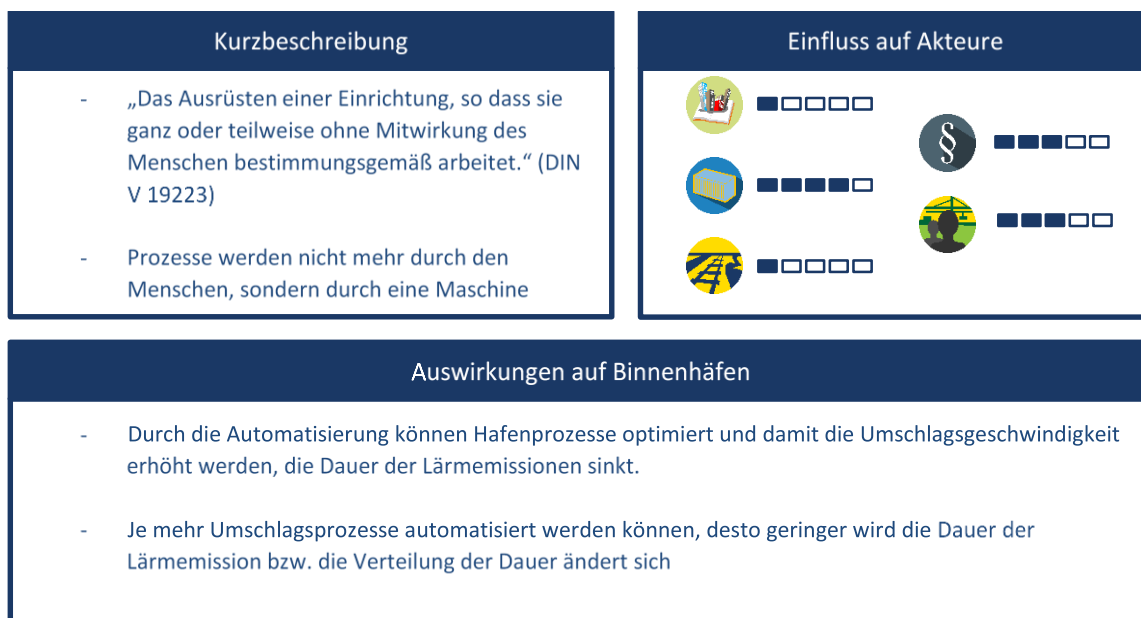


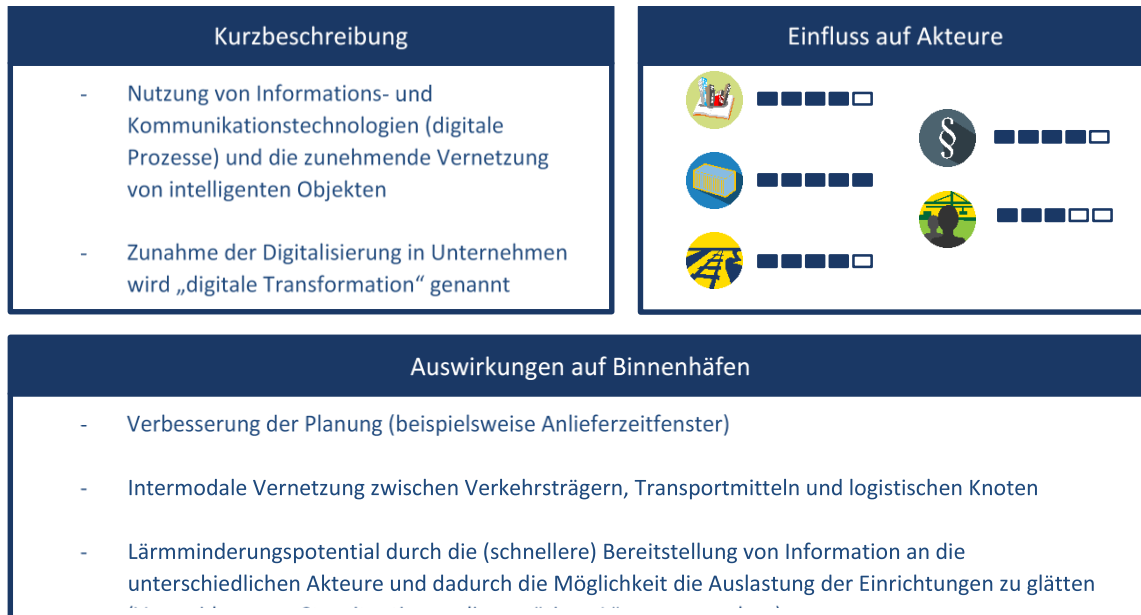
Abbildung 44: Trendanalyse Automatisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (DIN ISO 9631-2; Gabler Wirtschaftslexikon 2017; DIN V 19233))



### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### 3.7.3 Digitalisierung und Vernetzung

##### Digitalisierung (M)



**Abbildung 45: Trendanalyse Digitalisierung (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Götter 2016; STH-Systeme 2016; Die Bundesregierung 2015))**

##### Cyber-physische-Systeme



**Abbildung 46: Trendanalyse Cyber-physische-Systeme (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (VDI / VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik 2013))**

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Smart City Konzept

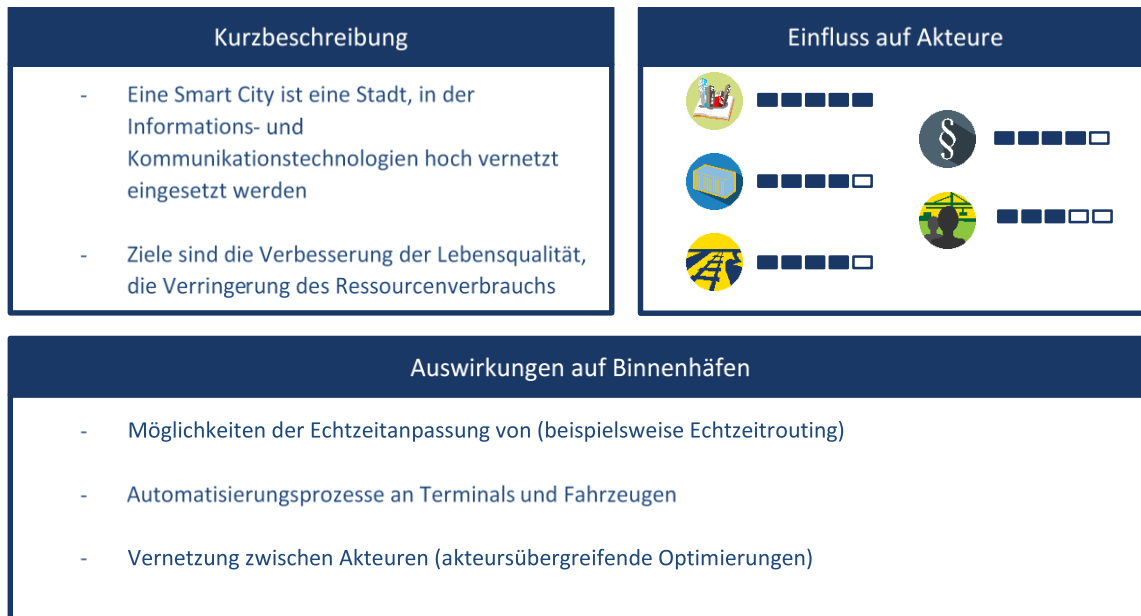


Abbildung 47: Trendanalyse Smart City Konzepte (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Wiener Stadtwerke 2017))

#### Smart Data Analysis

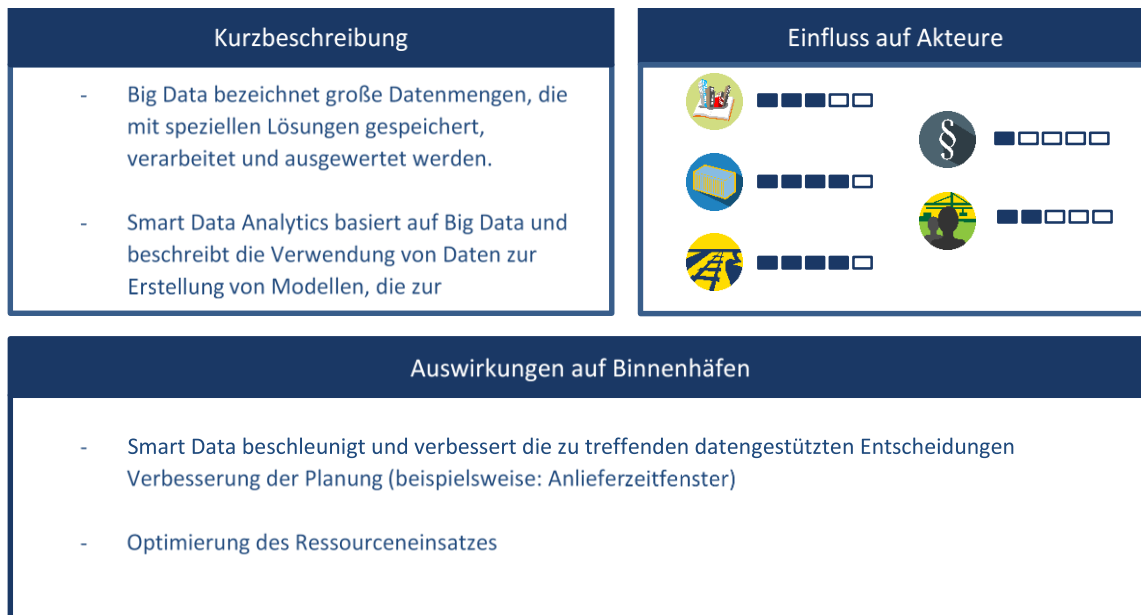


Abbildung 48: Trendanalyse Smart Data Analysis (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Renger 2018; Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017; Jähnichen 2015; Henkel 2017))

#### 3.7.4 Transport

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen

#### Synchromodalität



Abbildung 49: Trendanalyse Synchromodalität (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Fraunhofer IML 2018; PTV Group 2013))

#### Nachtlogistik

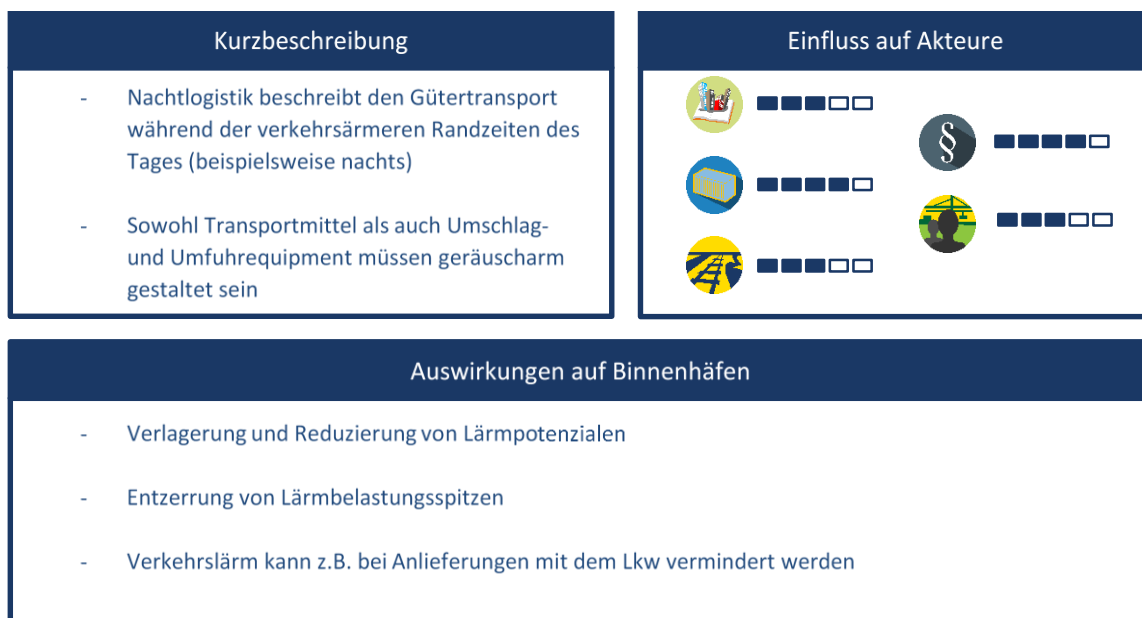


Abbildung 50: Trendanalyse Nachtlogistik (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (GeNaLog 2017))

#### Güterstruktureffekte

### 3 Ist-Analyse der Prozesse im Hafen



Abbildung 51: Trendanalyse Güterstruktureffekte (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Academic 2017b))

### Dominanz containerisierter Verkehr

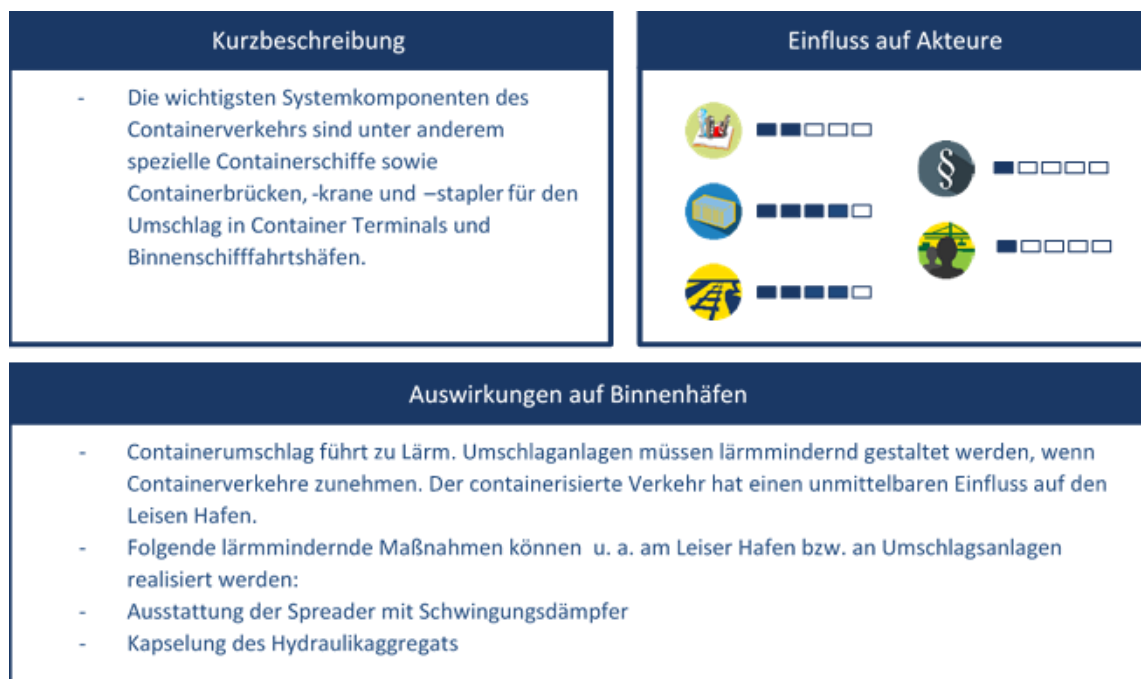


Abbildung 52: Trendanalyse Dominanz containerisierter Verkehr (Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an (Gabler Wirtschaftslexikon 2018b; Behörde für Umwelt und Energie Hamburg 2014))

## 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Ziel dieses Kapitels ist die Aufnahme und Analyse von relevanten Lärmschutzmaßnahmen und -projekte. Ebenfalls sollen die Anforderungen seitens der Gesetze und Verordnungen dargestellt sowie die Zuständigkeiten identifiziert werden. Auch sollen neue Trends und Technologien analysiert und ihre Auswirkung auf den Binnenhafen dargestellt werden.

### 4.1 Erkenntnisse aus Forschungsprojekten und Seehäfen

Im folgenden Kapitel werden Studien, Berichte und Forschungsarbeiten dargestellt, die sich mit dem Thema Lärm in Häfen beschäftigen. Diese Studien beziehen sich sowohl auf durch Verkehr als auch durch den Betrieb von Binnenhäfen verursachten Lärm. Es wurden ausschließlich Studien aus dem europäischen Raum betrachtet, da diese sich auf ähnliche Lärmschutzrichtlinien beziehen.

#### Noise as an environmental challenge for ports

Im Forschungsprojekt „Noise as an environmental challenge for ports“ des Transport Research Institute (TFK) in Stockholm wurde eine Analyse des Hafenlärms in den „Penthalon – Ports of Stockholm, Helsinki, Tallinn, Turku and Naantali – together“ (PENTA) Häfen durchgeführt. Hierbei handelt es sich um Seehäfen, mit dem Fokuskriterium der Analyse auf Umschlag- sowie Straßenlärm. PENTA besteht aus den Häfen von Stockholm, Helsinki, Tallin Turku und Naantali.<sup>138</sup> Im baltischen Raum werden Häfen rechtlich wie Industriegebiete gesehen.<sup>139</sup> Der Forschungsreport beschäftigt sich unter anderem mit der Fragestellung wie in den betroffenen Häfen mit Lärm umgegangen wird und wie dieser analysiert werden kann, um ein effektives Lärmmanagement umzusetzen. Die Analyse zeigt, dass die empfundene Lärmproblematik abhängig von der geografischen Lage, der Topografie und der Art des Hafens ist. Die wichtigsten Lärmquellen, die durch Interviews mit Hafenvertretern herausgefunden wurden sind

- Maschinen
- An- / Abfahrt von Lkw
- Schienenverkehr
- Rampen zwischen den Schiffen
- Umschlagsarbeiten
- Schiffe<sup>140</sup>

Bei der An- und Abfahrt der Lkw zum Hafen wurde festgestellt, dass für die Beseitigung des Lärmproblems ein funktionierendes Routing System notwendig ist. Die Studie erarbeitet auch einige Maßnahmen zur Lärmreduzierung im Straßenverkehr. Diese kann beispielsweise durch eine Lenkung durch andere Stadtteile, Tunnel, Geschwindigkeitsbegrenzungen und Schlangenvermeidungssystemen erreicht werden.<sup>141</sup>

---

<sup>138</sup> Transport Research & Innovation Portal 2017b.

<sup>139</sup> TFK Transport and Research Institute 2013, S. 4.

<sup>140</sup> TFK Transport and Research Institute 2013, S. 17–18.

<sup>141</sup> TFK Transport and Research Institute 2013, S. 23–24.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

##### Residential exposure to port noise

In der Studie „Residential exposure to port noise“ wird die Lärmbelastigung des Hafens Dublin auf umliegende Gebäude analysiert. Hierbei handelt es sich um einen Seehafen bei dem der Umschlagslärm im Fokus steht. Es wird darauf verwiesen, dass es (Stand 2012) wenig Literatur zur Lärmbeeinträchtigung durch Hafenprozesse gibt.<sup>142</sup> Die Studie hat ergeben, dass die Lärmgrenzwerte im Hafen deutlich über den durch die EU festgelegten Grenzwerten liegen. Besonders bei Nacht ist der Lärm im Hafen höher als erlaubt.

In der Studie wurden folgende Hauptlärmmitteln ausgemacht:

- Bewegung von Kranen auf Schienen
- Rückfahrsignale die Krane
- Motoren
- Schläge beim Entladen von Containern
- Fahrzeugbewegung zur Unterstützung der Be- und Entladung von Containern<sup>143</sup>

Die Untersuchungen der Studie lassen außerdem vermuten, dass ein Lärmproblem im tieffrequenten Bereich existiert, was jedoch nicht weiter erforscht wurde.<sup>144</sup>

##### Good Sound

Das Projekt „Good Sound“, das in Zusammenarbeit von duisport, SGKV und Tobies durchgeführt wurde, hatte die Reduktion von Schallemissionen bei der Kranung im Hafen zum Ziel.<sup>145</sup> Das Projekt wurde Anfang 2014 gestartet und Ende 2015 fertiggestellt. Im Fokus des Projektes lag der Umschlagslärm im Binnenhafen. Es wurde herausgefunden, dass Geräuschspitzen beim Umschlag ein großes Konfliktpotenzial beherbergen und dass die Reduktion der Lärmquellen zu einer erhöhten Akzeptanz des Kombinierten Verkehrs führen könnte. Ziel des Projektes war es, Schallemissionen zu reduzieren und die Akzeptanz von KV-Terminals zu erhöhen.

Die Lärmquellen der Krananlage wurden in mehreren Schritten (Expertenmeinung, Messungen und Subjektive Wahrnehmung) analysiert. Die Ergebnisse sind mit absteigendem Störgrad wie folgt:

- Warnsignalton der Krane
- Containerabstellgeräusch
- Bremsgeräusch auf Schienen
- Antriebsgeräusch der Krananlage
- Heben und Senken der Container<sup>146</sup>

Zur Erreichung dieses Ziels wurden folgende vier Lösungsansätze verfolgt:

- Reduktion der Lärmemission durch baulich-technische Maßnahmen
- Identifikation der subjektiv empfundenen Störgeräusche bei Kranungsprozessen
- Erprobung und Validierung im Kranlabor

---

<sup>142</sup> Murphy und King 2012, S. 3.

<sup>143</sup> Murphy und King 2012, S. 4.

<sup>144</sup> Murphy und King 2012, S. 6.

<sup>145</sup> Good Sound 2016b.

<sup>146</sup> Good Sound 2016a.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

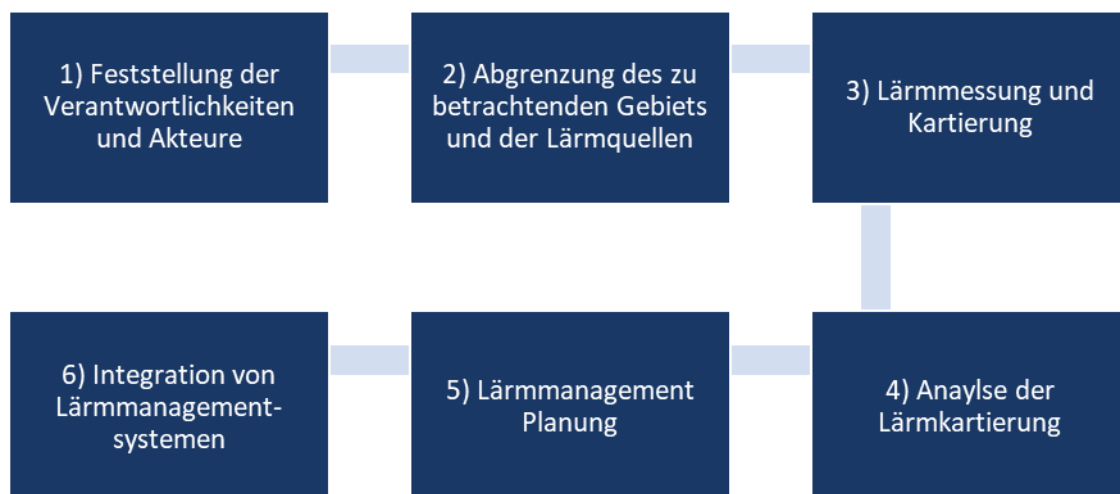
- Entwicklung von wirtschaftlichen sekundären Schallschutzmaßnahmen

Ergebnisse bestanden in der Identifikation und Bewertung relevanter Geräuschquellen (u.a. Warnsignalton, Aufsetzgeräusche des Spreaders auf Container, Motoren und Hydraulikaggregate sowie Handlingsgeräusche). Die im Projekt entwickelten Maßnahmen haben ausschließlich einen technischen Charakter und setzen an den identifizierten Geräuschquellen an.

##### noME Ports

Ziel des EU Projekts „Noise Management in European Ports“ (NoME Ports) war die Ausarbeitung eines Lärmkartierungs- und Lärmmanagementsystems für industrielle Hafengebiete. Das Projekt wurde von 2005-2008 durchgeführt und bezieht sich ausschließlich auf Seehäfen und mit Fokus auf Umschlag- und Straßenlärm.<sup>147</sup> Die Ergebnisse sind in einem Good-Practice-Guide festgehalten, der öffentlich verfügbar ist.

Der Good-Practice-Guide empfiehlt ein sechsstufiges Verfahren, um den Lärm im Hafen zu analysieren und Lärmkartierungen und –management durchführen zu können. Die folgende Abbildung zeigt das durch das Projekt erarbeitete Vorgehen.



**Abbildung 53: Verfahren für Lärmmanagement und Lärmkartierung (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an NoME Ports; van Breemen 2008)**

Auch im NoME Ports Projekt wurden die wichtigsten Lärmquellen analysiert. Der Verkehrslärm ist eine der Hauptlärmquellen im Hafen.<sup>148</sup> Jedoch ist die Verminderung dieser Lärmquelle schwierig, da die Verantwortlichkeit oft nicht beim Hafentreiber, sondern bei den Spediteuren und Logistikdienstleistern liegt.

<sup>147</sup> Transport Research & Innovation Portal 2017a.

<sup>148</sup> Transport Research & Innovation Portal 2017a.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Für die Messung des Straßenlärms müssen Informationen über die Oberfläche, die geografische Lage der Straße sowie Daten über die durchschnittliche Geschwindigkeit und Auslastung vorliegen.<sup>149</sup>

##### Binnen\_Land

Das vom Bundeswirtschaftsministerium geförderte Forschungsvorhaben „Binnen\_Land“ hatte zum Ziel, Binnenhäfen als integrale Bestandteile intelligenter Transportketten zukunftsfähig zu machen.<sup>150</sup> Im Projekt ging es um die Ableitung von Strategien für die Binnenhäfen und die Demonstration intelligenter Logistikkonzepte. Wesentliche Projektziele ergaben sich in zweierlei Hinsicht. Durch die Entlastung von Straße und Schiene und durch die Verbesserung der Hinterlandanbindung des Hamburger Hafens sollte einerseits die Funktionsfähigkeit der Wirtschaft erhöht werden. Darüber hinaus sollte durch den Erhalt von Stadthäfen die logistische Ver- und Entsorgung von Städten bei minimaler Belastung von Mensch und Umwelt auch bei langfristig veränderten Rahmenbedingungen sichergestellt werden.<sup>151</sup> Zentrales Projektergebnis stellt eine entwickelte Kommunikationsstrategie dar, die mögliche Interessenskonflikte zwischen Stadtentwicklung und Hafen schlichten, die positive Wahrnehmung von Binnenhäfen als trimodale Logistikstandorte fördern und die Akzeptanz und politische Legitimation erhöhen kann. Bausteine dieser Kommunikationsstrategie bestehen in einer „neuen Hanse“, einem „Hafenindex“ sowie einem „Dialogbild“. Hintergrund dieser Bausteine bzw. der Kommunikationsstrategie ist das Erfordernis, „die Vernetzung und die Zusammenarbeit aller beteiligten Akteure entlang der Transport- und Logistikkette zu verbessern“.<sup>152</sup> Durch eine frühzeitige Einbindung aller Beteiligten lassen sich „Interessensunterschiede aufdecken, bevor sie sich zu Konflikten entwickeln“.<sup>153</sup>

Im Projekt wurden auch Lösungsansätze zur stärkeren Berücksichtigung von Binnenhäfen in der Planung entwickelt. Grundlegendes Problem stellen planerische Entscheidungen dar, die nicht auf Basis einer umfassenden Prüfung der richtigen Argumente getroffen wurden. Es komme nur selten zu klaren Richtungsentscheidungen, sondern vielmehr zur Förderung schleichender Veränderungen, wie die Ausweisung von Büroflächen oder von Wohnbebauung im Hafengebiet bzw. auf angrenzenden Flächen, was zu immissionsrechtlichen Konflikten führt. Empfehlenswert ist daher ein klarer Politikstil, „der sich aktiv mit den Binnenhäfen auseinandersetzt, die Akteure mit einbezieht und im Dialog die Argumente gegeneinander abwägt“.<sup>154</sup> Gleiches gilt für die Akteure der Hafengewirtschaft. Hafenakteure müssen sich auf eine „Öffnung in Richtung Stadt einlassen – soweit dies ihre gewerbliche Zweckbestimmung nicht einschränkt“.<sup>155</sup>

##### MESP: water, air & noise

Das MESP Projekt („Managing the Environmental Sustainability of Ports for a durable development“) hat das Ziel, Wasser-, Luft- und Lärmverschmutzung durch Häfen am Mittelmeer nachhaltig zu reduzieren und die Lebensqualität zu erhöhen.<sup>156</sup> Das Projekt wurde Mitte 2012 gestartet und dauerte 36 Monate.<sup>157</sup> Im Laufe des Projekts wurden eine Reihe Good Practices identifiziert, die für eine nachhaltige Verbesserung der Verschmutzungssituation nützlich sind.

---

<sup>149</sup> van Breemen 2008, S. 22–26.

<sup>150</sup> Fläming 2011, S. 4.

<sup>151</sup> TU Harburg 2011, S. 4.

<sup>152</sup> TU Harburg 2011, S. 12.

<sup>153</sup> TU Harburg 2011, S. 12.

<sup>154</sup> TU Harburg 2011, S. 9.

<sup>155</sup> TU Harburg 2011, S. 9.

<sup>156</sup> MESP: water, air & noise 2012, S. 4.

<sup>157</sup> MESP: water, air & noise 2012, S. 6.



#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

In den öffentlich zugänglichen Guidelines des Projektes werden zum Vorgehen gegen Lärmemissionen zwei Schritte empfohlen.

Der erste Schritt ist die Identifikation der passenden Methoden um Lärmemissionen zu mindern. Hierzu gehören unter anderem die Beurteilung von Lärm durch Fahrzeuge, durch Be- und Entladen der Schiffe sowie durch Wartungsarbeiten.

Der zweite Schritt beschreibt die Sammlung von Daten und Ressourcen, um die Methoden umzusetzen. Zum einen sollen Daten über Lärmemissionen durch die eigentlichen Hafendarbeiten gesammelt werden und zum anderen über Verkehrsüberlastung durch z.B. Lkw-Warteschlangen oder Sicherheitschecks.<sup>158</sup>

Das Projekt „Managing the Environmental Sustainability of Ports for a durable development“ (MESP) befasste sich übergreifend mit der Reduzierung von Wasser-, Luft- und Lärmbelastungen. Das Untersuchungsgebiet des Projekts war der europäische Mittelmeerraum. MESP verfolgte einen multidisziplinären Ansatz, der technologische, regulatorische und administrative Lösungen mit einbezog. Hauptziel des Projekts bestand in der Identifizierung bereits bewährter Praktiken und Verfahren, um Verwaltungsbehörden und Nutzern von Hafengebieten und -infrastrukturen zu helfen, ihr Handeln nachhaltiger zu gestalten. Beispielhafte Unterziele des Projekts bestanden in der Entwicklung von Methoden, Technologien und Verfahren für ein nachhaltiges Handeln in Häfen, deren Übertragbarkeit auf verschiedene Hafenkontexte gewährleistet ist und der Stärkung von Entscheidungs-kompetenzen lokal handelnder Akteure. In diesem Zusammenhang wurden auch Wege aufgezeigt, wie die Kommunikation im Hinblick auf ein verbessertes Management und Planung des Hafens optimiert werden könnte. Neben weiteren Unterzielen war die Erstellung eines Zertifizierungsverfahrens zentraler Baustein des Projekts. Über eine Zertifizierung von Prozessen und Werkzeugen, lässt sich nachhaltiges Handeln verantwortlicher Akteure objektiv bewerten.

##### SWIFTLY Green Project

Das SWIFTLY Green Project („Sweden-Italy Freight Transport and Logistics Freen Corridor“) beschäftigte sich mit der Ausarbeitung von Guidelines, Werkzeugen und Empfehlungen für eine umweltfreundliche Logistik von Häfen innerhalb des TEN-T („Trans-European Transport Network“). An dem zweijährigen Projekt waren von 2013 bis 2015 13 Partner aus Österreich, Deutschland, Belgien, Dänemark, Italien und Schweden beteiligt.<sup>159</sup>

Der Best-Practice-Guide nennt mehrere Beispiele, wie Lärmemissionen von Häfen reduziert wurden. Dazu gehört ein 2001 installiertes Lärmwarnsystem im Bereich Bremerhaven, leisere Gabelstapler und Verladevorrichtungen im Hafen von Trelleborg in Schweden und eine verbesserte Entladevorrichtung für Container am Burchardkai Container Terminal in Hamburg.<sup>160</sup>

Zusammenfassend ist Folgendes festzustellen: Fragen zum Umgang mit Lärm im Hafen aus Sicht der Stadtentwicklungsplanung spielen im Rahmen der hier untersuchten Forschungsprojekte eine vergleichsweise untergeordnete Rolle. Empfehlungen zur Lärmvermeidung haben in erster Linie einen technisch-konstruktiven Charakter und beziehen sich auf die Lärmvermeidung am Emissionsort. Aufgegriffen und im Rahmen des Forschungsprojekts „Leiser Hafen“ weiterverfolgt, werden Lösungen grundlegender und prozessualer Art, die beispielsweise auf eine Optimierung von Abstimmungsprozessen zwischen Akteuren der Stadtentwicklung und des Hafens abzielen (s. Kap. 7).

---

<sup>158</sup> MESP: water, air & noise 2012, S. 34.

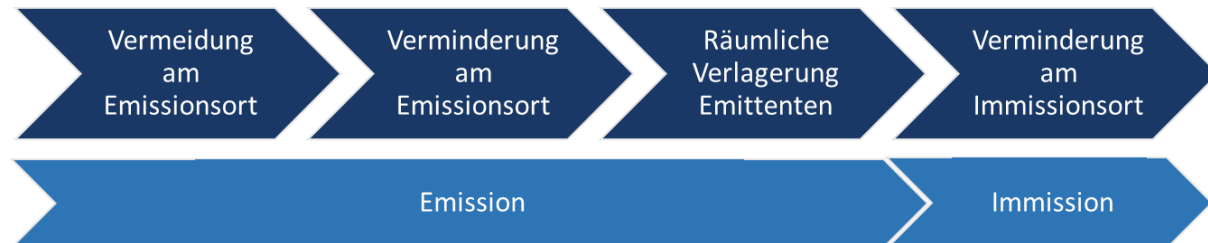
<sup>159</sup> SWIFTLY Green 2015, S. 7.

<sup>160</sup> SWIFTLY Green 2015, S. 23–24.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Zuvor werden grundlegende Lösungsansätze zur Lärmreduzierung im urbanen Raum zusammengestellt. Hierbei handelt es sich in erster Linie um passive Lärmschutzmaßnahmen ohne direkten Bezug zum Hafen oder hafenrelevanten Prozessen.

Das Grundprinzip der Lärminderungsplanung sieht folgenden Ablauf vor:



**Abbildung 54: Grundprinzip der Lärminderung (Quelle: Eigene Darstellung SSR Schulten)**

Die Anwendung einzelner Maßnahmen reicht i.d.R. nicht aus, um eine wirksame Lärminderung zu erzielen. Die im Rahmen des Projekts erarbeiteten planerischen, organisatorischen und technischen Maßnahmen müssen in ein Konzept überführt werden, um unterschiedliche Potenziale im Sinne einer Gesamtstrategie nutzbar zu machen. In diesem Zusammenhang sind vorbeugende Maßnahmen, die bereits am Entstehungsort ansetzen, prioritär anzuwenden. Auf Lärm, der am Immissionsort im Hafen entsteht, kann nur in Form technischer oder organisatorischer Maßnahmen aktiv reagiert werden. Zu den stärksten Belastungen und Belästigungen durch Lärm außerhalb des Hafengeländes zählen der Verkehrslärm, und hier insbesondere der Straßenverkehrslärm. Der Umfang verfügbarer Maßnahmen, die aus bestehenden Forschungsprojekten zusammengetragen werden können, ist dementsprechend groß.

Lärminderung im Straßenverkehr setzt an verschiedenen Stellen an und verfolgt mehrere, sich ergänzende Ansätze:

- Vermeidung von Emissionen
- Minderung von Emissionen
- Verlagerung und Bündelung von Emissionen
- Schallschutz am Immissionsort

##### Vermeiden von Emissionen

Kfz-Verkehr lässt sich durch eine Verkürzung von Kfz-Fahrten sowie durch Verlagerung auf Verkehrsmittel des Umweltverbundes vermeiden. Zu diesem Zweck müssen günstige siedlungsstrukturelle Rahmenbedingungen (verträgliche Dichte, ausgewogene Mischung, hohe Wohn- und Freiraumqualität) in Verbindung mit verkehrsvermeidenden Begleitmaßnahmen, wie MIV-Restriktionen und Optimierungen im ÖV- und Radverkehrsangebot, verbunden werden. Andernfalls führen disperse Siedlungsstrukturen mit steigender Straßennetzdichte und höherer Netzauslastung zu einer zunehmenden Verlärmung des Straßenraums. Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen setzen den Betrieb und die Umsetzung einer langfristig angelegten

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

integrierten Siedlungs- und Verkehrsplanung voraus, in der Maßnahmen zur Vermeidung von Emissionen Berücksichtigung finden.<sup>161</sup>

##### Verminderung von Emissionen

Dort, wo sich Emissionen nicht vermeiden lassen, sind sie zu vermindern. Lärminderungspotenziale durch verringerte Straßenverkehrsemissionen können beträchtlich sein. Beispielhafte Maßnahmen stellen die Verwendung lärmabsorbierender Fahrbahnbeläge, die Senkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, die Verstetigung des Verkehrsflusses oder der Einsatz lärmarmer Technik in Fahrzeugmotoren dar. Mit dem Einsatz dieser und anderer Maßnahmen sind unterschiedlich hohe Lärminderungswirkungen verbunden. Beispielsweise bewirkt der Ersatz von Pflaster durch Asphalt je nach Geschwindigkeit eine Minderung um 2 bis 6 dB(A). Eine Sanierung schadhafter Asphaltbeläge im Bestand bewirkt innerorts eine Minderung um etwa ein dB(A). Wird die zulässige Fahrgeschwindigkeit von 50 auf 30 km/h reduziert, resultiert je nach Lkw-Anteil eine Lärminderungswirkung von rd. 2 bis 3 dB(A). Zwar kaum durch kommunales Handeln beeinflussbar, aber mit hohem Lärminderungspotenzial verbunden, ist der Einsatz lärmarmer Technik. Eine Möglichkeit für Kommunen in diesem Zusammenhang aktiv zu werden, ergibt sich durch die Berücksichtigung bzw. die Anschaffung lärmarmer Fahrzeuge in kommunalen Eigenbetrieb bzw. die Förderung deren Anschaffung durch ortsansässige Unternehmen.<sup>162</sup>

##### Verlagerung und Bündelung von Emissionen

Verlagerung und Bündelung von Verkehren kann Lärm nicht nur lokal wirksam verbessern, sondern auch eine gesamtstädtische Wirkung entfalten. Eine Ortsumfahrung stellt in diesem Zusammenhang eine beispielhafte Maßnahme dar, die allerdings einer genauen Prüfung im Vorfeld bedarf. Häufig wird die Bedeutung des stadteigenen Verkehrs unter- und die voraussichtliche Entlastungswirkung einer Ortsumfahrung überschätzt. Zudem steht der oftmals geringen innerörtlichen Entlastung eine Neuverlärmung peripher gelegener Siedlungsbereiche in der Nähe der Ortsumfahrung oder ihrer Zubringer gegenüber. Der Bau einer Ortsumfahrung ist daher aus lärmakustischer Sicht vor allem dann sinnvoll, wenn eine „ortsnahe bzw. innerörtliche Führung die Aufnahme stadteigenen Verkehrs ermöglicht und gleichzeitig eine Bündelung mit anderen Linienquellen wie Schienenstrecken möglich ist“.

Ist eine Neuausweisung eines Industrie- oder Gewerbegebiets geplant, kann im Rahmen der Bauleitplanung die Verträglichkeit mit angrenzenden schutzwürdigen Nutzungen der durch Gewerbeansiedlung induzierte (Lkw-) Verkehr durch angepasste Routenplanung auf konfliktarme Routen geführt werden. Beispielsweise kann die Lkw-Routenplanung in Verbindung mit widerstandserhöhenden Maßnahmen, wie Geschwindigkeitsreduzierungen oder verkehrsberuhigenden Maßnahmen im Nebennetz zu einer Bündelung von besonders lärmintensiven Schwerverkehren führen. Schwieriger, aber gleichfalls möglich, sind kleinräumige Verkehrsverlagerungen im Bestand, um die Lärmsituation zu verbessern. Zwar haben Maßnahmen, wie die Anlage eines Radfahrstreifens oder eine geänderte Stellplatzanordnung lediglich Minderungspotenziale von 0,5 bis 1,5 dB(A) zur Folge. Aufgrund ihrer geringen Kostenintensität sollte ihre Umsetzung aber im Interesse kommunaler Akteure sein.<sup>163</sup>

---

<sup>161</sup> Umweltbundesamt 2008, S. 18.

<sup>162</sup> Umwelt Bundesamt 2016.

<sup>163</sup> Umweltbundesamt 2008, S. 19–20.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

##### Schallschutz am Immissionsort

Sowohl bei der Überplanung von Bestandsgebieten als auch im Neubau kommen städtebaulichen Maßnahmen eine große Bedeutung zu. Durch die Schaffung abschirmender Gebäudestrukturen, kann eine höhere Wohnruhe und Aufenthaltsqualität erzielt werden.

Hohe Lärminderungspotenziale gehen von der abschirmenden Wirkung von Schallschutzwänden, Tunneln oder Troglagen aus. Beispielsweise bewirken Schallschutzwälle oder -wände Minderungspotenziale um bis zu 20 dB(A). Städtebauliche bzw. stadtgestalterische und verkehrliche Gründe können einer Anwendbarkeit allerdings entgegenstehen.<sup>164</sup>

---

<sup>164</sup> Umweltbundesamt 2008, S. 20.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

##### Vermeiden und Reduzieren des MIV

- Förderung Fußgängerverkehr (z.B. attraktive Fußwege und -verbindungen)
- Förderung Fahrradverkehr (z.B. Bike+Ride, Abstellanlagen)
- Förderung ÖPNV (z.B. Angebotsverbesserung, Stadtbussystem / flexible Bedienung)

##### Regulierung von (Schwer-) Verkehr

- Parkraumüberwachung
- Nutzervorteile für emissionsarme Lkw
- Restriktionen für Fahrzeuge, Fahrzeugklassen (Lkw)
- Verbesserung der Logistik, City-Logistik
- Fahrverbote (zeitlich / räumlich befristet)
- Pförtnerampeln, verkehrsmengenabhängige Lichtsignalanlagen

##### Auslagerung von (Schwer-) Verkehr

- Ortsumfahrung
- Stadtkernentlastungsstraße
- Routennetzausweisung bzw. -beschränkung
- Verkehrsleitsysteme

##### Beeinflussung des Fahrverlaufs

- §45 StVO (Geschwindigkeitsbeschränkungen zum Schutz der Bevölkerung von Lärm und Abgasen)
- Begrenzung auf 30 km/h bis 40 km/h
- zul. Höchstgeschwindigkeit (mindestens nachts)
- Koordinierung der Lichtsignalanlagen
- Zone 30 / 20 / 10
- Zeichen 325 "Verkehrsberuhigter Bereich" (Spielstraße)

##### Öffentlichkeitsarbeit

- Anleitung zu lärmminderndem Verhalten
- Angepasste Fahrweise
- Rucksicht
- Motorrad (-kontrollen)

##### Städtebauliche Maßnahmen

- Baurecht schaffen für bauliche Abschirmungen, bauliche Ergänzungen (Hofschließungen, gläserne Wände)
- Grundhafte Sanierung der Gebäudestrukturen städtebaulich begleiten
- Grüner Lärmschutz
- Sanierung / passiver Lärmschutz
- Schallschutzfenster, verglaste Loggien
- Umstufungen und Umnutzung beispielsweise besonderes Wohngebiet, Mischgebiet usw.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

##### Straßenraumgestaltung

- Mittelinseln
- Reduzierung der Breite der Fahrstreifen
- Engstellen
- Belagsanierung, Asphaltdecke, offenporiger Asphalt ( $v > 50 \text{ km/h}$ )
- Reduzierung der Fahrstreifenanzahl

##### Flächennutzungsplan

- Bauflächen oder Baugebiete nach der Art ihrer Nutzung unter Berücksichtigung ihrer Störeffindlichkeit
- Flächen für den überörtlichen Verkehr und für die örtlichen Hauptverkehrszüge
- Flächen für die Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Grünflächen (auch als Abstandszonen zur Lärmquelle)
- Flächen für Nutzungsbeschränkungen oder für Vorkehrungen zum Schutz gegen schädliche Umwelteinwirkungen

##### Bebauungsplan - Festsetzungen nach §9 Abs. 1 BauGB

- Geschlossene Bauweise zur Abschirmung
- Gliederung nach Art der zul. Nutzung zur Entzweigung unverträglicher Nutzungen
- Flächen für Nebenanlagen, Stellplätze und Garagen als Puffer
- Ausschluss oder beschränkte Zulassung von Nutzungen, z. B. sind Zeitbeschränkungen für störende Nutzungen möglich,
- öffentliche oder private Grünflächen; z. B. Grünflächen als Pufferzone zu lärmintensiven Bereichen
- mittelfristige Lärmsanierung bestehender störender Nutzungen mit Bestandsschutz (nach § 1, Abs. 10 BauNVO)

##### Bebauungsplan - Spez. Festsetzungen nach §9 Abs.1 BauGB Nr.24

- von der Bebauung freizuhaltende Schutzflächen (z. B. Grünflächen),
- Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen (z. B. Lärmschutzwälle oder -wände und Schutzpflanzungen) an Verkehrswegen,
- Vorkehrungen an baulichen Anlagen
- „aktive“ Lärminderungsmaßnahmen an der Quelle,
- bauliche Abkapselung von Geräuschemissionsquellen,
- Gestaltung der Baukörper, z. B. geschlossene Wände störender Anlagen,
- Abschirmung des innerbetrieblichen Verkehrs,
- Lärmschutzwall auf dem Betriebsgelände,
- Schutzpflanzung auf dem Betriebsgelände,
- „passive“ Lärmschutzmaßnahmen bei den betroffenen Nutzern,
- Grundrissorganisation, z. B. Fensteranordnung auf schallabgewandter Gebäudeseite,
- konstruktive Maßnahmen, z. B. Schallschutzfenster mit einem bestimmten Schalldämmmaß bzw. Material von Dach und Außenwänden

Abbildung 55: Typische Lärminderungsmaßnahmen (Quelle: Eigene Darstellung SSR)

## 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

### 4.2 Gesetzeslage zum Thema Lärm im Binnenhafen

Die Frage, wer für die Einhaltung von Immissionsgrenzwerten zuständig ist, richtet sich danach, ob die Belästigung aus anlagenbezogenem oder verhaltensbezogenem Lärm resultiert.

- Anlagenbezogener Lärm:  
Lärm, der mit Errichtung oder Betrieb von Anlagen im Zusammenhang steht sowie Lärm von Menschen, der in betriebstechnischem oder funktionellem Zusammenhang mit dem Betrieb der Anlage steht.
- Verhaltensbezogener Lärm: Lärm, der durch menschliches Verhalten verursacht wird und auf den der Anlagenbetreiber keinen Einfluss hat.

Anlagenbezogener Lärm betrifft im gewerblichen Bereich im Allgemeinen die Zuständigkeit staatlicher Umweltämter und Verkehrsbehörden. Verhaltensbezogener Lärm betrifft die Zuständigkeit der Ordnungsbehörden und subsidiär die Polizei.

Näheres regeln landesrechtliche Vorschriften, insbes.

- Immissionsschutzzuständigkeitsverordnung (ImSchZV)
- Landesimmissionsschutzgesetz (LImSchG)

Die Zuständigkeit zur Umsetzung von Lärmschutzmaßnahmen betrifft i.d.R. den Anlagenbetreiber, der für die Emissionsbelastung verantwortlich ist.

Es gibt verschiedene Lärmvorschriften und -gesetze, welche im Binnenhafen zu beachten sind. Im Folgenden wird eine Übersicht über die wichtigsten Vorschriften gegeben und ihre Auswirkungen auf den Betrieb von Binnenhäfen beschrieben. Des Weiteren wird dargestellt, welche Restriktionen und Verantwortlichkeiten durch die bestehende Gesetzeslage zu beachten sind. Die Lärmemissionen eines Hafens werden in Betriebs- und Verkehrslärm unterschieden. Hierbei bezeichnet der Betriebslärm alle Emissionen, welche auf dem Betriebsgelände des Hafens entstehen. Dazu zählt auch der durch auf dem Gelände verkehrende Fahrzeuge und Züge entstehende Lärm. Verkehrslärm ist der Lärm, der durch Fahrzeuge auf öffentlichen Straßen entsteht.<sup>165</sup> Für den Hafenbetrieb wird dieser Lärm durch die Zu- und Abfahrt von Lkw und Zügen zum Hafen beschrieben. Auf europäischer Ebene wurde 2002 die „Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm“ veröffentlicht.<sup>166</sup> Mit dieser Richtlinie werden Möglichkeiten zur Bekämpfung von Umgebungslärm festgelegt. Die Richtlinie zeigt Möglichkeiten zur Lärmbewertung und der Ausarbeitung von Lärmkarten auf. Besonders hervorzuheben ist, dass Häfen in der Richtlinie als Industrielärm definiert werden.<sup>167</sup> Da durch Binnenhäfen besonders schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes auftreten, werden diese in der Baunutzungsverordnung (BaUNVO) als sonstige Sondergebiete klassifiziert.<sup>168</sup> Dadurch sind teilweise andere Immissionsrichtwerte zu befolgen.

Im Folgenden wird nur auf Lärmvorschriften auf Bundes- und Landesebene in Deutschland eingegangen.

---

<sup>165</sup> Umwelt Bundesamt 2017.

<sup>166</sup> Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 25.06.2002.

<sup>167</sup> Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 25.06.2002, S. 10.

<sup>168</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz 2013.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Flächen des Binnenhafens unterliegen als Teil des Gemeindegebiets grundsätzlich der kommunalen Planungshoheit und damit den Vorschriften des Baugesetzbuchs (BauGB). Ziele der Raumordnung können die kommunale Planungshoheit gem. § 1 Abs. 4 BauGB ebenso einschränken, wie fachplanungsrechtliche Aussagen nach § 38 BauGB. Raumordnungs- und fachplanungsrechtliche Einschränkungen spielen v.a. bei der Erweiterung hafenauffiner Nutzungen eine Rolle.

Die Rechtmäßigkeit der Bauleitplanung in Häfen hängt davon ab, ob den Belangen des Immissionsschutzes und den allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse sowie die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung nach § 1 Abs. 6 Nr. 1 BauGB ausreichend Rechnung getragen wurde. Dem Gebot der Konfliktbewältigung entsprechend, darf die Bauleitplanung nicht dazu führen, dass Spannungen, die durch sie hervorgerufen werden, zu Lasten Betroffener letztlich ungelöst bleiben. Eine Verlagerung von Problemlösungen aus dem Bauleitplanverfahren auf nachfolgende Ebenen der Vorhabenzulassung ist zu verhindern, wobei Ausnahmen zulässig sein können (z. B. im Rahmen einer nachgeordneten „Feinsteuerung“). Ist hingegen bereits im Planungsstadium absehbar, dass sich Interessens- bzw. Nutzungskonflikte auch in nachfolgenden Verfahren nicht sachgerecht lösen lassen, ist keine Verlagerung der Problemlösung möglich.<sup>169</sup>

##### TA Lärm

In der TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) wird eine Beurteilungsgrundlage für Lärm verschiedener Nutzungsflächen gegeben. Die TA Lärm unterscheidet zwischen genehmigungsbedürftigen und nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen, jedoch werden, im Gegensatz zu Binnenhäfen, Seehäfen von der Vorschrift ausgenommen.<sup>170</sup> Für Häfen, welche ausschließlich Binnenschiffen zugänglich sind gelten die Bestimmungen der TA Lärm.<sup>171</sup> Ziel der Vorschrift ist es den Konflikt zwischen schutzbedürftiger Nutzung und Industrie- bzw. Gewerbelärm zu lösen. Im dritten Abschnitt der TA Lärm werden die „Allgemeinen Grundsätze für genehmigungsbedürftige Anlagen“ festgelegt. Diese besagen, dass genehmigungsbedürftige Anlagen nur dann in Betrieb genommen werden dürfen, wenn eine „Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik zur Lärminderung entsprechenden Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung“.<sup>172</sup> Für Binnenhafenbetreiber, sowie die Unternehmen im Binnenhafen bedeutet dies, dass die Lärmimmissionen so gehandhabt werden müssen, dass schädliche Umwelteinwirkungen möglichst reduziert werden. Verkehrsgerausche, welche auf dem Betriebsgrundstück, bzw. durch die Ein- und Ausfahrt entstehen werden der jeweiligen Anlage zugeordnet und mit dieser bewertet.<sup>173</sup>

Die folgende Übersicht zeigt die durch die TA Lärm festgesetzten Immissionsrichtwerte, welche außerhalb von Gebäuden in den festgelegten Gebietskategorien gelten. Die Gebietszuordnung ergibt sich hierbei aus den Bebauungsplänen.

---

<sup>169</sup> Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen 2010, S. 38.

<sup>170</sup> BeSB GmbH Berlin 2017.

<sup>171</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998, S. 2.

<sup>172</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998, S. 3–4.

<sup>173</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998, S. 8–9.



#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Gebiet	Tags 06.00-22.00 Uhr	Nachts 22.00-06.00 Uhr
Industriegebiet	70 dB(A)	70 dB(A)
Gewerbegebiet	65 dB(A)	50 dB(A)
Urbanes Gebiet	63 dB(A)	45 dB(A)
Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete	60 dB(A)	45 dB(A)
Allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete, Krankenhäuser und Pflegestätten	45 dB(A)	35 dB(A)

**Tabelle 13: Immissionsrichtwerte (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit 1998)**

#### BImSchG

Das Bundesimmissionsschutzgesetz von 1974 verfolgt das Ziel „Menschen, Tiere und Pflanzen vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und das Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen“.<sup>174</sup> Die Ausführung des Gesetzes obliegt dem jeweiligen Bundesland. Als schädliche Umwelteinwirkungen werden im BImSchG Immissionen, welche nach Art, Dauer und Ausmaß geeignet sind Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft herbeizuführen, definiert. Das Gesetz gilt sowohl für die Errichtung wie auch den Betrieb von Anlagen. Hierbei wird zwischen genehmigungsbedürftigen Anlagen und genehmigungsfreien Anlagen unterschieden. Genehmigungsbefürftige Anlagen sind solche, die durch ihre Beschaffenheit oder ihres Betriebs besonders für schädliche Umwelteinwirkungen prädestiniert sind.<sup>175</sup> In der 4. BImSchV wird eine Übersicht über die genehmigungsbedürftigen Anlagen gegeben.<sup>176</sup> Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen müssen so errichtet und betrieben werden, dass „schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.“<sup>177</sup> In einem Urteil des Bundesverfassungsgerichts Bremen von 1996 ist festgelegt worden, dass Containerterminal als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen behandelt werden.<sup>178</sup>

<sup>174</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, §2.

<sup>175</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, §3.

<sup>176</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Anhang 1.

<sup>177</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, §22.

<sup>178</sup> Erbguth und Schubert 2011, S. 65.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

In §50 des BImSchG ist der Trennungsgrundsatz festgelegt. Dieser führt aus, dass der Bereich mit emissionsträchtiger Nutzung und solche mit immissionsempfindlichen Nutzungen zu trennen sind, sodass schädliche Umwelteinwirkungen so weit wie möglich vermieden werden.

2002 trat die EU-Umgebungslärmrichtlinie in Kraft, welche durch Lärmkartierung, den davon abgeleiteten Aktionsplänen zur Verminderung von gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Lärmemissionen und einer ausführlichen Öffentlichkeitsarbeit, ein hohes Gesundheits- und Umweltschutzniveau erreichen will. Die Umgebungslärmrichtlinie ist durch §§47a bis 47f im BImSchG enthalten.<sup>179</sup>

#### 16. BImSchV

In der Verkehrslärmschutzverordnung wird der Verkehrslärm behandelt. Diese Vorschrift wird nur beim Bau oder wesentlichen Änderungen von öffentlichen Straßen und Schienen angewandt. Die 16. BImSchV gibt Immissionsgrenzwerte, welche durch Verkehrsgeräusche entstehen dürfen an.<sup>180</sup> Die folgende Tabelle stellt die Immissionsgrenzwerte für den Verkehrslärm nach der 16. BImSchV dar. Diese legt fest, dass bei der Berechnung des Beurteilungspegels auf Straßen zwischen Tag und Nacht unterschieden werden muss. Der Beurteilungsraum für den Tag gilt zwischen 6.00 und 22.00 Uhr. Der Beurteilungspegel für die Nacht zwischen 22.00 und 6.00 Uhr.<sup>181</sup>

Gebiet	Tags 06.00-22.00 Uhr	Nachts 22.00-06.00 Uhr
Krankenhäuser, Schulen, Kurheime und Altenheime	57 dB(A)	47 dB(A)
Reine und allgemeine Wohngebiete und Kleinsiedlungsgebiete	59 dB(A)	49 dB(A)
Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete	64 dB(A)	54 dB(A)
Gewerbegebiete	69 dB(A)	59 dB(A)

Tabelle 14: Immissionsgrenzwerte Verkehrslärm (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Bundesumweltministerium)

#### LImSchG

Das in NRW geltende Landes-Immissionsschutz-Gesetz ergänzt das BImSchG. Die Länder sind für die Ausführung des BImSchG verantwortlich. Dieses behandelt, welche Anforderungen an Personen, die schädliche Umwelteinwirkungen verursachen können, gestellt werden.<sup>182</sup> Es ist im LImSchG festgelegt, dass bei der Errichtung von Anlagen Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen zu treffen ist.

<sup>179</sup> Umweltbundesamt 2017.

<sup>180</sup> Bundesumweltministerium, §2.

<sup>181</sup> Bundesumweltministerium, §3.

<sup>182</sup> Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen 2017.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

##### DIN 18005-1

In der DIN 18005-1 "Schallschutz im Städtebau – Beiblatt1" werden Hinweise zur Berücksichtigung des Schallschutzes bei der städtebaulichen Planung gegeben. Des Weiteren werden Maßnahmen zur Minderung der Schallimmissionen von Verkehrswegen und den Abständen zu Industrie- und Gewerbegebieten dargelegt.<sup>183</sup>

Es wird angegeben welchen Abstand die zu bewertenden Anlagen vom Immissionsort (Verkehrsweg) haben müssen, damit die Lärmgrenzwerte bei Nacht eingehalten werden. Die folgende Tabelle zeigt die Übersicht über den Abstand von Straßen zu Immissionsorten, die nach DIN 18005 definiert sind.

Art des Verkehrsweges	Beurteilungspegel nachts (in dB(A))			
	55	50	45	40
	Abstand von der Achse (m)			
Bundesautobahn	450	800	1300	1800
Bundesstraße	100	200	450	800
Landesstraße	40	70	150	330
Gemeindestraße		20	40	90

Tabelle 15: Abstand von Straßen nach DIN 18005 (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013b)

##### DIN 45645-1

Die DIN 45645 „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen – Beiblatt 1“ gibt Grenzfrequenzen für die Geräuschimmissionen vor. Das Beiblatt 1 beschäftigt sich hierbei besonders mit den Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft.<sup>184</sup>

##### DIN ISO 9613-2

Die DIN ISO „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“ setzt sich mit der Eindämmung der Schallausbreitung auf der freien Fläche auseinander. Teil 2 stellt ein allgemeines Berechnungsverfahren vor mit dem sich die Pegel von Geräuschimmissionen in einem Abstand von verschiedenen Schallquellen vorausberechnen lassen.<sup>185,186</sup>

##### Lärmschutz-Richtlinien-StV

In der Richtlinie für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm von 2007 werden den Straßenverkehrsbehörden Orientierungshilfen für Maßnahmen gegeben, die den

<sup>183</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013b.

<sup>184</sup> DIN 45645-1.

<sup>185</sup> Willems et al. 2016.

<sup>186</sup> DIN ISO 9631-2.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Straßenverkehrslärm vermindern können. Die Richtlinie gilt nur für bestehende Straßen. Es werden vier Maßnahmen beschrieben mit denen der Straßenverkehrslärm reduziert werden kann<sup>187</sup>:

1. Verkehrslenkung
2. Lichtzeichenregelung
3. Geschwindigkeitsbeschränkung
4. Verkehrsverbote

Die erste Maßnahme ist die Verkehrslenkung. Durch diese kann eine Verkehrsentlastung oder Verstetigung des Verkehrs erreicht werden. Durch eine Lichtzeichenregelung können die Verkehre besser gelenkt werden. Eine weitere Maßnahme ist die Geschwindigkeitsbegrenzung. Durch Geschwindigkeitsbegrenzungen können verkehrsberuhigte Bereiche entstehen und die Wohnbevölkerung besser vor Lärm geschützt werden. Die letzte Maßnahme, die in dieser Richtlinie vorgeschlagen wird sind Verkehrsverbote. Durch diese können Straßen mit besonders hoher Belastung entlastet werden. Es ist jedoch bei allen Maßnahmen zu beachten, dass eine Verlagerung des Verkehrs nur dann sinnvoll ist, wenn diese gebündelt werden. Eine Verlagerung des Verkehrs von hoch belasteten Straßen auf solche die vorher nur gering belastet waren ist nicht immer sinnvoll, da Pegelminderungen auf lauten Straßen sehr viel weniger spürbar sind als Pegelerhöhungen auf zuvor leisen Straßen.<sup>188</sup>

#### RLS-90

Die RLS-90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) definiert ein einheitliches Verfahren mit dem die Lärmbelastung berechnet werden kann. Ziel der Vorschrift war die einheitliche Implementierung eines Berechnungsverfahrens. In der Vorschrift wird festgelegt, dass der Lärmpegel zu berechnen, nicht zu messen ist. Durch die Berechnung von Lärm wird eine repräsentative Darstellung gewährleistet. Die RLS-90 liefert Diagramme anhand derer Lärmpegel abgelesen werden können.<sup>189</sup>

Für die Berechnung des Lärms wird eine Schallquelle in Höhe von 0,5m über der Fahrbahn angenommen.<sup>190</sup> Da die Berechnung des Mittelungspegels, dieser entspricht dem Pegel eines gleichbleibenden Dauergeräusches unter Einbezug der Störwirkungen wie beim zeitlich veränderlichen Geräusch<sup>191</sup>, umständlich ist, gibt die RLS-90 eine vereinfachte Berechnungsmethode für lange, gerade Straßenabschnitte an.

#### BauGB

Nach § 1 Abs. 6 BauGB sind bei der Aufstellung der Bauleitpläne die „allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und [...] die Belange des Umweltschutzes“ zu berücksichtigen.<sup>192</sup> Diese Anforderungen können im Bebauungsplan durch verschiedene Festsetzungsmöglichkeiten Berücksichtigung finden. Aus städtebaulichen Gründen lassen sich z. B. nach § 9 Abs. 24 BauGB „die von der Bebauung

---

<sup>187</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, S. 769.

<sup>188</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, S. 770–771.

<sup>189</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013b, S. 75–76.

<sup>190</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (2013), S. 76

<sup>191</sup> Fischer und u.a. 1997, S. 27–28.

<sup>192</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen, einschließlich von Maßnahmen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche“ festsetzen.<sup>193</sup> Weiterhin lassen sich nach § 9 Abs. 5 Nr. 1 Flächen kennzeichnen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen erforderlich sind.

Lärmschutz ist ein Belang des Umweltschutzes. Im Rahmen der Aufstellung von Bebauungsplänen ist eine Umweltprüfung durchzuführen, in deren Rahmen die voraussichtlichen erheblichen Umweltauswirkungen ermittelt, beschrieben und bewertet werden. Die Gemeinde hat den hierzu erforderlichen Umfang und Detaillierungsgrad der Ermittlung der Belange für die Abwägung zu bestimmen. Das Ergebnis der Umweltprüfung ist im Rahmen der Abwägung zu berücksichtigen.

Über die BauNVO lassen sich mögliche Festsetzungen innerhalb der Bauleitpläne konkretisieren. Aus der in den §§ 2 bis 9 BauNVO vorgenommenen Typisierung von Baugebietsarten ergibt sich eine der jeweiligen Zweckbestimmung des Gebiets entsprechende Immissionsschutz-Rangfolge, worin sich das Trennungsgebot nach § 50 BauGB manifestiert (s.o.). Die BauNVO kategorisiert unterschiedliche Störgrade und berücksichtigt sowohl die Emissionsträchtigkeit, als auch Immissionsempfindlichkeit verschiedener Nutzungen<sup>194</sup>:

- „nicht störend“ (WS, WR, WA),
- „nicht wesentlich störend“ (MD, MI, MK),
- „nicht erheblich belästigend“ (GE) und
- „störend“ bzw. „belästigend“ (GI)

Von großer praktischer Bedeutung ist die nach § 1 Abs. 4 BauNVO vorgesehene Möglichkeit, Baugebiete „nach der Art der zulässigen Nutzung [sowie] nach der Art der Betriebe und Anlagen und deren besonderen Bedürfnissen und Eigenschaften [zu] gliedern“.<sup>195</sup> Diesbezügliche Relevanz kommt der sog. Schallkontingentierung zu, bei der flächenbezogene Schalleistungspegel definiert werden können.<sup>196</sup>

Im Baugesetzbuch wird unter §9 (1) 24. BauGB festgehalten, dass aus städtebaulichen Gründen im Bebauungsplan „die von der Bebauung freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzung, [...] zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen“ oder bauliche und technische Maßnahmen zum Schutz vor zu hohen Emissionen festgesetzt werden können.<sup>197</sup>

#### Gewerbelärm

---

<sup>193</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

<sup>194</sup> Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg 2010, S. 7.

<sup>195</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

<sup>196</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 24.

<sup>197</sup> dejure.org 2017.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Gewerbelärm betrifft alle „durch gewerbliche und industrielle Lärmquellen verursachten Geräusche störenden Charakters [...]. Diese sind gewöhnlich an den Betrieb von Anlagen gebunden“.<sup>198</sup> Die Planung gewerblicher Anlagen betrifft immissionsschutz- und baurechtliche Gesichtspunkte.

Von Bedeutung ist die Unterscheidung zwischen genehmigungsbedürftigen sowie nicht-genehmigungsbedürftigen Anlagen und den jeweils zu beachtenden Betreiberpflichten. Ob es sich um eine genehmigungsbedürftige Anlage handelt oder nicht, wird durch die Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) geregelt.<sup>199</sup> Die immissionsschutzrechtliche Beurteilung sowie die Ermittlung von Schallimmissionen sind von dieser Unterscheidung unabhängig. In beiden Fällen erfolgt die Beurteilung nach TA Lärm.

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens werden alle Anlagenteile und Verfahrensschritte betrachtet, die zum Anlagenbetrieb erforderlich sind. Zusätzlich erstreckt sich das Genehmigungsverfahren auf alle Nebeneinrichtungen, die mit den Anlagenteilen und Verfahrensschritten in einem räumlichen und betriebstechnischen Zusammenhang stehen und die sowohl für das Entstehen als auch die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen von Bedeutung sein können.

Nach § 5 Abs. 1 BImSchG hat der Betreiber einer Anlage diese so zu errichten und zu betreiben, dass keine „schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft“ hervorgerufen werden können.<sup>200</sup> Zudem hat der Betreiber seiner Vorsorgepflicht nach § 5 Abs. 1 S. 2 BImSchG nachzukommen, wonach er Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen zu treffen hat. Die Vorsorgepflicht zielt insbesondere auf die Umsetzung von den dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung ab.<sup>201</sup>

Gleichermaßen existieren Betreiberpflichten nicht genehmigungspflichtiger Anlagen. § 22 Abs. 1 BImSchG verpflichtet Betreiber, nicht genehmigungspflichtige Anlagen so zu errichten, dass „schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind“ [und die] „nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden“.<sup>202</sup>

Der Anlagenbegriff nach § 3 BImSchG umfasst gewisse Arten von Fahrzeugen, wie z. B. Gabelstapler oder Baumaschinen, die nicht am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmen. Kraftfahrzeuge, insbesondere Lastkraftwagen, die in einem funktionalen Zusammenhang mit dem Betrieb einer Anlage stehen, werden der Anlage bzw. dem Anlagengeräusch hinzugerechnet.<sup>203</sup>

Genehmigungsverfahren für Gewerbe- und Industrieanlagen beziehen sich bei der Beurteilung schädlicher Umwelteinwirkungen durch Geräusche auf die Immissionsrichtwerte der TA Lärm. Nach 3.2.1 TA Lärm, ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Geräusche sichergestellt, wenn die Gesamtbelastung am maßgeblichen Immissionsort die Immissionsrichtwerte nicht überschreitet. Als maßgeblichen Immissionsort definiert die TA Lärm nach 2.3 TA Lärm den Ort im Einwirkungsbereich der Anlage, an der die Überschreitung der Immissionsrichtwerte am ehesten zu erwarten ist. Bei bebauten Flächen liegt dieser vor dem geöffneten Fenster

---

<sup>198</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 88.

<sup>199</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

<sup>200</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

<sup>201</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, S. 2.

<sup>202</sup> Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, S. 1–2.

<sup>203</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 93.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

schutzwürdiger Räume. Sind die Flächen bisher unbebaut, befindet sich der maßgebliche Immissionsort am Rand der Flächen, auf denen Gebäude mit schutzbedürftigen Räumen errichtet werden dürfen.

Immissionsrichtwerte nach TA Lärm sind für den Beurteilungspegel als auch für den zulässigen Maximalpegel einzelner Schallereignisse gestaffelt nach der Schutzwürdigkeit der Gebietskategorie nach BauNVO.<sup>204</sup> Die TA Lärm berücksichtigt bei der Einhaltung einzelner Geräuschspitzen. Diese dürfen die Immissionsrichtwerte tagsüber um nicht mehr als 30 dB(A) und nachts um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.<sup>205</sup>

Die TA Lärm verwendet den Terminus Immissionsrichtwert. Immissionsrichtwerte spiegeln nicht die absolute Grenze der Erheblichkeit (Zumutbarkeit) wider. Sonderfälle, die sich durch „eine Anzahl von Faktoren, die die Belästigung beeinflussen, deren Gewichtung im Einzelfall jedoch sehr unterschiedlich sein kann“ begründen, können im Rahmen einer Sonderfallprüfung genehmigt werden, wengleich die Gesamtbelastung gemessener Schallereignisse oberhalb der Immissionsrichtwerte liegt. Ein beispielhafter Sonderfall stellt eine historisch gewachsene Gemengelage dar, in der gewerblich bzw. industriell genutzte Gebiete an Wohngebiete grenzen.<sup>206</sup>

Im Grundsatz erfolgt die Beurteilung der Anlagengeräusche anhand des Beurteilungspegels und der Maximalwerte einzelner Schallereignisse als Summe aus Vor- und Zusatzbelastung:



**Abbildung 56: Gesamtbelastung (Quelle: Eigene Darstellung SSR in Anlehnung an Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a)**

Die Vorbelastung umfasst alle Immissionen durch Anlagen, die in den Geltungsbereich der TA Lärm fallen, ohne den Beitrag der zu genehmigenden Anlagen. Dieser geht als Zusatzbelastung in die Gesamtbelastung ein.<sup>207</sup>

<sup>204</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 100.

<sup>205</sup> Die Bundesregierung.

<sup>206</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 100.

<sup>207</sup> Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg 2013a, S. 101.

### 4.3 Technische, bauliche und neue Technologien zur Lärminderung

Im Rahmen des Projekts Leiser Hafen wurden eine Vielzahl von Lärminderungsmaßnahmen identifiziert. Die Maßnahmen wurden durch Rechercharbeiten, Gesprächen mit Stakeholdern und Workshops mit Lärmgutachtern durch alle Projektpartner des Konsortiums gesammelt und aufgenommen.

Die Maßnahmen sind entsprechend ihrer Merkmale in die Kategorien bauliche, organisatorische, technisch/organisatorische und technische Maßnahmen eingeordnet. Zudem wurden aus stadtplanerischer Sicht Maßnahmen im Bereich Stadtentwicklung/ Städtebau und Maßnahmen im Planungsrecht mit in die Betrachtung aufgenommen. In Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern wurden den folgenden Potenzialfeldern Lärminderungsmaßnahmen zugeordnet:

Nicht alle im Rahmen des Projekts identifizierten Maßnahmen, konnten in die nachfolgende Betrachtung und Darstellung aufgenommen werden. Die Gründe hierfür sind u.a. fehlende Informationen bzw. Quellen über einzelne identifizierte Maßnahmen, fehlende Relevanz und Restriktionen des Projektumfangs. Ziel der Aufnahme und Auflistung von potenziellen Lärminderungsmaßnahmen ist, das Aufzeigen von naheliegenden und erprobten (beispielsweise Lärmschutzwänden) sowie eher unbekanntem (beispielsweise automatische Warnsignalanpassungen (AWS)) bis hin zu neuartigen (beispielsweise gegenphasige Antischall-Technik) Maßnahmen. Dies soll dazu beitragen, dass das Wissen und Informationen über Lärminderungsmaßnahmen eine höhere Verbreitung und Durchdringung erhält.

Der Fokus liegt auf technischen Maßnahmen, die mit insgesamt 30 identifizierten Maßnahmen den größten Anteil an den dargestellten Lärminderungsmaßnahmen haben. Für jede der Maßnahmen existieren im Anhang Steckbriefe, die den vier Hauptkategorien (vgl. Kapitel 3.4) und entsprechenden Lärmquellen zugeordnet sind. Darüber hinaus werden für jede Lärminderungsmaßnahme die qualitative und teilweise auch quantitative Wirkung und die Umsetzbarkeit der jeweiligen Maßnahme beschrieben. Da jeder Hafen bezüglich seiner Schallemissionen individuell ist, müssen für jeden Hafen individuelle, angepasste Lärmmaßnahmen definiert werden. Für bestimmte Lärmquellen wurden mehrere Lärminderungsmaßnahmen identifiziert. Eine monetäre Bewertung von Lärminderungsmaßnahmen ist nur in Einzelfällen durchführbar, da jedes schalltechnische Gesamtbild individuell und nur sehr eingeschränkt auf andere Situationen übertragbar ist.

Die aufgelisteten Lärminderungsmaßnahmen stellen einen Maßnahmenkatalog dar, der bei der Identifizierung, Auswahl und Bewertung von Maßnahmenbündeln und Einzelmaßnahmen, je nach Anwendungs- und Einsatzfeld, unterstützen kann. Mit Hilfe des Maßnahmenkatalogs kann somit eine wertvolle Vorauswahl der Maßnahmen vorgenommen werden, die in einem darauf aufbauenden Schritt detaillierter, beispielsweise durch die Erstellung eines schalltechnischen Gutachtens, untersucht und betrachtet werden können. Die hier durchgeführten Arbeiten sind Grundlage für die Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix. Durch die Zuordnung der identifizierten Lärmquellen (vgl. Kapitel 3 und Kapitel 4) zu den Lärminderungsmaßnahmen des Maßnahmenkatalogs entsteht eine Ursachen-Maßnahmen-Matrix (vgl. Kapitel 5.2). In Zusammenarbeit mit den Konsortialpartnern wurden den folgenden Potenzialfeldern Lärminderungsmaßnahmen zugeordnet:



#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten



Abbildung 57: Maßnahmenzuordnung Potenzialfelder (Quelle: Eigene Darstellung SSR)

In Tabelle 16 ist die Zuordnung von Maßnahmen zu Lärmquellen dargestellt. Die Tabelle bezieht sich jedoch nur auf bauliche, organisatorische, technisch/organisatorische und technische Maßnahmen. Maßnahmen im Planungsrecht und im Bereich der Stadtentwicklung / Städtebau werden im Verlauf des Kapitels näher erläutert.

Einordnung der Maßnahmen	Steckbrief-Maßnahmen	Lärmquellen (Beispiele)
<b>bauliche Maßnahme</b>	Flüsterasphalt - Offenporiger Asphalt	Reifen-Fahrbahn-Geräusche
	Kapselung des Hydraulikaggregats des Spreaders	Be- und Entladen – Lastaufnahme und -abgabe
	Polyurethanplatten als Kontaktschutz zwischen Rampe und Anlegestelle	Rampe
<b>organisatorische Maßnahme</b>	Reduzierung der Geschwindigkeitsbegrenzung (Tempo 30 Limit)	Fahrstil eines Lkw-Fahrers
	Schulungen für Berufskraftfahrer / Lkw-Fahrer zur Straßenverkehrssicherheit	Fahrstil eines Lkw-Fahrers
	Schulungen für Personal	Fahrstil eines Lkw-Fahrers
	„Gamification“ - Übertragung spieltypischer Elemente in spielfremde Zusammenhänge	Fahrstil eines Lkw-Fahrers
	Austausch alter Flurfördergeräte	Antriebsart des Terminalfahrzeugs

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

	Schulung der Hafenmitarbeiter / Fahrer	Antriebsart des Terminalfahrzeugs
<b>technisch/ organisatorische Maßnahme</b>	Lkw-Zulaufsteuerung "Integrated Truck Guidance" (kurz: ITG)	Ungesteuerter / nicht-wertschöpfender Verkehrsfluss
	Einführung eines Pre-Gate-Parking-Systems	Ungesteuerter / nicht-wertschöpfender Verkehrsfluss
	Errichtung einer Lärmschutzwand und Nutzung einer Schallreflexion durch „Schallbeugung“	Kühlung (Netz- / Dieselbetrieb)
<b>technische Maßnahme</b>	Schallabsorbierender Radkasten	Reifen-Fahrbahn-Geräusche
	Montage lärmarmen Reifen	Reifen-Fahrbahn-Geräusche
	Aktive Lärmreduzierung durch Antischall-Technik	Kühltransport (Netzbetrieb / Diesel)
	Entschärfung der Rückfahrwarner durch Multifrequenz-Rückfahrwarner	Rückfahrwarner
	Alternative Antriebstechnologien – Elektromotor und Hybridantrieb mit Netzanschluss	Antriebsart der Güterzuglokomotive
	Automatische Warnsignalpegelanpassung (AWS)	Warnsignalton
	Umstellung von Grauguss-Bremsklötze auf Kunststoff-Bremsklötze – Einsatz der „Flüsterbremse“	Bremsen- und Kurvengeräusche
	Einsatz von alternativen Antriebsarten – LNG-Motoren	Antriebsart der Schiffe
	Einsatz von alternativen Antriebsarten – Elektro-Binnenschiff auf Basis der LOHC-Technik	Antriebsart der Schiffe
	Landstromversorgung	Liege- und Generatorengeräusche
	„LNG-Power-Barge“ – Flüssiggaskraftwerksschiff	Liege- und Generatorengeräusche
	Hafenschalldämpfer	Liege- und Generatorengeräusche
	Soft Landing für die Containerverladung	Be- und Entladen – Lastaufnahme und -abgabe
	Ausstattung der Spreader mit Schwingungsdämpfer	Be- und Entladen – Lastaufnahme und -abgabe

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

	Boden-, Dach- und Wanddämpfung des Windenhauses	Kran-Drehbewegung
	Alternative Antriebsarten der Winden – Elektrisch, mechanisch oder hydraulisch	Kran-Heben- und Senkbewegungen
	Einhausung der Hydraulik – Kapselung des Antriebs	Kran-Heben- und Senkbewegungen
	Verringerung der Bremsgeräusche durch Verbesserung der Schienenklemmung	Kranfahrten
	Verbesserung und Umgestaltung der Pendelstützen	Kranfahrten
	Temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters	Kranfahrten
	Verlegung der Fahrwerksmotoren in den Lastenträger	Katzfahrten
	Dämpfung des Kastenträgers	Katzfahrten
	Rückfahrwarner entschärfen	Rückfahrwarner
	Warnsignalton - Frequenzanpassung an Umgebungslautstärke	Rückfahrwarner
	Einsatz von alternativen Antriebsarten - Hybrid-Reachstacker	Antriebsart des Terminalfahrzeugs
	Ausstattung der Flurförderzeuge mit Drehstromtechnik	Antriebsart des Terminalfahrzeugs
	Schalldämmende Kapselung	Be- und Entladen (Kompressoren)
	Isolierung mehrerer Kompressoren in einem Raum	Be- und Entladen (Kompressoren)
	Einhausung von Hafen- / Aufbereitungsanlagen	Brecher, Schere, Schrottpresse und Siebanlage

**Tabelle 16: Lärmquellen – Lärmmaßnahmen Zuordnung (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)**

Eine detaillierte Zusammenstellung von jeweils zugeordneten Maßnahmen zu den Lärmquellen erfolgte gemeinsam mit den Verbundpartnern.

Unter „kleinen Maßnahmen“ zur Lärminderung im städtischen Raum werden nachfolgend Maßnahmen verstanden, die mit geringem finanziellen Aufwand umsetzbar sind. In der Literatur existieren nur wenige Kostenkennwerte, mit denen sich der Kostenumfang einer Lärmschutzmaßnahme konkret beziffern lässt. Beispielhaft fallen für die in untenstehender Tabelle aufgeführten Maßnahmen folgende Kosten an:

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Maßnahme	Kosten
Errichtungskosten Lärmschutzwand	255 € / m <sup>2</sup>
Einbau Schallschutzfenster	472 € / Stück
Einbau Schalldämmlüfter	500 € / Stück
Aufstellung Verkehrszeichen für Geschwindigkeitsreduzierung	140 € bis 170 € / Stück

Tabelle 17: Kosten für passive Schallschutzmaßnahmen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach FIRU)

Zumeist lassen sich Kosten von Lärmschutzmaßnahmen, die dem Themenfeld Stadtentwicklung und Städtebau zuzuordnen sind, nicht konkret beziffern. Allerdings können Kosten ebenso wie Aufwände und Realisierungszeiträume qualitativ eingeordnet werden:

Maßnahme	Wirkung	Aufwand für Umsetzung	Realisierungszeitraum	Kosten
Verkehrslenkung	gering bis groß (0-7 dB(A))	gering bis groß (bei Baumaßnahmen)	kurzfristig bis langfristig	gering bis groß
Durchgangsverkehr komplett umleiten	groß (7 dB(A)) bei 80% Umleitung	groß	langfristig	sehr hoch
Geschwindigkeit beschränken	gering bis mittel	gering	kurzfristig	gering
Verkehrsfluss verstetigen	gering (1-3 dB(A))	gering bis mittel	kurz bis mittel	gering bis mittel
Verbesserung bestehender Fahrbahnbeläge	mittel (2-6 dB(A))	groß; in Verbindung mit anstehender Sanierung aber gering	mittel bis langfristig	hoch; bei anstehender Sanierung aber geringer

Tabelle 18: Übersicht zu möglichen Maßnahmen mit zugehörigen Lärmreduzierungen und Kostenaufwendungen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach Spiekermann 2008)

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Maßnahme	Wirkung	Aufwand für Umsetzung	Realisierungszeitraum	Kosten
<b>Lärmschutzwände</b>	groß bis sehr groß (5-30 dB(A))	mittel bis groß je nach Ausführung	mittel bis langfristig	hoch; je nach Ausführung  zwischen 200,- und 500,-  €/m <sup>2</sup>
<b>Lärmschutzwälle</b>	groß bis sehr groß (5-30 dB(A))	mittel bis groß je nach Ausführung	mittel bis langfristig	Bei vorhandene m  Material und günstigem Grunderwerb  deutlich geringer als  bei Wänden (50-60 €/m <sup>2</sup> bzw. 10 €/m <sup>3</sup> )
<b>Lärmindernde, offenporige Fahrbahndeckschichten</b>	groß (5-8 dB(A))	groß	lang bis mittelfristig	hoch, jedoch Einzelfallbetrachtung  notwendig
<b>Lärmschutz durch städtebauliche Maßnahmen</b>	mittel bis groß	bei frühzeitiger Integration  in anstehende  Planungen gering	mittel- bis langfristig	bei frühzeitiger  Integration in anstehende  können  Kosten gering  gehalten werden

Tabelle 19: Übersicht zu möglichen Maßnahmen mit zugehörigen Lärmreduzierungen und Kostenaufwendungen (Quelle: Eigene Darstellung SSR nach Spiekermann 2008, S. 27)

Nach innovativen Ansätzen zum Umgang mit Lärm in Binnenhäfen wurde im Rahmen der Auswertung bereits bestehender Forschungsprojekte gesucht. Lösungsansätze mit prozesshaftem und dialogorientiertem Charakter fließen in das innerhalb des sechsten Kapitels erläuterten integrierten Hafentwicklungskonzepts ein.

#### 4 Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten

Effekte von Lärmschutzmaßnahmen äußern sich aus Sicht der Stadtentwicklung neben ihrem Lärminderungspotenzial v.a. durch flankierende Wirkungen auf stadtgestalterisch und stadtökologisch relevante Themen sowie auf die Verkehrssicherheit. Maßnahmen zur Lärminderung können daher auch Wirkungen auf andere Zielfelder haben.

Stadtgestalterischen Einfluss nehmen Lärmschutzmaßnahmen immer dann, wenn durch ihre Umsetzung das Ortsbild in besonderem Maße verändert wird. Beispielsweise stellen Lärmschutzwände angesichts der für einen wirksamen Schutz erforderlichen Höhe einen störenden Fremdkörper im Stadtbild dar. Es bedarf daher Lösungen und Gestaltungsregeln, wie Lärmschutzwände so in das Stadtbild integriert werden können, dass negative Auswirkungen so gering wie möglich gehalten werden und optische Trennwirkungen auf ein Minimum reduziert werden. Beispielsweise können an Stellen mit wichtigen städtebaulichen Bezügen transparente Konstruktionen als Ersatz für geschlossene Wände Verwendung finden. Ein weiteres Beispiel, das den Einfluss von Lärmschutzmaßnahmen auf das Stadtbild veranschaulichen soll, stellt die Verwendung leiser Straßenbeläge sowohl bei der Sanierung von Belägen als auch beim Neubau von Straßen dar. Pflasterbeläge tragen in historischen Stadtgebieten wesentlich zu einer Aufwertung des Stadtbildes bei. Aufgrund ihrer rauen Oberfläche ist ihr Einfluss auf die Lärmbelastung der örtlichen Anwohner aber keinesfalls zu unterschätzen. Lärmschutzmaßnahmen passiver Art ohne unmittelbar negativen Einfluss auf das Stadtbild ergeben sich beispielsweise durch eine lärmoptimierte Grundrissgestaltung, eine lärmabschirmende Bebauung oder geänderte Gebäudestellungen.

Stadtökologischen Einfluss können Lärmschutzmaßnahmen im Hinblick auf die Reduzierung der Luftschadstoffbelastung haben. Untersuchungen belegen, dass die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen von 50 km/h auf 30 km/h, die verkehrsbedingte Zusatzbelastung von Stickstoffdioxid um bis zu 15 % senken kann. Bei Feinstaub (PM<sub>10</sub>) beträgt der Rückgang ein Drittel unter der Voraussetzung, dass der Verkehr stetig fließt. Gleichzeitig belegen Untersuchungen, dass eine Verringerung der Geschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h eine Minderung des Mittelungspegels von ca. 2,5 dB(A) bewirken kann.

Neben ihrem stadtökologischen Einfluss haben Lärmschutzmaßnahmen Einfluss auf die Erhöhung der Verkehrssicherheit und die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum. Umgekehrt kann die Verkehrssicherheit allerdings auch beeinträchtigt werden, sofern durch die Errichtung einer Lärmschutzwand die Einsicht insbesondere in Kurven, bei Einmündungen oder Fußgängerstreifen eingeschränkt wird.

Im nachfolgenden Kapitel werden die hier in groben Zügen aufgeführten flankierenden Effekte von Lärmschutzmaßnahmen in einer Matrix unterschiedlichen Zielfeldern in detaillierter Form zugeordnet. Der hier entwickelte Maßnahmenkatalog ist Grundlage für den dritten Schritt des strategischem Ablaufschemas (vgl. Abbildung 61).

## 5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

Ziel dieses Kapitels ist die Zuordnung der Lärmschutz-Maßnahmen zu den jeweiligen Logistikprozessen in einer Matrix und die qualitative sowie quantitative Bewertung dieser.

### 5.1 Kriterien für logistische Effizienz und Lärmemissionen

Unter Effizienz wird der in der Literatur weit verbreitete Ansatz über die Relation zwischen erbrachter Logistikleistung und eingesetzten Logistikkosten verstanden. Dies entspricht dem Verhältnis von Input und Output. Ein Logistiksystem gilt als effizient, wenn es mit möglichst geringen Logistikkosten eine möglichst hohe Logistikleistung erbringt.<sup>208</sup>

Mithilfe der VDI Richtlinie 4400 kann die Effizienz von logistischen Abläufen durch die Definition von Kennzahlen branchenunabhängig messbar gemacht werden. Die Richtlinie unterscheidet zwischen den drei Bereichen Beschaffung, Produktion und Distribution, wobei letzterer im Rahmen dieses Projektes verwendet wird. Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, sind die Kennzahlen nach den Zielsystemen „Hohe Logistikleistung“ und „Geringe Logistikkosten“ unterteilt. Das Ziel einer hohen Logistikleistung beinhaltet Kennzahlen für Durchlaufzeit, Produktivität und Lieferservice. Zum Ziel geringer Logistikkosten gehören Kennzahlen für Bestands- und Prozesskosten. Ergänzt wird das System abschließend durch Strukturkennzahlen, die der Interpretation der Leistungs- und Kostenparameter dienen und keinem Ziel zugeordnet werden können.<sup>209</sup>

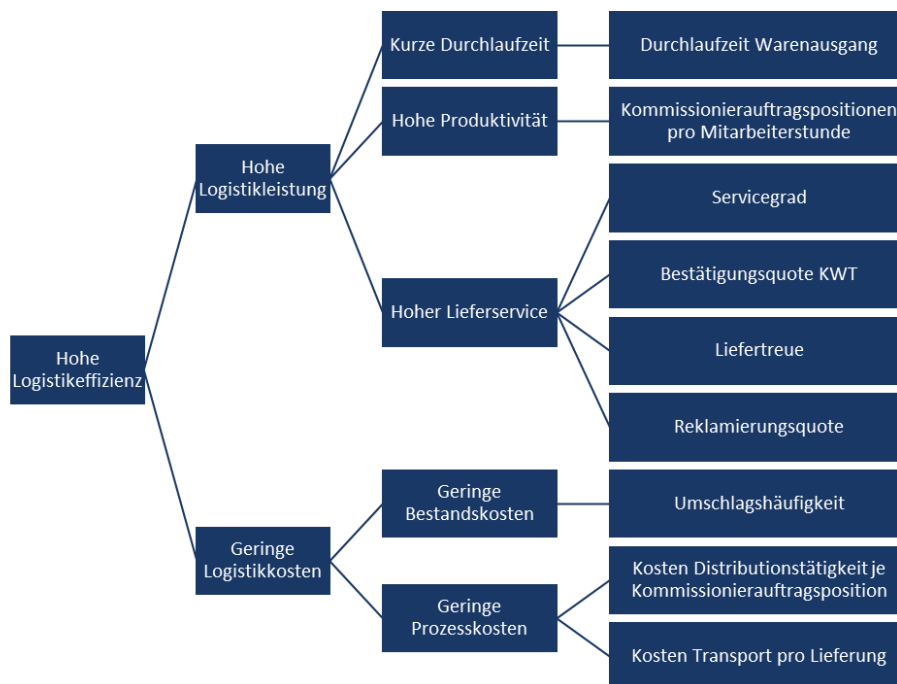


Abbildung 58: Kennzahlensystem Distribution (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an (Verein Deutscher Ingenieure 2002))

<sup>208</sup> Arnold et al. 2008, S. 39–40.

<sup>209</sup> Verein Deutscher Ingenieure 2002.

## 5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

Eine weitere Möglichkeit für ein Zielsystem beschreibt Fleischmann.<sup>210</sup> Als oberstes Ziele der Logistik nennt er ebenfalls eine hohe Logistikleistung und geringe Logistikkosten entsprechend dem klassischen Effizienzgedanken der Logistik. Zusätzlich dazu erweitert er sein Zielsystem um ökologische Aspekte. Die negativen Auswirkungen durch beispielsweise Schadstoffemissionen sowie Lärm sollen möglichst geringgehalten werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die ökologischen Ziele generell in Konflikt mit den ökonomischen Zielen stehen.<sup>211</sup>



Abbildung 59: Zielsystem der Logistik (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML in Anlehnung an Arnold et al. 2008)

### Kriterien zum Filtern der Maßnahmen

Um die gesammelten Maßnahmen zu filtern, bedarf es harten Bewertungskriterien. Die zwei im Folgenden beschriebenen Kriterien zählen zu dieser Kategorie. Die Maßnahmen müssen die genannten Kriterien erfüllen, ansonsten entfallen sie aus der weiteren Betrachtung im Rahmen des Projekts

Einbindung der Akteure: Um Lärminderungsmaßnahmen erfolgreich umzusetzen, müssen bei deren Auswahl alle notwendigen Akteure berücksichtigt werden. Diese wurden definiert als Infrastrukturbetreiber, Interessensgruppen, Logistik und Verlager, Stadtplanung und Akteure der politischen Rahmenbedingungen. Nur so kann verhindert werden, dass Maßnahmen ausgewählt und ausgearbeitet werden, welche sich durch gegenseitige Beeinflussung der Akteure nicht realisieren lassen.

Technische Eignung: Ein weiteres Kriterium ist die technische Eignung der Maßnahmen. Geeignet sind Maßnahmen, die durch ihre Merkmale und Eigenschaften dazu in der Lage sind, einen bestimmten Zweck erfolgreich zu erfüllen.<sup>212</sup> Maßnahmen sind beispielsweise technisch ungeeignet, wenn Aufwand und Nutzen in keinem sinnvollen Verhältnis zueinander stehen oder die Maßnahmen an einem bestimmten Einsatzort technisch nicht umsetzbar sind.<sup>213</sup>

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zwei Arten von Kennzahlen zur Bewertung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln entwickelt. Die eine Kennzahlenart sind Muss-Kennzahlen. Diese beschreiben die Logistikleistung und die Wirtschaftlichkeit. Die Kann-Kennzahlen hingegen sind nicht zwingend zu erfüllen, tragen aber zur Auswahl der passenden Maßnahme bei.

<sup>210</sup> Arnold et al. 2008.

<sup>211</sup> Arnold et al. 2008, 7ff.

<sup>212</sup> Gabler Wirtschaftslexikon 2018c.

<sup>213</sup> Universität Trier 2008, S. 2.



## 5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

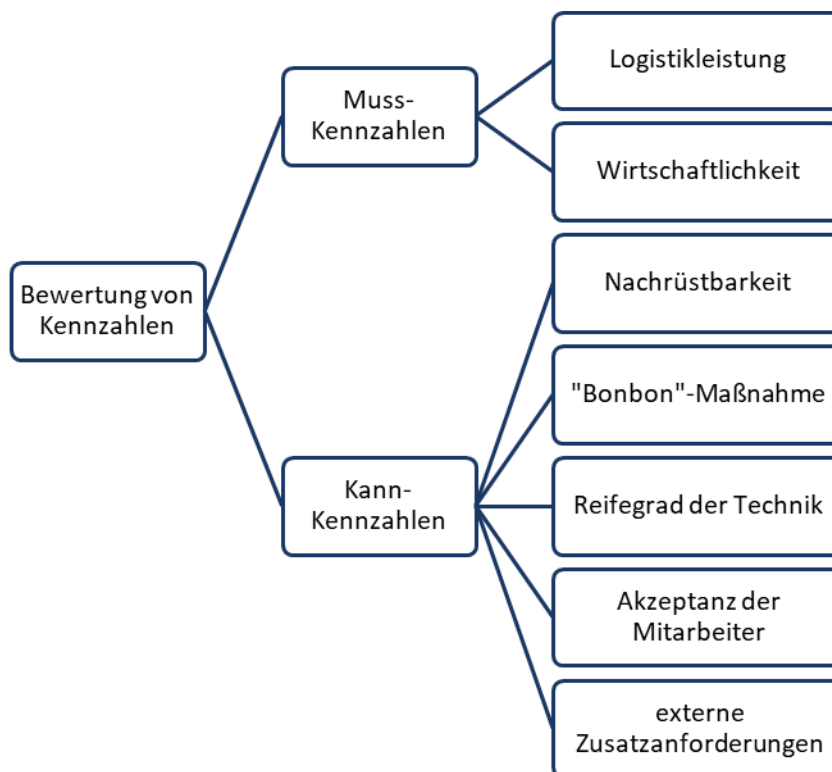


Abbildung 60: Kennzahlen zur Bewertung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln (Quelle: Eigene Darstellung Projektkonsortium)

Abbildung 60

### 5.2 Ursachen-Maßnahmen-Matrix

In diesem Kapitel erfolgt die Zuordnung von Lärminderungsmaßnahmen zu Logistikprozessen beziehungsweise Lärmquellen. Die Matrix basiert grundsätzlich auf den vier in Kapitel 3.3 definierten Hauptkategorien. Diese sind Wirtschaftsverkehr, Verkehrsmittel, Güterstrukturen sowie Umschlag- und Umfuhrequisit.

Des Weiteren basiert die Ursachen-Maßnahmen-Matrix auf den bereits vorgestellten Arbeitsergebnissen. Diese sind Wirtschaftsverkehr, Verkehrsmittel, Güterstrukturen sowie Umschlag- und Umfuhrequisit.

Die im Konsortium identifizierten Lärmquellen und Lärminderungsmaßnahmen sind nach Haupt- und Unterkategorien eingeordnet. Jede Hauptkategorie, ist in mehrere lärmbezogene Unterkategorien unterteilt. Beispielsweise ist die Hauptkategorie Wirtschaftsverkehr, im Rahmen des Projekts Leiser Hafen, in die Unterkategorien Güterverkehr und Personenverkehr unterteilt. Diesen Unterkategorien sind wiederum ursachenbezogene Lärmquellen zugeordnet, die im Rahmen der Haupt- bzw. Unterkategorien verursacht werden (vgl. Tabelle 15). Bei der Erstellung der Ursachen-Maßnahmen-Matrix sollten Lärminderungsmaßnahmen und Logistikprozesse aufgenommen und ermittelt werden. Aus Gründen der Übertragbarkeit und Komplexitätsreduktion wurde dieses Vorgehen nicht weiterverfolgt und der Ansatz der Verwendung eines Morphologischen Kastens, zur Beschreibung der relevanten Logistikprozesse (vgl. Kapitel 3.3), verwendet. Dies hat den Vorteil, dass die zu betrachtende Logistikprozesse unternehmensunabhängig gebildet werden können. Durch diese Abstraktionsebene ist eine Generalisierung und Übertragbarkeit der Ursachen-Maßnahmen-Matrix gewährleistet und es können alle relevanten Logistikprozesse abgebildet werden. Die Kriterien zur Bewertung der Lärminderungsmaßnahmen wurden durch das Konsortium erarbeitet und in Kapitel 5.1 vorgestellt.

## 5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

Die Zuordnung der Lärminderungsmaßnahmen zu den Logistikprozessen des Morphologischen Kastens erfolgte anhand der im Konsortium identifizierten Lärmquellen und Lärminderungsmaßnahmen, die zusätzlich nach Haupt- und Unterkategorien eingeordnet sind. Jede Hauptkategorie, ist in mehrere lärmbezogene Unterkategorien unterteilt. Beispielsweise ist die Hauptkategorie Wirtschaftsverkehr, im Rahmen des Projekts Leiser Hafen, in die Unterkategorien Güterverkehr und Personenverkehr unterteilt. Diesen Unterkategorien sind wiederum ursachenbezogene Lärmquellen zugeordnet, die im Rahmen der Haupt- bzw. Unterkategorien verursacht werden (vgl. Tabelle 15). Den Lärmquellen sind spezielle Lärminderungsmaßnahmen zugeordnet, die zu einer Reduzierung der Emissionen bzw. Immissionen führen. Die hier aufgelisteten Lärminderungsmaßnahmen stellen eine Auswahl dar, die detaillierter im Anhang, in Form von Steckbriefen, beschrieben werden. Die Zusammenhänge zwischen den Ursachen (Lärmquellen) und Maßnahmen (Lärminderungsmaßnahmen) wird anhand der nachfolgenden Tabelle verdeutlicht.

Die qualitativen und quantitativen Auswirkungen von ausgewählten Maßnahmenbündeln und Einzelmaßnahmen sind sowohl in Kapitel 3.6 am Beispiel des Virtuellen Hafens dargestellt als auch anhand von durchgeführten und ausgewerteten Messergebnissen durch Peutz Consult (Kapitel 3.5) sowie den Isophonen-Berechnungen zum virtuellen Hafen.

Hauptkategorien	Unter-kategorien	Lärmquellen	Lärminderungsmaßnahmen
<b>1. Wirtschafts- verkehr</b>	1.1 Güterverkehr	Reifen-Fahrbahn- Geräusche	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flüsterasphalt</li> <li>2. Schallabsorbierender Radkasten</li> <li>3. Montage lärmarrer Reifen</li> </ol>
		Ungesteuerter Verkehrsfluss	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lkw-Zulaufsteuerung „Integrated Truck Guidance“</li> <li>2. Einführung Pre-Gate-Parking-Systems</li> </ol>
		Kühltransport	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Antischall-Technik</li> </ol>
<b>2. Verkehrsmittel</b>	2.1 Pkw / LNfZ & SNfZ	Antriebsart	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. LNG Antrieb</li> <li>2. Elektro-/Hybridantrieb</li> </ol>
		Fahrstil	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzierung Geschwindigkeitsbegrenzung (Tempo 30 Limit)</li> <li>2. Schulungen</li> </ol>
		Rückfahrwarner	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Multifrequenz-Rückfahrwarner</li> </ol>
	2.2 Lokomotive + Wagon	Warnsignalton	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Automatische Warnsignalpegelanpassung</li> </ol>
		Bremsen und Kurvenquietschen	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Umstellung auf Kunststoff-Bremsklötze (Flüsterbremse)</li> </ol>

5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

		Antriebsart	1. Elektro-/Hybridantrieb mit Netzanschluss
	2.3 Binnenschiff	Antriebsart	1. LNG-Motoren 2. Elektro-Binnenschiff auf Basis LOHC-Technik
		Liege- und Generatorengeräusche	1. Landstromversorgung 2. LNG-Power-Barge
<b>3. Unterschiedliche Güterstrukturen</b>	3.1 Massen- und Schüttgut	Brecher, Schere, Schrottpresse, Siebanlage	1. Einhausung der Hafenanlagen
	3.2 Kühlcontainer (und Stückgut)	Kühlung	1. Lärmschutzwand und Nutzung einer Schallreflexion durch Schallbeugung 2. Antischall-Technik
<b>4. Umschlag und Umschlagsequipment</b>	4.1 Krane	Be- und Entladen	1. Soft Landing für Containerverladung 2. Ausstattung der Spreader mit Schwingungsdämpfer 3. Kapselung des Hydraulikaggregats des Spreaders
		Drehen	1. Boden-, Dach- und Wanddämpfung des Windenhauses
		Heben und Senken	1. Elektrischer, mechanischer, hydraulischer Antrieb für Winden 2. Einhausung der Hydraulik
		Kranfahrten	1. Verbesserung der Schienenklemmung 2. Umgestaltung der Pendelstützen 3. Temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters
		Kratzfahrten	1. Verlegung Fahrwerksmotoren in den Lastenträger 2. Dämpfung des Kastenträgers
		Rückfahrwarner	1. RFW entschärfen 2. Warnsignalton – Frequenzanpassung an Umgebungslautstärke
		Fahrstil	1. Schulungen 2. Gamification

## 5 Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix

	4.2 Flurfördergerät	Antriebsart	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hybrid-Reachstacker</li> <li>2. FFZ mit Drehstromtechnik</li> <li>3. Austausch alter FFZ</li> </ol>
		Fahrstil	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schulungen (vgl. Lkw)</li> </ol>
	4.3 Silo- und Tankfahrzeuge	Be- und Entladen (Kompressoren)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schalldämpfende Kapselung</li> <li>2. Isolierung mehrerer Kompressoren in einem Raum</li> </ol>
	4.4 RoRo	Rampe	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Polyurethanplatten als Kontaktschutz</li> </ol>

Tabelle 20: Ursachen-Maßnahmen-Matrix (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

In diesem Kapitel wird die Konzeptionierung und Anwendungsstrategieentwicklung beispielhafter Maßnahmen sowie der Aufbau eines Auswahltools zur Identifizierung und Bewertung von Maßnahmen entwickelt.

### 6.1 Konzeptionierung von anwendungskonformen Lärminderungsmaßnahmen

Zur Konzeptionierung wurde ein fünfstufiges Vorgehensmodell definiert (vgl. Abbildung 61), das dem strategischen Ablaufschema entspricht. Der erste Schritt des Vorgehensmodells ist die Identifizierung von Handlungsnotwendigkeiten. Es wurden verschiedene Handlungsnotwendigkeiten identifiziert. Diese sind Neuansiedlung eines Unternehmens im Binnenhafens, der Bestandsschutz eines existierenden Binnenhafens, (getrieben von existierenden Lärmproblematiken), eine proaktive Herangehensweise an die Thematik Lärm in Binnenhäfen, eine Nutzungsausweitung oder Umnutzung von Flächen im Binnenhafen.

Nachdem der Anlass der Handlungsnotwendigkeit durch die Stakeholder definiert wurde, werden in einem zweiten Schritt die Lärmursachen aufgenommen (vgl. Kapitel 3). Dieser Schritt reicht von der Analyse von Akteuren in Binnenhäfen, über Hafenanalysen bis hin zur Erstellung von schalltechnischen Gutachten, damit zielgerichtet Probleme und Beteiligte identifiziert und Anforderungen definiert werden. Das Ergebnis dieses zweiten Schrittes ist die Identifikation von potenziellen Maßnahmen und Maßnahmenbündeln (vgl. Kapitel 5). Basierend auf der in Kapitel 5.2 vorgestellten Matrix, die aus Lärmquellen und zugeordneten Maßnahmen besteht, werden im nächsten Schritt Maßnahmen überprüft, die für den identifizierten Anwendungsfall nutzbar sind. An dieser Stelle wird der im Maßnahmenkatalog und die dazugehörigen Steckbriefe aus baulichen, organisatorischen, technisch/ organisatorischen, technischen, Maßnahmen im Bereich Stadtentwicklung/ Städtebau und Maßnahmen im Planungsrecht eingesetzt. Diese Maßnahmen durchlaufen mehrere Filterungsschritte und werden nach im Voraus definierten Kriterien ausgewählt bzw. als nicht einsetzbar bewertet. Darauf aufbauend erfolgt eine Bewertung der Kriterien nach bestimmten Kennzahlen, die in Muss- und Kann-Kennzahlen unterteilt sind. Grafisch ist dieser Prozess exemplarisch in Abbildung 61 dargestellt. Das strategische Ablaufschema ist hierbei explizit allgemein gehalten, um eine Übertragbarkeit auf weitere Anwendungsfälle und Häfen zu gewährleisten.

6 Konzeptionierung und Anwendung

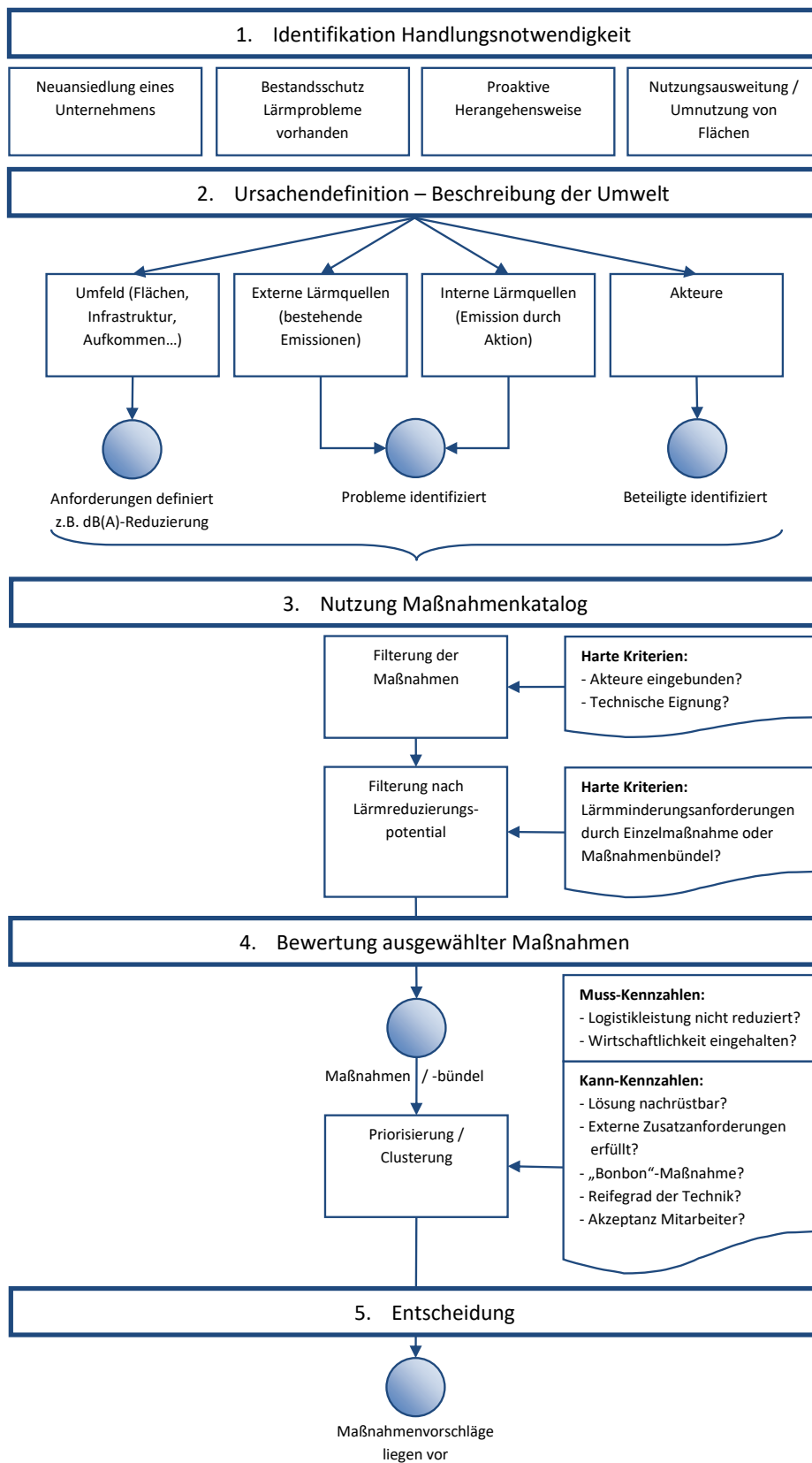


Abbildung 61: strategisches Ablaufschema (Quelle: Fraunhofer IML 2018)

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Durch das strategische Ablaufschema wird ein Leitfaden gegeben, Lärminderungsmaßnahmen situationsbezogen zu identifizieren. Im ersten Schritt (1. Identifikation Handlungsnotwendigkeit) werden die Gründe und Ausgangslage herausgearbeitet, warum Maßnahmen zur Lärmverminderung gesucht werden. Im Rahmen eines Workshops im Projektkonsortium wurden vier Felder, bei denen eine Handlungsnotwendigkeit bezüglich Lärminderungsmaßnahmen im Binnenhafen bestehen, identifiziert.

Die Neuansiedlung eines Unternehmens kann durch die Lage von Binnenhäfen, aber auch übertragen auf Gewerbe- und Urbane Gebiete zu Nutzungskonflikten führen, da Industrie und Wohnen aneinanderheranrücken. Ähnlich ist die Nutzungsausweitung einer Fläche, oder die Umnutzung von Flächen einzuordnen. Durch Lärminderungsmaßnahmen kann auch hier Nutzungskonflikten entgegengewirkt werden. Eine weitere Handlungsnotwendigkeit ist beim Bestandsschutz gegeben. Hierbei geht es um vorhandene Lärmprobleme, die durch Lärminderungsmaßnahmen reduziert werden sollen, um Nutzungskonflikten entgegenzusteuern und den Bestand der Anlagen zu gewährleisten. Auf der anderen Seite ist auch eine proaktive Herangehensweise an das Thema Lärm im Binnenhafen möglich. Durch eine proaktive Vermeidung bzw. Verminderung von Lärm können die oben erwähnten Nutzungskonflikte von Anfang an vermieden werden.

Nachdem die Handlungsnotwendigkeit identifiziert und der Grund für das Lärminderungsvorhaben definiert wurde, wird eine Ursachendefinition vorgenommen. Diese beschreibt die Umwelt des Binnenhafens und zeigt Lärmquellen, Umwelt und beteiligte Akteure auf.

Das Umfeld wird durch die betroffene Fläche, die Infrastruktur, das Aufkommen sowie weitere Umfeldfaktoren bestimmt. Das Umfeld definiert für die folgenden Schritte die Anforderungen (beispielsweise dB(A)-Reduzierungen). Des Weiteren wird im Rahmen der Ursachendefinition eine Definition der betroffenen Lärmquellen vorgenommen. Diese beziehen sich zum einen auf externe Lärmquellen, gekennzeichnet durch bestehende Emissionen und zum anderen auf interne Lärmquellen, die durch Aktionen des betrachteten Prozesses entstehen. Der dritte Parameter im Rahmen der Ursachendefinition ist die Definition der beteiligten Akteure. Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, besteht eine starke Beeinflussung der Akteure untereinander im Binnenhafen. Durch die Identifikation der Beteiligten wird sichergestellt, dass bei der Auswahl von Lärminderungsmaßnahmen alle Interessen berücksichtigt werden.

Durch die Ursachendefinition ist die Lärmquelle mit den beteiligten Akteuren und dem Umfeld so weit definiert worden, dass im nächsten Schritt geprüft wird, welche Maßnahmen zur Verfügung stehen, um eine Lärminderung zu erreichen. Hierzu wird ein Maßnahmenkatalog genutzt, um die Maßnahmen, die zu einer Lärmverminderung führen, zu filtern. Hierfür sind Kriterien zur Einschränkung notwendig. Zum einen ist es wichtig, dass alle relevanten Akteure eingebunden werden, aber auch, dass die Maßnahme technisch für die vorliegende Lärmsituation geeignet ist. Im zweiten Filterungsschritt wird das Lärminderungspotential betrachtet. Hierbei wird bewertet, ob die Lärminderungsmaßnahme den Lärminderungsanforderungen gerecht wird, oder ob ein Maßnahmenbündel gewählt werden sollte, um eine Lärminderung zu erreichen. Der Maßnahmenkatalog für die Filterung der Maßnahmen und der Zuordnung der Lärmquellen und Lärminderungsmaßnahmen zueinander ist in Kapitel 5.2 dargestellt. Das Projekt betrachtet nur eine Auswahl von Lärmquellen und Lärminderungsmaßnahmen. Es ist möglich, dass je nach individuellem Fall weitere Parameter, Lärmquellen und –maßnahmen möglich sind.

Im vierten Schritt werden die ausgewählten Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündel nach Muss- und Kann-Kennzahlen bewertet. Die Muss-Kennzahlen (Logistikleistung und Wirtschaftlichkeit) sind zwingend zu erfüllen, damit die Maßnahme(n) für das vorliegende Lärmproblem in Frage kommen. Durch den Einsatz der Lärminderungsmaßnahme darf die Logistikleistung des betrachteten Prozesses nicht beeinträchtigt werden und die Wirtschaftlichkeit an der Lärmquelle muss weiterhin gewährleistet sein.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Im Bereich der Kann-Kennzahlen finden sich Parameter, die nicht zwingend erfüllt sein müssen damit die Maßnahme angewandt werden kann. Durch die Bewertung mittels der Kann-Kennzahlen kann eine Priorisierung und Clusterung der vorhandenen Lärminderungsmaßnahmen vorgenommen werden. Hierbei spielen die folgenden Aspekte eine Rolle:

- Nachrüstbarkeit der Lösung
- Erfüllung externer Zusatzanforderungen
- „Bonbon“-Maßnahme
- Reifegrad der Technik
- Akzeptanz der Mitarbeiter

Durch die Gewährleistung der Nachrüstbarkeit der Lösung werden große Investitionen vermieden. Wenn eine Lösung an einem bestehenden Objekt installiert bzw. in den vorhandenen Prozess integriert werden kann, werden Neuanschaffungen und Prozessneuerungen vermieden. „Bonbon“-Maßnahmen beschreiben Maßnahmen, die zusätzlich zum eigentlichen Ziel der Lärminderung einen weiteren Nutzen erfüllen. Ein Beispiel für eine Bonbon Maßnahme ist das Anlegen einer Hecke, die schalltechnisch kaum bis gar keine Wirkung hat, aber dafür sorgt, dass Betroffene (bspw. Anwohner) keinen direkten Blick auf lärmintensive Vorgänge haben, was zu einer Reduzierung der individuell wahrgenommenen Störung führen kann, auch wenn messtechnisch keine Reduzierung der dB(A)-Werte festzustellen ist. Der Reifegrad der eingesetzten Technik ist ebenfalls eine Kann-Kennzahl. Wenn die Lösung schon weit entwickelt ist, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass eine einwandfreie Nutzung der Lösung möglich ist. Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Implementierung von Lärminderungsmaßnahmen ist die Akzeptanz der Mitarbeiter. Die Mitarbeiter müssen bei der Einführung der Lösung einbezogen werden.

Nachdem alle oben beschriebenen Schritte des Ablaufschemas durchgeführt worden sind kann eine Entscheidung für eine Lärminderungsmaßnahme / ein Lärminderungsbundle vorgenommen werden.



## 6.2 Integriertes Hafenflächenentwicklungskonzept

Nachfolgende Überlegungen setzen an der Forschungsarbeit „Stadt und Hafen – Entwicklungsperspektiven für eine verträgliche Nachbarschaft von Stadt(-entwicklung) und Hafen(-wirtschaft)“ des Autors Hanjo Hautz aus dem Jahr 2008 an. Die Arbeit untersuchte den Übergang zwischen Stadt und Hafen und lieferte Handlungsempfehlungen für den Umgang des zentrumsfernen Stadt-Hafen-Übergangs am Beispiel Hamburgs. Dieser Übergang stellt nach Auffassung des Autors eine Zone dar, die „infolge veränderter Rahmenbedingungen auf absehbare Zeit weiterhin für Hafenzwecke genutzt, zugleich aber von Stadtplanern für stadtbezogene Nutzungen und Aktivitäten beansprucht“ wird.<sup>214</sup> Im Rahmen der Arbeit wurden für den Stadt-Hafen-Übergang nach räumlichen und baulichen Entwicklungsperspektiven gesucht und dargestellt, wie das Zusammenwirken der betroffenen Akteure des Hafens und der Stadtentwicklung im Rahmen einer integrierten Planung unter ausreichender Berücksichtigung der bereits vorhandenen lokalen Realität verbessert werden könnte. Abschließende Leitfrage betraf die Gestaltung des Transformationsprozesses ehemaliger Hafengebiete vor dem Hintergrund zunehmender Unbestimmtheit und dem doppelten Anspruch auf Planungssicherheit und notwendiger Flexibilität für Anpassungen.

Den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit folgend und aufbauend auf den zuvor dargestellten Ergebnissen und den Hinweisen aus durchgeführten Expertengesprächen wird nachfolgend ein ganzheitlicher Ansatz zum Umgang mit Lärm im Binnenhafen und dessen Umfeld präsentiert. Kerngedanke dieses als Integriertes Hafengebietenentwicklungskonzept (IHEK) bezeichneten Produkts, ist die ganzheitliche und vorausschauende Betrachtung und Bewertung von Hafengebieten und angrenzender schutzbedürftiger Nutzungen unter Einbezug aller in diesem Zusammenhang relevanten Akteure. Im Rahmen der durchgeführten Expertengespräche wurde vielfach deutlich, wie wenig Kenntnis über gegenwärtige Planungsabsichten des Hafengebietenbetreibers besteht und wie sich die gegenwärtige Genehmigungssituation einzelner Flächen im Hafengebieten gestaltet. Das Ziel eines IHEKs besteht daher einerseits in der Herstellung von Transparenz über gegenseitige Planungsabsichten des Hafengebietenbetreibers und der Stadtentwicklung. Weitergehendes Ziel eines derartigen Planungs- und Steuerungsinstrumentes besteht im frühzeitigen Erkennen potenzieller Raumkonkurrenzen, um Nutzungskonflikte bereits in einem frühen Planungsstadium entschärfen zu können.

Erarbeitungs- und Umsetzungsprozesse eines IHEK sind an eine Vielzahl von Organisations- und Abstimmungsbedürfnisse geknüpft. Vor diesem Hintergrund ist der Aufbau einer funktionierenden Organisationsstruktur bedeutsam, die die Verantwortlichkeiten für die Erstellung eines IHEK regelt und eine Beteiligungsnotwendigkeit sowohl auf Seiten des Hafengebietenbetreibers als auch auf Seiten der verschiedenen Ämter und Behörden vermittelt. Verantwortliche auf beiden Seiten müssen ein gemeinsames Bearbeitungsteam zusammenstellen, um das IHEK interdisziplinär bearbeiten zu können. Erforderlichenfalls sind externe Dienstleister im Rahmen des Bearbeitungsprozesses hinzuzuziehen, was v.a. bei konfliktbehafteten Verhältnissen zwischen Stadt und Hafen zu empfehlen ist.

Am Beginn des Erarbeitungsprozesses ist der Untersuchungsraum zu definieren, auf den sich das IHEK bezieht. Kriterien zur Gebietsabgrenzungen können statistische Bezirke sein, die das Hafengebieten und dessen Umgebung umfassen oder siedlungsstrukturelle Zusammenhänge und Gegebenheiten, die eine schlüssige Abgrenzung begründen.

Im Anschluss ist eine umfassende Bestandsaufnahme und anschließende Bewertung der Flächen im Untersuchungsraum durchzuführen. In die Bestandsaufnahme gehen zunächst Basisinformationen wie Flächengröße, aktueller Nutzer, Angaben zur Nutzung sowie bestehende Eigentums- und Pachtverhältnisse ein.

---

<sup>214</sup> Hautz 2008, S. 277.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Das anschließende Prüfverfahren bewertet die Flächen in einem vierstufigen Verfahren und trifft auf jeder Ebene eine planerische Bewertung und Empfehlung zu dessen zukünftiger Nutzung:

1. Störungs- und Genehmigungssituation
2. Intensität und Qualität des Bestands
3. Standortbindung
4. Markt- und Umfeldsituation

6 Konzeptionierung und Anwendung

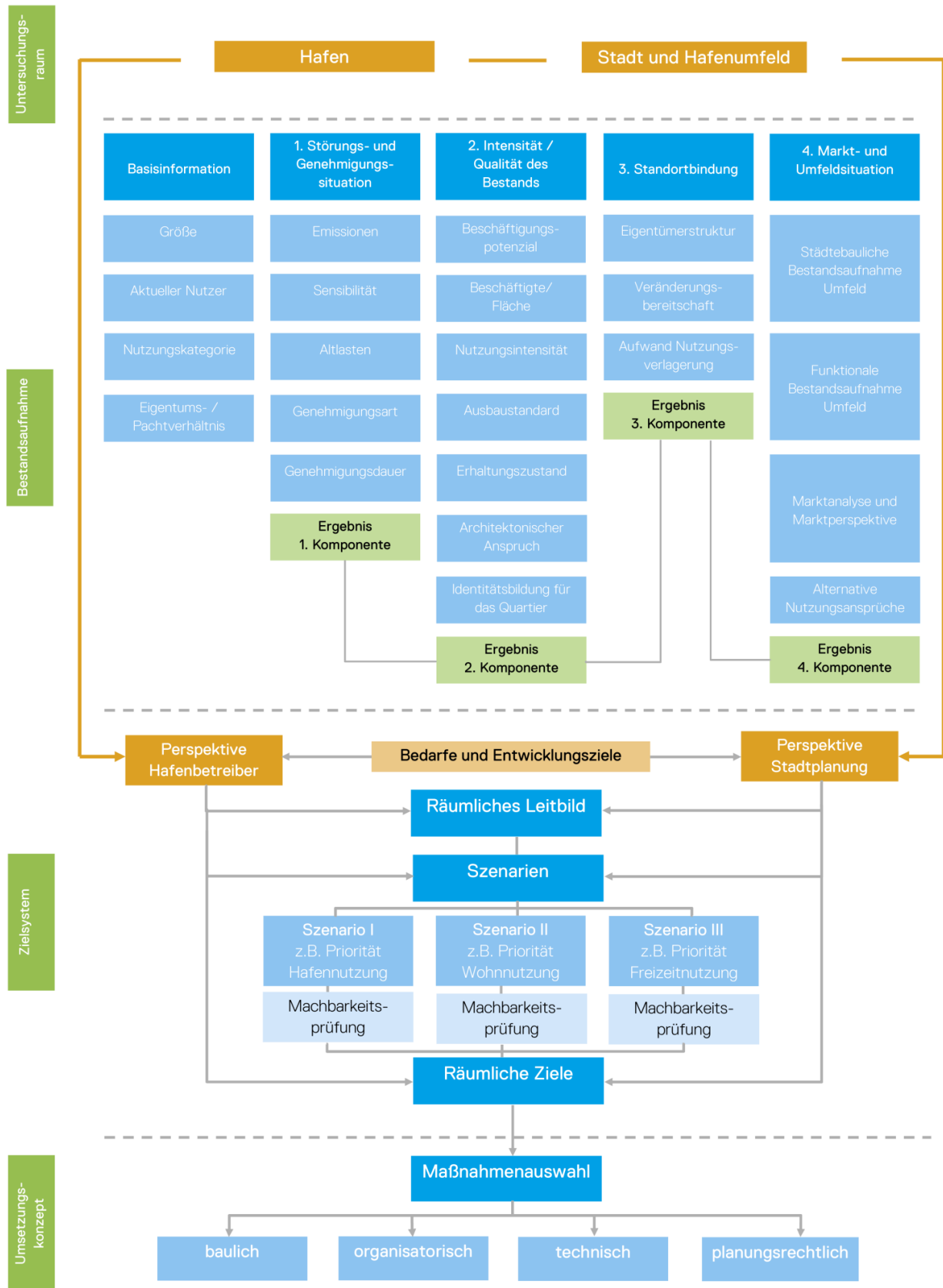


Abbildung 62: Ablaufschema Integriertes Hafenumfeldkonzept (Quelle: Eigene Darstellung SSR)

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Der erste Prüfschritt bewertet die Verträglichkeit der gegenwärtigen Nutzung. Ausgangspunkt ist die Frage nach der aktuellen Störungs- und Genehmigungssituation. Zu untersuchen ist daher, wie groß der „Störgrad der Nutzung durch Emissionen bzw. umgekehrt die Sensibilität der Nutzung gegenüber Immissionen von außen“ ist.<sup>215</sup> Auf diese Weise lässt sich ableiten, „welche Nachbarschaften unter dem Aspekt der Verträglichkeit überhaupt vorstellbar sind“.<sup>216</sup> Intensität und Qualität der Nutzung und des Gebäudebestands stehen im Fokus des zweiten Prüfschritts. In diesem Zusammenhang wird untersucht, welchen Beitrag die aktuelle Nutzung im Hinblick auf Wertschöpfung und Arbeitsplatzpotenzial im Verhältnis zur dafür benötigten Fläche sowie im Hinblick auf die städtebauliche Qualifizierung des Stadt-Hafen-Übergangs leistet. Neben rein quantitativen Kriterien, wie dem aktuellen Beschäftigungspotenzial, gehen auch qualitative Kriterien, wie der architektonische Anspruch sowie die Identitätsbildung der Nutzung für das Quartier mit in die Bewertung ein. Nutzungen können stark an ihren Standort gebunden sein und ihre Betriebsverlagerung nur schwer umsetzbar sein. Im dritten Prüfschritt ist daher die Standortbindung der Nutzung zu untersuchen. Die Standortbindung „ergibt sich zum einen aus der Frage, ob für das Fortbestehen und die Weiterentwicklung der Nutzung zwingend ein Verbleib am Standort erforderlich ist, oder ob eine Betriebsverlagerung denkbar ist“.<sup>217</sup> Vor diesem Hintergrund werden Veränderungsbereitschaft und Aufwand der Nutzungsverlagerung bewertet und nicht zuletzt auch die Notwendigkeit eines Wasseranschlusses. Als letzte Komponente wird die Bewertung der gegenwärtigen Markt- und Umfeldsituation in die Bestandsaufnahme integriert. Hierzu werden Bezüge der Nutzung zu seinem städtebaulichen und funktionalen Umfeld hergestellt und seine gesamtstädtische Bedeutung im Rahmen einer Marktanalyse bewertet.

Im Ergebnis verfügen die verantwortlichen Akteure über ein detailliertes Kataster des betrachteten Untersuchungsraums, das alle relevanten Flächeninformationen bündelt und die Diskussionsgrundlage für den Aufbau des nachfolgenden Zielsystems bildet. Wesentlich bei der Erarbeitung des Zielsystems ist seine gemeinsame Erarbeitung durch Hafengebietebetreiber und Akteure der Stadtentwicklung, damit sich beide Perspektiven im Ergebnis wiederfinden. Die Erarbeitung eines räumlichen Leitbilds und die Formulierung unterschiedlicher Szenarien, die mit einer individuellen Machbarkeitsprüfung verbunden sind, stellen wesentliche Elemente des Zielsystems dar, bevor konkrete räumliche Ziele vereinbart werden. Das Denken und Arbeiten in Szenarien (z. B. heranrückende Wohnnutzung oder heranrückende Hafennutzung) hilft bei der Abschätzung von (Fehl-) Entwicklungen eines Gebiets und kann wesentlich zur sinnvollen Festlegung räumlicher Ziele beitragen. Ein schlüssiges Zielsystem orientiert sich idealerweise an einer abgestuften Zielhierarchie und definiert prioritär zu entwickelnde oder umzunutzende Flächen.

Das Zielsystem bildet das Gerüst für die Entwicklung des betrachteten Untersuchungsraums. Wesentlich für das Erreichen der gesetzten Ziele sind die Gewährleistung immissionsschutzrechtlicher Vorgaben und insbesondere der Schutz der an das Hafengebiet angrenzenden schutzwürdigen Nutzung vor Lärmbelastung. Letzter Baustein des IHEK ist daher die Erarbeitung eines schlüssigen Umsetzungskonzepts für passende Lärmschutzmaßnahmen. Maßnahmen können baulichen, organisatorischen, technischen und planungsrechtlichen Charakter haben und sowohl einzeln als auch in gebündelter Form wirken. Ebenso wie bei der Erarbeitung des Zielsystems sind auch Maßnahmen im Vorfeld möglichst genau einzuschätzen und ebenfalls vor dem Hintergrund ihres Wirkungsgrads sowie des mit ihnen verbundenen Aufwands zu priorisieren.

---

<sup>215</sup> Hautz 2008, S. 187.

<sup>216</sup> Hautz 2008, S. 187.

<sup>217</sup> Hautz 2008, S. 187.

### 6.3 Bewertungs- und Auswahltool zur Identifikation und Bewertung von Maßnahmen

Um den Akteuren eine schnelle Übersicht über eine Auswahl an Lärminderungsoptionen zu ermöglichen, wurde auf Basis eines Maßnahmenkataloges ein vorläufiges Excel-Auswahltool erarbeitet. Die Akteure können mit Hilfe des Auswahltools mehrere Variablen entsprechend des gegebenen Bedarfs wählen und somit eine ausgewählte Anzahl passender Vorschläge generieren.

Durch die gewählten Parameter lassen sich akteursabhängig Lärmschutzmaßnahmen darstellen. Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass das Auswahltool nur eine begrenzte Vorauswahl treffen kann, da jede Lärmsituation individuell zu bewerten ist und die Maßnahmen nicht immer allgemeingültig verwendet werden können.

Folgende Abbildung zeigt die Auswahlmaske des Excel-Tools mit den Variablen, die auf der rechten Seite gewählt werden können. Beispielhaft ist hier die Auswahl der Zugehörigkeit dargestellt, welche sich im weiteren Verlauf auf die Auswahlmöglichkeiten der darauffolgenden Parameter auswirkt.

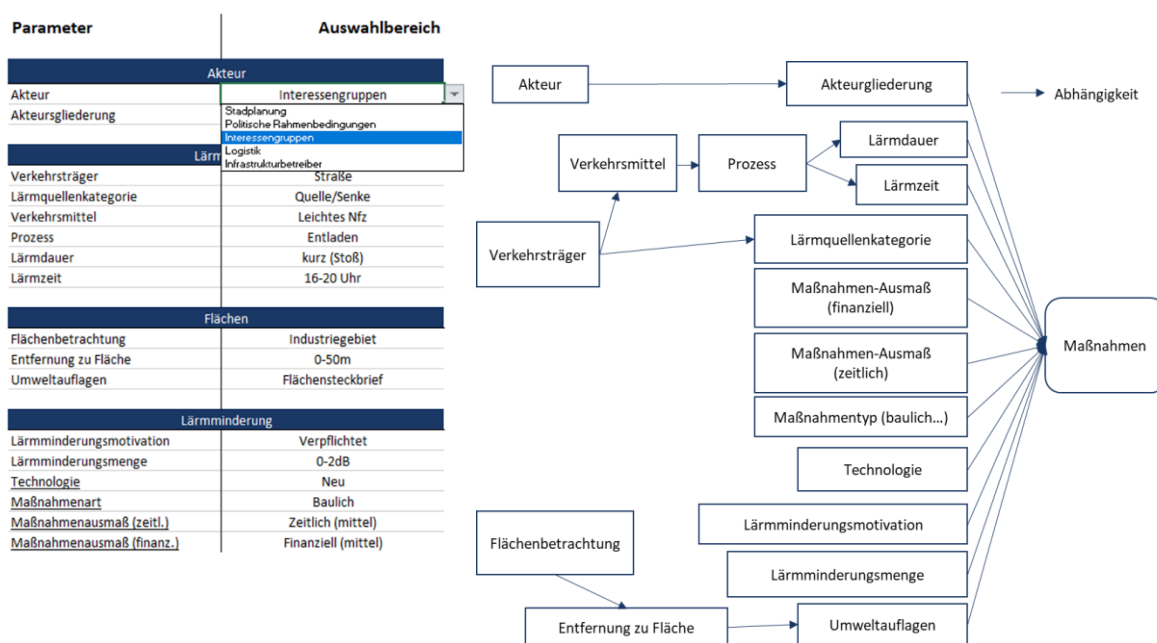


Abbildung 63: Auswahlmaske und : Abhängigkeiten zwischen den Variablen des Excel-Auswahltools (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Auf Basis der ausgewählten Variablen werden neben der Auswahlmaske die gefilterten Maßnahmvorschläge eingeblendet. Hier hat der Akteur die Möglichkeit, die für ihn passende(n) Maßnahme(n) zu wählen. Zusätzliche Informationen können bei Bedarf im Maßnahmenkatalog ergänzt werden.

Abbildung 63 zeigt die Auswahlmaske des Auswahltools und die gegenseitigen Abhängigkeiten der Parameter zueinander. Durch die Definition der Abhängigkeiten ist eine Lärmquellenzuordnung möglich.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Nummer der Maßnahme	Beschreibung der Maßnahme
1	Einhausungen
2	-Kapselung der Hydraulik (Reach Stacker)
3	Lärmschutzwand

Abbildung 64: Darstellung der Maßnahmenvorschläge (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Der Maßnahmenkatalog dient als Basis für das Excel-Auswahltool. Die Maßnahmen werden durch die Auswahl der Variablen in der Auswahlmaske gefiltert. Dies geschieht über im folgenden dargestellte Zuordnungstabellen innerhalb des Auswahl-Tools.

Wie dargestellt wurde als Verkehrsträger „Wasser“ ausgewählt, was die Auswahl der Verkehrsmittel auf „Containerschiff“ und „Kreuzfahrtschiff“ beschränkt. Nach diesem Prinzip werden alle Variablen berücksichtigt, was schlussendlich zu einer gefilterte Anzahl Handlungsmöglichkeiten führt.

Nr.	Maßnahmen	Maßnahmeart	Umsetzung Duisburger Hafen	Stand der Technik	Ort der Maßnahme
<b>bauliche Maßnahmen</b>					
1	Einhausungen	Baulich	Ja	Konzept	
2	-Kapselung der Hydraulik (Reach Stacker)	Baulich			
3	Lärmschutzwand	Baulich	Ja	Serienreif	versch. Terminals und Straßen
4	Bodenunebenheiten ausgleichen	Baulich	Ja	Stand der Technik	
5	-Entwässerungsstellen (offene Rinnen)	Baulich	Ja		
6	-Drempel (Geschwindigkeitsverminderung)	Baulich	Ja		
7	-Schlaglöcher in Straßen	Baulich	Ja		

Abbildung 65: Maßnahmenkatalog (Quelle: Eigene Darstellung Fraunhofer IML)

Mit Hilfe des Bewertungs- und Auswahltools kann, wie im strategischen Ablaufschema beschrieben, eine erste Filterung von ursachenbezogenen Lärminderungsmaßnahmen vorgenommen werden.

## 6.4 Lärmgesteuertes Routing

Im Rahmen des Projekts wurde ein Konzept für ein lärmminderndes Lkw-Routing ausgearbeitet. Dieses ist insbesondere vor dem Hintergrund wachsender Lärmbelastigungen durch den Verkehr von Bedeutung. Im Lärmschutzpaket II des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur ist festgelegt, dass die Lärmbelastigung im Straßenverkehr und in der Binnenschifffahrt ausgehend vom Jahr 2008 bis 2020 um je 30% verringert werden soll.<sup>218</sup> Ein weiteres wesentliches Problem in diesem Bereich sind Nutzungskonflikte. Durch die oft städtische Lage von Binnenhäfen kann es zu Nutzungskonflikten mit der Bevölkerung und der Stadt kommen (vgl. Kapitel 1).<sup>219</sup>

Daher ist ein Algorithmus zum Lkw-Routing unter Beachtung von Effizienz und Lärm im Binnenhafen entwickelt worden.<sup>220</sup> Das Ziel des Algorithmus ist eine Lkw-Steuerung bei der die Lkw-Verkehre zum und vom Binnenhafen so gesteuert werden, dass die Lärmemissionen in den Zufahrtsgebieten verringert werden. Der entwickelte Algorithmus wurde als Basis für die Berechnungen für das Projekt Leiser Hafen genutzt.

### Vorgehensweise zur Entwicklung

Für die Entwicklung des Algorithmus wurde ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand generiert und die geltenden Gesetze gegeben. Basieren auf dem theoretischen Rahmen wurde der Algorithmus entwickelt. Wichtige Bausteine bei der Entwicklung waren die Ausarbeitung von Restriktionen und Strafkosten. Basierend auf dem entwickelten Modell wurde der Algorithmus am Fraunhofer IML implementiert und programmiert. Es wurde gezeigt, dass ein lärmminderndes Lkw-Routing generell möglich ist. Der Algorithmus wurde im Rahmen des Projekts in mehreren Testphasen angepasst.

### Methodik und Entwicklung des Algorithmus

Für die Entwicklung des lärmmindernden Lkw-Routings wurde mit einem modifizierten Dijkstra Algorithmus gearbeitet, da dieser Anpassungen an das Straßennetz erlaubt und der gängige Algorithmus für Routing-Probleme darstellt. Der Algorithmus wurde am Fraunhofer IML unter Verwendung von Daten und Informationen aus Open Street Map programmiert.

In einem ersten Schritt wurde der Dijkstra Algorithmus mittels Restriktionen an die Anforderungen des lärmmindernden Lkw-Routings angepasst. Durch die Einführung von Restriktionen sollen kritische Lärmprobleme verringert und Lkw-Verkehre umgeleitet werden. Danach wurde eine Analyse der Straßenverkehrsordnung vorgenommen, dargestellt durch Straßenbeschilderungen. Aus der Straßenverkehrsordnung lassen sich zwei Restriktionsklassen ableiten. Dies sind zum einen Straßenrestriktionen und zum anderen Lärmrestriktionen. Beide Restriktionsklassen sind gesetzlich festgeschrieben unterscheiden sich allerdings dahingehend, dass die Lärmrestriktionen einen direkten Bezug zur Lärmvermeidung haben. Die dritte Restriktionsklasse, hier als Umgebungsrestriktionen bezeichnet, basiert nicht auf gesetzlich vorgegebenen Restriktionen. Die Umgebungsrestriktionen wurden basierend auf Lärmgrenzen und Ansätzen zur Lärmverminderung definiert. Sie beziehen sich auf die Straßenumgebung und die jeweiligen dort vorhandenen Gebäudeelemente.

Die Straßenrestriktionen haben einen direkten Einfluss auf den Verkehrsfluss, da sie auf der Beschilderung und den Bestimmungen der StVo basieren. Wenn eine Restriktion dieser Restriktionsklasse auf einer Straße

---

<sup>218</sup> Bundesministerium Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009)

<sup>219</sup> Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2010), S.5

<sup>220</sup> Remmert 2017

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

vorhanden ist lässt sie sich nicht ignorieren. Ein Beispiel ist eine Höhenbeschränkung für Fahrzeuge. Lkw, die die Höhenbeschränkung überschreiten dürfen die betroffene Straße nicht passieren. Ein weiteres Beispiel sind generelle Verbotzeichen, die eine Einfahrt in eine Straße für bestimmte, oder alle, Fahrzeugtypen untersagen. Die Straßenrestriktionen wurden daher als Ja/Nein Restriktionen beschrieben. Sobald ein Vorschriftszeichen dem Lkw die Durchfahrt untersagt muss diese Verbot auch eingehalten werden und der Lkw wird über eine andere Strecke geroutet.

Die Lärmrestriktionen sind ebenfalls in der StVo festgeschrieben, allerdings weisen diese Verkehrsvorschriften einen direkten Lärmbezug auf. Hierunter fallen das Sonn- und Feiertagsfahrverbot, das Nachtfahrverbot (von den Bundesländern umgesetzt) und zeitliche Durchfahrtsbeschränkungen bei Nacht. Hierdurch soll Lärm zur Verkehr zu bestimmten Zeiten vermieden werden. Alle drei Verbote fallen in die Restriktionsklasse Lärmrestriktionen, da sie direkt lärmindernd wirken und gesetzlich festgeschrieben sind. Somit sind auch die Lärmrestriktionen Ja/Nein Restriktionen.

Die dritte Restriktionsklasse, die Umgebungsrestriktionen basieren, im Gegensatz zu den beiden vorherigen Restriktionsklassen nicht auf den Vorschriften der Straßenverkehrsordnung, sondern wurden erarbeitet um ein lärmgesteuertes Routing zu ermöglichen. Die Lärmbegrenzungen laut BImSchV (vgl. Kapitel 4.2) zeigen, dass die Lärmgrenzwerte für Bereiche an denen Krankenhäuser, Schulen, Altenheime oder Kurheime liegen sowie Straßen in Wohngebieten verringerte Lärmgrenzwerte vorliegen. Daher sollten Lkw-Verkehre in diesen Bereichen verringert, oder bestenfalls vermieden werden. Durch eine Erhöhung des Lkw-Anteils auf der Straße steigen auch die Lärmbelastungen auf dieser.<sup>221</sup> Andersherum lässt sich durch eine Reduzierung des Lkw-Verkehrs auf einer Straße die Lärmbelästigung eindämmen. Daher wurden für das Routing fünf Umgebungsrestriktionen festgelegt, um den Lärm durch Lkw dort zu verringern. Die entwickelten Restriktionen wurden in den Algorithmus integriert und mit Hilfe von OpenStreetMap umgesetzt.

Bezeichnung	Bezeichnung OSM	Definition
Schule	Amenity = school	Alle Institutionen, die für die Bildung von Kindern genutzt werden
Kindergarten	Amenity = kindergarden	Alle Kindergärten und Kindertagesstätten
Krankenhaus	Amenity = hospital	Krankenhäuser, die als solche bei OpenStreetMap vermerkt sind
Pflegestätte	Amenity = social_facility	Alle Pflegestätten, die alte sowie behinderte Menschen betreuen

<sup>221</sup> Verkehrsclub



## 6 Konzeptionierung und Anwendung

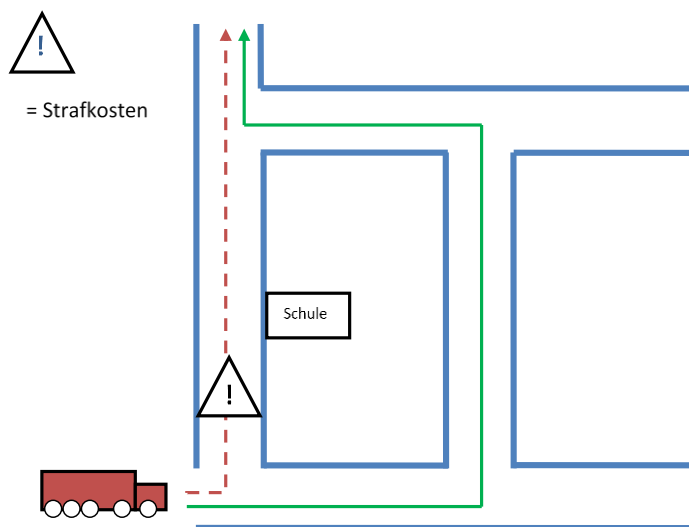
Wohngebiet	Landuse = residential	Als Wohngebiet gekennzeichnete Gebiete in OpenStreetMap
------------	-----------------------	---

**Tabelle 21: Übersicht Umgebungsrestriktionen (Eigene Darstellung in Anlehnung an Remmert 2017)**

Es muss jedoch beachtet werden, dass der Lkw Verkehr nicht durch die Sperrung von Straßen eingeschränkt wird um die Effizienz des Lkw-Verkehrs beizubehalten. Für die Bewertung der Umgebungsrestriktionen wurde eine Entfernung von 25m zum Immissionsort festgelegt. Dieser Wert basiert auf den Angaben bei der Berechnung des Schallpegels nach der RLS-90.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil für ein lärminderndes Routing sind Strafkosten. Diese werden angesetzt, wenn der Lkw eine der Umgebungsrestriktionen verletzt. Für die Lärm- und Straßenrestriktionen wird das Strafkostenprinzip nicht angewendet, da diese auf gesetzlichen Vorgaben basieren und im Algorithmus als Ja/Nein Restriktionen festgelegt sind. Die Strafkosten wurden in Form von Zeitstrafen für den Lkw-Verkehr festgelegt.

Da die Umgebungsrestriktionen unter Beachtung der Einhaltung der Effizienz des Lkw-Verkehrs jedoch in einigen Fällen missachtet werden müssen wurden die Straßen nicht komplett gesperrt, sondern mit Strafkosten versehen. So werden die Fahrtmöglichkeiten des Lkw nicht so stark eingeschränkt und große Verzögerungen im Transport durch Umleitungen des Lkw werden vermieden. Die untenstehende Abbildung beschreibt das Strafkostenprinzip nochmal grafisch.



**Abbildung 66: Lärmrouting Alternativrouten Lkw (Quelle: Remmert 2017)**

Die kürzeste Route für den Lkw ist es in der obenstehenden Abbildung links in der Straße abzubiegen. Jedoch liegt hier eine Umgebungsrestriktion vor, weshalb eine alternative Route (grün gekennzeichnet) vorgeschlagen wird. Die Alternativroute wird dahingehend überprüft, ob eine Nutzung dieser sinnvoll ist. Dies wird durch einen Vergleich der Fahrtdauer der beiden Routenoptionen durchgeführt. Falls die alternative Route eine längere Fahrtdauer als die Originalroute, inklusive der einberechneten Strafkosten, aufweist wird aus Effizienzgründen davon abgesehen die Umgebungsrestriktionen zu nutzen. Falls dies nicht der Fall ist wird die Alternativroute genutzt.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Die Auswertung der Ergebnisse des Routing-Algorithmus für die Szenarien hat gezeigt, dass sich die Streckenführung vom/zum Binnenhafen für den Lkw unter Beachtung von Restriktionen verändert. Durch den Vergleich der Fahrzeiten vom Startpunkt bis zum Zielpunkt des Routings hat sich ergeben, dass sich die Fahrzeit durch die Beachtung der Restriktionen verlängert. Allerdings liegt die Erhöhung in der Fahrzeit unter Beachtung der Restriktionen in den meisten Fällen bei weniger als +5%. Lediglich 2% der Werte weisen eine Erhöhung in der Fahrzeit, die 5% übersteigt auf. Ein ähnliches Bild wie bei der Veränderung der Fahrzeit bietet sich für die Unterschiede in der Entfernung zwischen dem Routing ohne Restriktionen und dem Routing mit Restriktionen.

Die Auswertung der Daten des Algorithmus zeigt, dass ein Routing unter Einbezug von Lkw-Restriktionen zu lediglich geringen Änderungen in der Fahrzeit oder der Entfernung führt. Abhängig von der Lage und Anbindung des betroffenen Hafens werden unterschiedliche Veränderungen in der Fahrtdauer und der Entfernung durch das Routing mit Restriktionen berechnet. Die betrachteten Häfen, die gut angebunden sind und nicht zentral in einer Stadt liegen, haben geringere Abweichungen in den beiden gemessenen Parametern aufgewiesen.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass eine Routenänderung unter Betrachtung von Lärm möglich ist ohne die Effizienz des Lkw-Transports allzu sehr einzuschränken. Allerdings kann nicht bewertet werden wie viel Lärm durch ein lärmorientiertes Lkw-Routing eingespart werden kann. Um zu beziffern um wie viel dB(A) der Lärm durch den Einsatz einer lärmorientierten Lkw-Steuerung verringert werden kann, müssen weitere Daten gesammelt werden. Einen ersten Ansatz zur Bewertung der Lärmverringerungen durch Verkehrsleitsysteme zeigt das Modell des virtuellen Hafens, welches im Rahmen des Projekts entstanden ist.

## 6.5 Auswirkungen von ganzheitlichen Lösungsansätzen in der Praxis

Bei den in Kapitel 3.6 beschriebenen relevanten Nutzungen bzw. Geräuschquellen des „virtuellen Hafens“ wurden die sich auf Grundlage eigener Messergebnisse bzw. Literaturdaten ergebenden Schallemissionen berücksichtigt.

Auf Grundlage dieser Geräuschemissionen in Verbindung mit nutzungstypischen Frequentierungen wurde ein digitales Simulationsmodell des „virtuellen Hafens“ mit Berücksichtigung eben dieser Geräuschquellen, deren relevanten Quellhöhen der Hafemole sowie der schutzwürdigen Wohnnutzung, insbesondere im Norden des „virtuellen Hafens“ berücksichtigt.

Die Ermittlung der Geräuschimmissionen bzw. der Beurteilungspegel in der schutzwürdigen Nachbarschaft erfolgten getrennt für den Tages- (06:00 bis 22:00 Uhr) und Nachtzeitraum (22:00 bis 06:00) in Form von flächenhaften Isophonenberechnungen bei Berücksichtigung einer Rechenhöhe von  $h = 5$  m über Gelände. Die Berechnungen erfolgten gemäß den Vorgaben der TA Lärm (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) in Verbindung mit den Rechenvorgaben der DIN ISO 9613-2 und der DIN EN 12354-4.

Es erfolgten zunächst Berechnungen für eine Grundvariante ohne Berücksichtigung möglicher Maßnahmen zur Reduzierung der Geräuschimmissionen. Eine Dreidimensionale Darstellung des digitalen Simulationsmodells dieser Grund- bzw. Ausgangsvariante ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt.

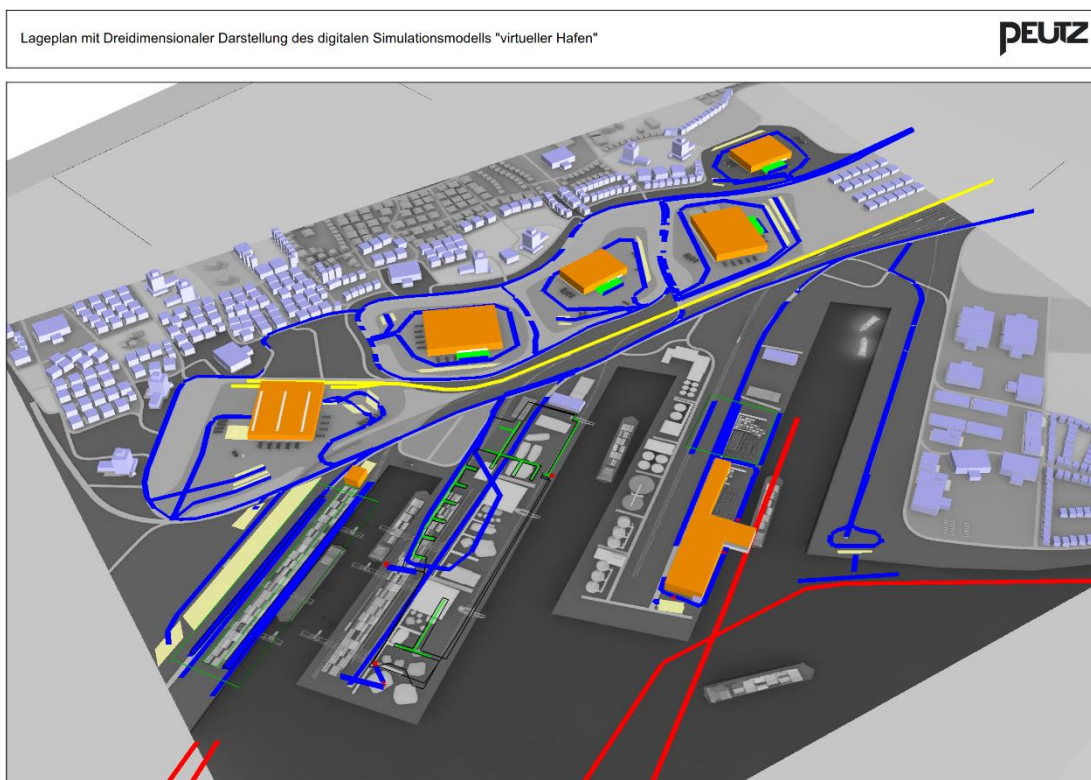


Abbildung 67: Dreidimensionale Darstellung des Simulationsmodells virtueller Hafen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Als Grundlage für die Prüfung der Wirksamkeit von möglichen Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschmissionen erfolgten weiterführend Isophonenberechnungen für die in den nachfolgenden Kapiteln beschriebenen Maßnahmen:

- 1) Lärmschutzwände
- 2) Gebäuderiegel
- 3) Verlagerung Neuansiedlung
- 4) Verkehrsleitsystem

Für diese Maßnahmen wurden ebenfalls getrennt für den Tages- und Nachtzeitraum flächenhafte Isophonenberechnungen durchgeführt.

Als Grundlage für die Bewertung der Wirksamkeit solcher Maßnahmen wurden die sich jeweils bei arithmetischer Subtraktion der Berechnungsergebnisse im Vergleich der Grundvariante mit der jeweiligen Untersuchungsvariante ergebenden Differenzen Isophonenkarten erstellt. Durch die Isophonenkarten werden Lärmmissionen grafisch dargestellt und es kann aufgezeigt werden an welchen Stellen es wie laut ist.<sup>222</sup>

### 6.5.1 Ergebnisse der flächenhaften Isophonenberechnung

Die Grafik des den Berechnungen zu Grunde gelegten „virtuellen Hafens“ Hafenmodells der Ausgangsvariante, d.h. ohne Berücksichtigung entsprechenden Maßnahmen zur Reduktion der Geräuschmissionen in der Nachbarschaft, ist in der nachfolgenden dargestellt.



Abbildung 68: Legende virtueller Hafen und Isophonenmodelle (Quelle: Peutz Consult)

Abbildung 68 stellt die Legende der in diesem Kapitel verwendeten Karten des virtuellen Hafens und der Isophonenmodell dar.

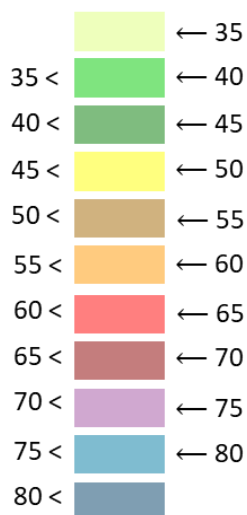
<sup>222</sup> <https://www.strassen.nrw.de/de/laermschutz.html>

## 6 Konzeptionierung und Anwendung



**Abbildung 69: Darstellung Ausgangsvariante (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Die sich für die Ausgangsvariante ergebenden Ergebnisse der flächenhaften Isophonenberechnungen sind für den Tageszeitraum in Abbildung 69 sowie für den Nachtzeitraum in Abbildung 71 und Abbildung 72 dargestellt.



**Abbildung 70: Beurteilungspegel dB(A) Isophonendarstellung (Quelle: Peutz Consult)**

Abbildung 70 zeigt die Bewertungsskala der Beurteilungspegel in dB(A) für die im folgenden dargestellten Isophonenkarten.



## 6 Konzeptionierung und Anwendung



**Abbildung 71: Isophonenberechnung Tageszeitraum ohne Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Abbildung 71 stellt die Isophonenberechnung zum Tageszeitraum ohne den Einsatz von Lärminderungsmaßnahmen dar.

### Tageszeitraum (06:00 bis 22:00 Uhr)

Auf Grundlage der Berechnungsergebnisse für die Ausgangsvariante ergeben sich Beurteilungspegel von etwa 55 dB(A) im Bereich der Wohnbebauung nordwestlich des Stahllogistikers. Nördlich der mittleren zwei berücksichtigten Logistikler ergeben sich im Bereich der hierzu nächstgelegenen Wohnbebauung Beurteilungspegel im Bereich von 55 bis 58 dB(A). Im Bereich der Wohnbebauung nördlich bzw. nordwestlich zu den östlich gelegenen Logistikern ergeben sich Beurteilungspegel von rund 55 bis 60 dB(A).

Diese Beurteilungspegel entsprechen den gemäß der TA Lärm in einem allgemeinen bzw. Mischgebiet zum Tageszeitraum zulässigen Immissionsrichtwerten von 55 bzw. 60 dB(A).

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

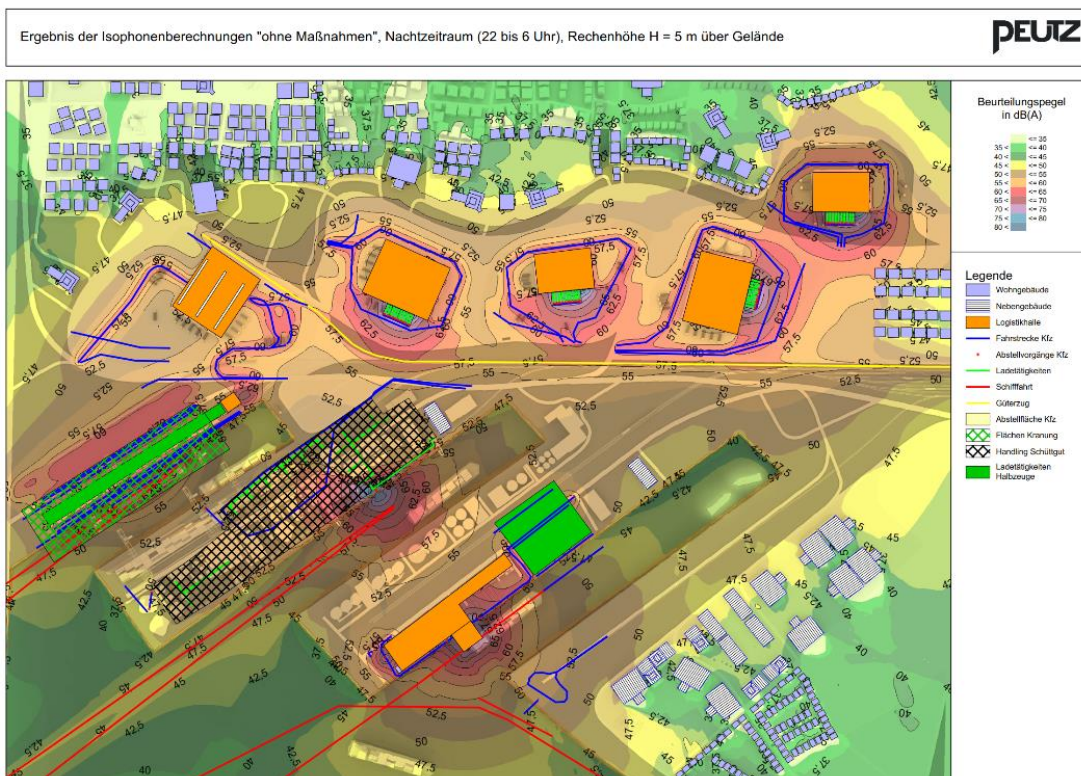


Abbildung 72: Isohonenberechnung Nachtzeitraum ohne Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

### Nachtzeitraum (22:00 bis 06:00 Uhr)

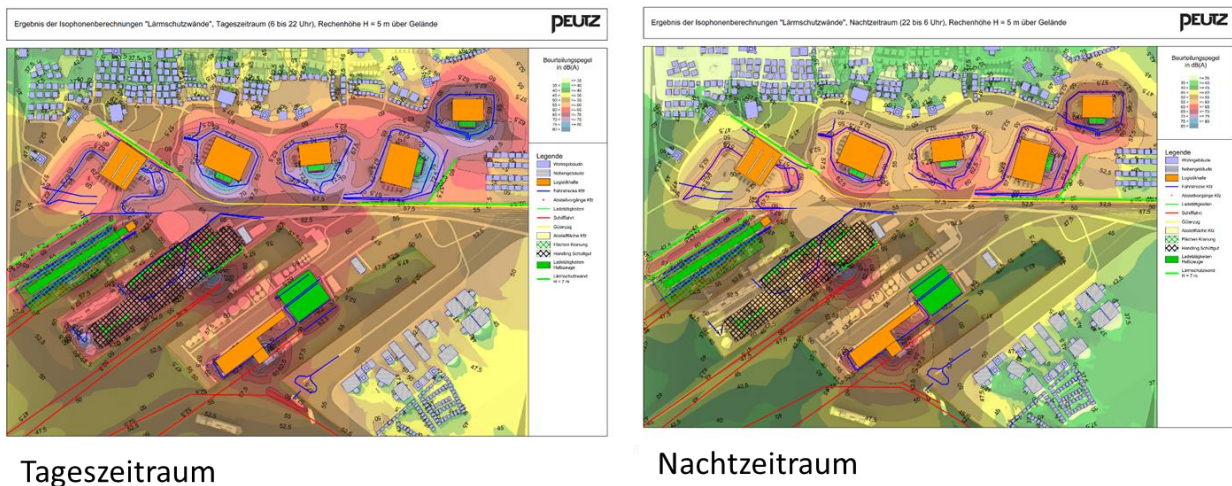
Wie die in Abbildung 72 für den Nachtzeitraum für die Grundvariante dargestellten Ergebnisse der Isohonenberechnung zeigen, liegen im Bereich der Wohnbebauung nordwestlich des Stahllogistikers Beurteilungspegel im Bereich von ungefähr 45 dB(A) vor. Im Bereich der nördlich zu den mittleren drei Logistikern liegenden Wohnbebauung liegen zum Nachtzeitraum Beurteilungspegel im Bereich von 45 bis 48 dB(A) vor. Nördlich bzw. nordwestlich des Logistikers im Osten liegen Beurteilungspegel von 50 bis 53 dB(A) vor.

### 6.5.2 Ergebnisse der flächenhaften Isohonenberechnung mit Lärmschutzwand

Um die Auswirkungen bzw. die pegelmindernde Wirkung von aktiven Schallschutzmaßnahmen in Form von Lärmschutzwänden zu ermitteln, erfolgten in einem weiteren Untersuchungsschritt flächenhafte Isohonenberechnungen mit Berücksichtigung der in Abbildung 73 dargestellten Lärmschutzwände.



## 6 Konzeptionierung und Anwendung



**Abbildung 73: Isophonenberechnungen Lärmschutzwand Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Bei dieser Untersuchungsvariante wurden folgende Lärmschutzwände mit einer Höhe von jeweils  $H = 7\text{ m}$  über Gelände berücksichtigt:

- 2 parallele Lärmschutzwände im Bereich des Containerterminals
- eine Lärmschutzwand nördlich des Stahllogistikers
- eine T-förmige Lärmschutzwand südlich des östlichen Logistiklers / nördlich der Hafenzufahrt

Die sich im Vergleich zu der Ausgangsvariante bei arithmetischer Subtraktion für den Tages- und Nachtzeitraum ergebenden Differenzisophonenkarten mit Darstellung der pegelmindernden Wirkung bei Berücksichtigung der Lärmschutzwände sind in den nachfolgenden Abbildung 75 und Abbildung 76 dargestellt. Wie die in den unten aufgeführten Abbildungen dargestellten Differenzisophonenkarten zeigen, ergeben sich unter Berücksichtigung der beschriebenen Lärmschutzwände, im Bereich der nordwestlich zum Stahllogistiker vorgesehene Wohnbebauung Pegelminderungen im Bereich von 1 bis 3 dB(A). Im Bereich der nördlich der Lärmschutzwand des Stahllogistiklers gelegenen Wohnbebauung liegen höhere Pegelminderungen von 3 bis 7 dB(A) vor. Im Bereich der im Osten vorgesehenen T-förmigen Lärmschutzwand liegen im Bereich der nördlich hierzu gelegenen Wohnbebauung Pegelminderungen im Bereich von 3 bis 6 dB(A) vor.



6 Konzeptionierung und Anwendung

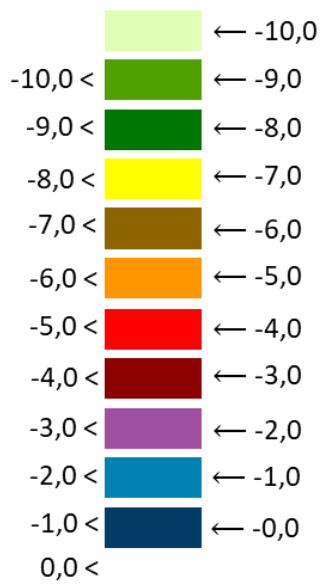


Abbildung 74: Beurteilungspegel dB(A) für Differenzisophonenkarten (Quelle: Peutz Consult)

Abbildung 75 zeigt die Beurteilungspegel in dB(A) für die Differenzisophonenkarten.

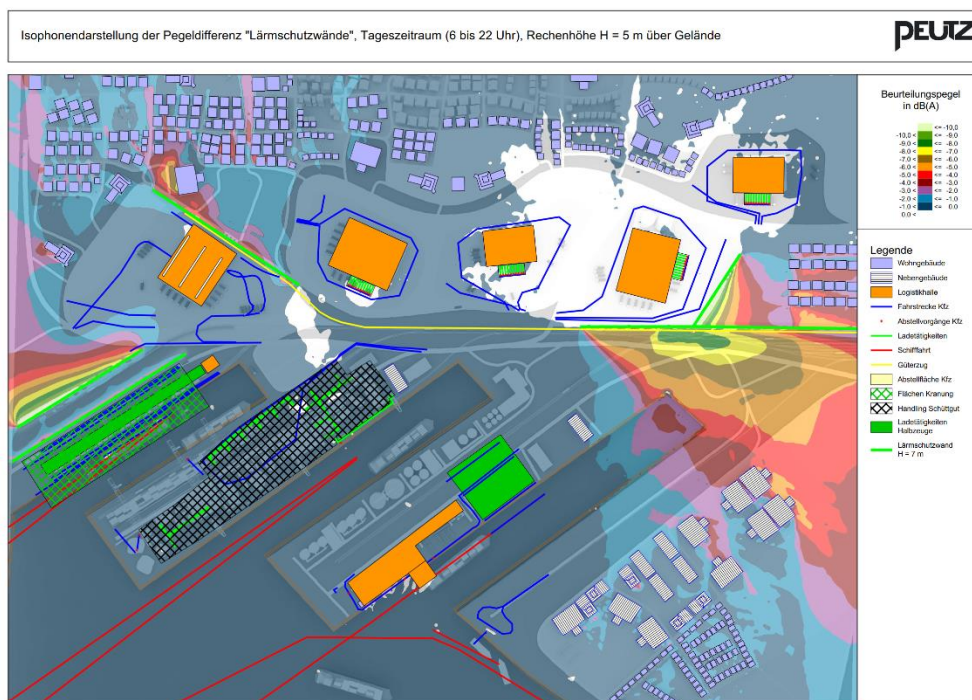


Abbildung 75: Differenz Isophonenkarte Lärmschutzwand Tageszeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

## 6 Konzeptionierung und Anwendung



Abbildung 76: Differenz Isophonenkarte Lärmschutzwand Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

### 6.5.3 Ergebnisse der flächenhaften Isophonenermittlung mit Gebäuderiegeln

Zur Prüfung der Wirksamkeit einer vorgelagerten schallabschirmenden Schallschutzrandbebauung zwischen der Geräuschquelle und der schutzwürdigen Nachbarschaft, wurden die nachfolgend beschriebenen jeweils H = 20 m hohen Gebäuderiegel bzw. deren Wirksamkeit schalltechnisch bewertet:

- Ein geschlossener Gebäuderiegel östlich des Stahllogistikers
- Ein geschlossener Gebäuderiegel nördlich des westlichen Logistikers
- Zwei kürzere V-förmig angeordnete Gebäuderiegel (Lücke in der Mitte) nördlich des mittleren Logistikers

Eine Grafik mit Darstellung dieser Gebäuderiegel zeigt die nachfolgende Abbildung 77.

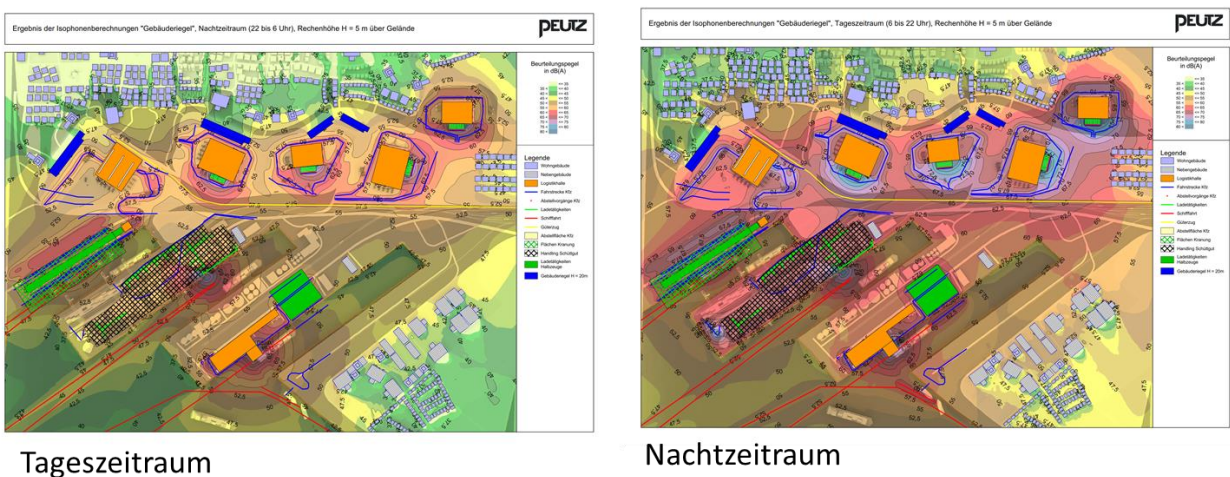


## 6 Konzeptionierung und Anwendung



**Abbildung 77: Gebäuderiegel (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Die sich auf Grundlage der Berücksichtigung dieser Gebäuderiegel für den Tages- und Nachtzeitraum ergebenden Isophonenberechnungen sind in für den Tages- und den Nachtzeitraum dargestellt.



**Abbildung 78: Isophonenberechnungen Gebäuderiegel Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Die sich bei arithmetischer Subtraktion mit der jeweiligen Ausgangsvariante für den Tages- und Nachtzeitraum ergebenden Differenzisophonenkarten mit Darstellung der pegelmindernden Wirkung bei Berücksichtigung der Gebäuderiegel sind in obenstehenden Abbildungen dargestellt.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Wie die in Abbildung 79 dargestellten Differenzisophonkarten zeigen, ergeben sich unter Berücksichtigung schallabschirmender Gebäuderiegel Pegelminderungen im Bereich von 5 bis 8 dB(A) im Bereich der Bebauung nordwestlich des Stahllogistikers bzw. Pegelminderungen im Bereich von ebenfalls 5 bis 8 dB(A) im Bereich nördlich der beiden mittleren Logistikzentren.

Das heißt, im Bereich der jeweils zu den schallabschirmenden Gebäuderiegeln nächstgelegenen Gebäude werden auch bei Berücksichtigung einer höheren Geschossigkeit der Gebäude auch in den Obergeschossen durch die deutliche pegelmindernde Wirkung die Immissionsrichtwerte für ein allgemeines Wohngebiet von 55 dB(A) zum Tages- und 40 dB(A) zum Nachtzeitraum eingehalten.

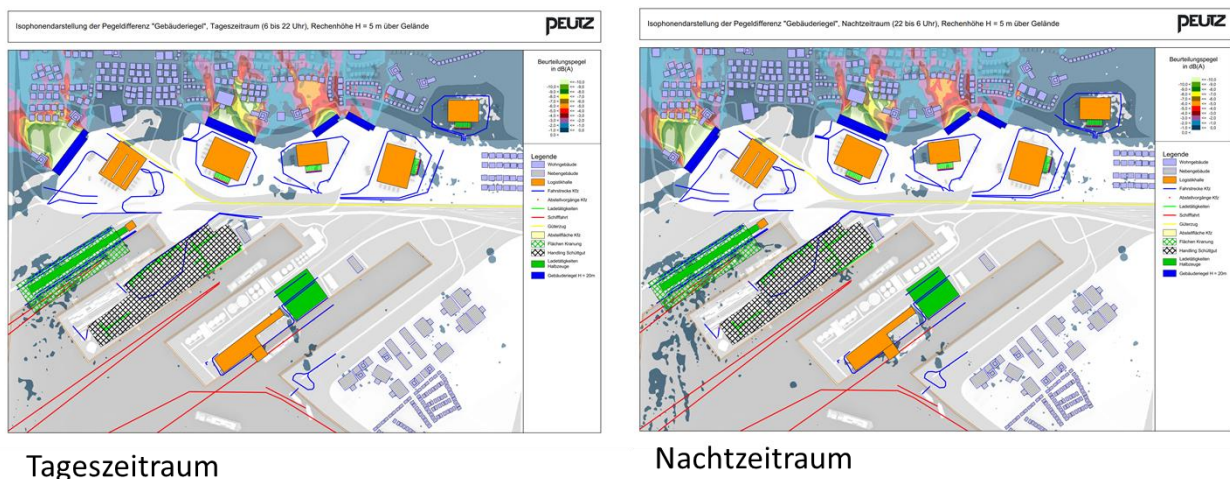


Abbildung 79: Differenzisophonkarte Gebäuderiegel Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

### 6.5.4 Ergebnisse der flächenhaften Isophonberechnung nach Verlagerung und Neuansiedlung

Ergänzend zu den vorher beschriebenen aktiven Lärmschutzmaßnahmen in Form von Lärmschutzwänden und Gebäuderiegeln, erfolgte in einem weiterführenden Untersuchungsschritt die Prüfung der Wirksamkeit von planerischen Maßnahmen in Form einer Verlagerung des östlich gelegenen Logistikzentrums nach Süden, d.h. weg von der Wohnbebauung.

Die zugehörige Grafik ist nachfolgend dargestellt:



6 Konzeptionierung und Anwendung

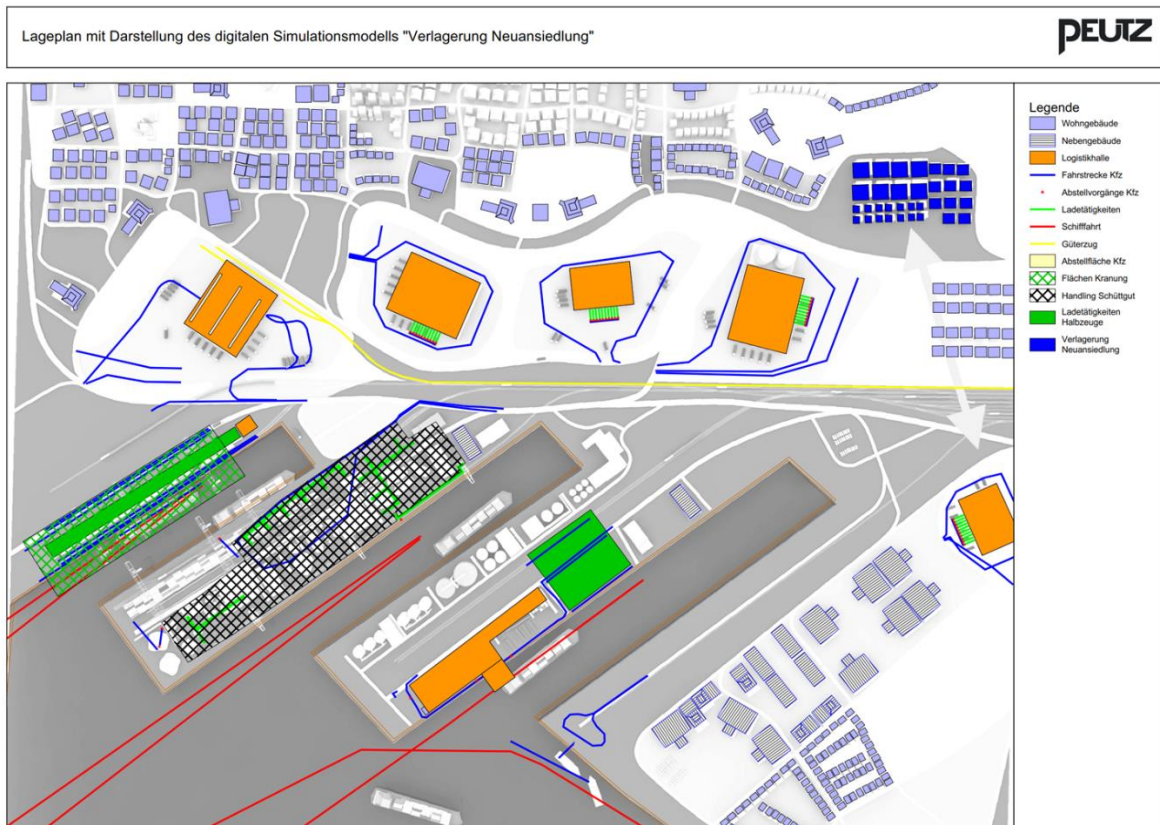


Abbildung 80: Darstellung Verlagerung Neuansiedlung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

Die den Berechnungen zugehörigen Grafiken der Isophonenberechnungen für die Variante Verlagerung Neuansiedlung sind in Abbildung 81 dargestellt.

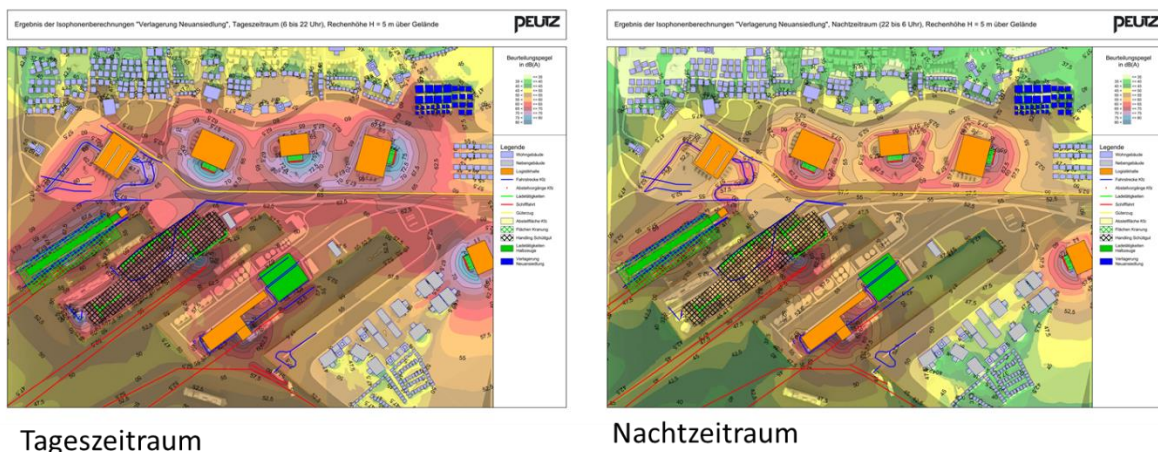
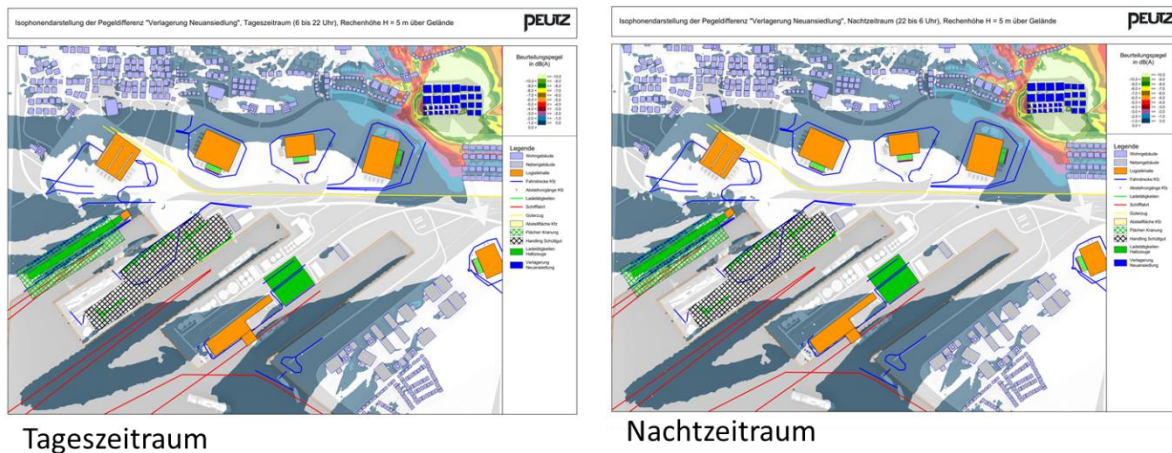


Abbildung 81: Ergebnisse Isophonenberechnung Neuansiedlung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

Wie die in Abbildung 81 dargestellten Ergebnisse der Isophonenberechnungen zeigen, ergeben sich im Bereich der jetzt an Stelle des verlagerten Logistikzentrums berücksichtigten Wohnbebauung Beurteilungsspiegel im Bereich von etwa 55 bis 60 dB(A) zum Tageszeitraum bzw. von rund 50 dB(A) zum Nachtzeitraum.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Die Differenzisophonenkarten im Vergleich der Ausgangsvariante mit der jetzt berücksichtigten Variante Verlagerung Neuansiedlung sind in Abbildung 82 dargestellt.



**Abbildung 82: Differenz Isophonenkarten Verlagerung Neuansiedlung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Wie die in der obenstehenden Abbildung dargestellten Differenzisophonenkarten zeigen, ergeben sich im Bereich der Wohnbebauung nächstgelegenen zu der Fläche des nach Süden verschobenen Logistikzentrums, d.h. westlich / östlich hierzu, Pegelminderungen im Bereich von 5 bis 7 dB(A).

Im Bereich der südlich zu der Fläche des verlagerten Logistikzentrums gelegenen Wohnbebauung liegen Pegelminderungen im Bereich von 5 bis 10 dB(A) vor.

### 6.5.5 Ergebnisse der flächenhaften Isophonenberechnung unter Einsatz eines Verkehrsleitsystems

Zur Prüfung der Wirksamkeit organisatorischer Maßnahmen erfolgte eine Prüfung der Umlenkung der in der Ausgangsvariante teilweise unmittelbar südlich der nördlich gelegenen Bebauung verlaufenden Zufahrtstraßen nach Süden, d.h. in die von der Bebauung weiter entfernt gelegenen Bereiche in Richtung der Hafentmolen.

Die Grafik der zugehörigen Untersuchungsvariante zum „virtuellen Hafen“ zeigt die nachfolgende Abbildung 83.



## 6 Konzeptionierung und Anwendung



Abbildung 83: Verkehrssystem ohne Umlenkung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

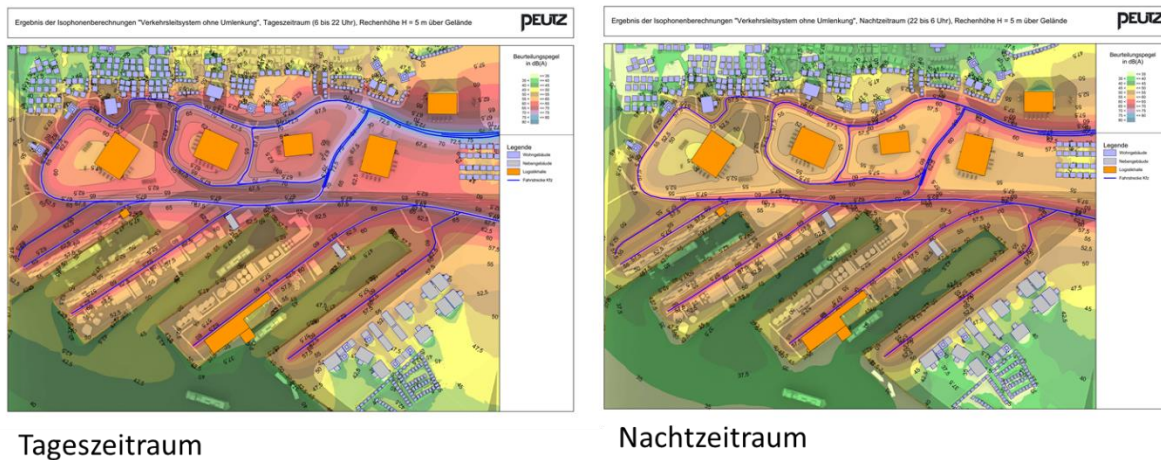


Abbildung 84: Verkehrssystem mit Umlenkung (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)

Bei dieser Untersuchungsvariante wurde, um deren schalltechnische Auswirkung deutlicher darstellen zu können, eine alleinige Betrachtung nur der von den Zufahrtsstraßen ausgehenden Geräuschemissionen ohne und mit deren Umlenkung betrachtet. Ersatzweise wurde hierbei losgelöst davon, dass es sich hierbei im Wesentlichen um öffentlich-rechtlich gewidmete Verkehrswege handelt, eine Bewertung wie in den anderen Untersuchungsfällen gemäß der TA Lärm durchgeführt.

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

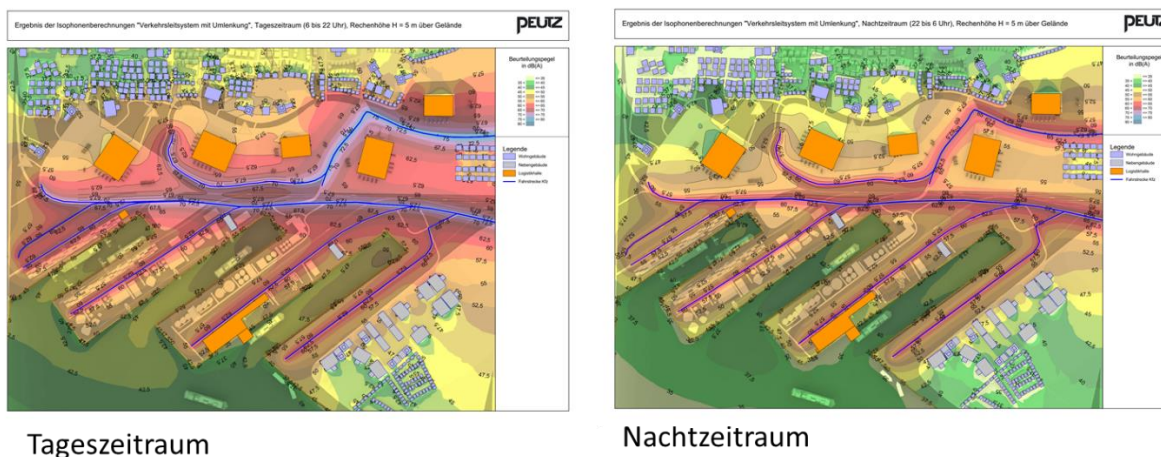
Die zugehörigen Grafiken der Isophonenberechnungen ohne Berücksichtigung einer Umlenkung sind in Abbildung 85 dargestellt.



**Abbildung 85: Isophonenberechnung ohne Umlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Wie die Ergebnisse der Isophonenberechnungen ohne Berücksichtigung einer Verkehrsumlenkung zeigen, liegen im Bereich der unmittelbar zu den Verkehrswegen nächstgelegenen Wohngebäuden Beurteilungspegel im Bereich von 60 bis 65 dB(A) zum Tages- und 50 bis 55 dB(A) zum Nachtzeitraum vor.

Die Ergebnisse der Isophonenberechnungen mit Berücksichtigung einer Umlenkung der Verkehre nach Süden bzw. die hier berücksichtigten Verkehrswege sind in Abbildung 86 dargestellt.



**Abbildung 86: Isophonenberechnung Verkehrsumlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

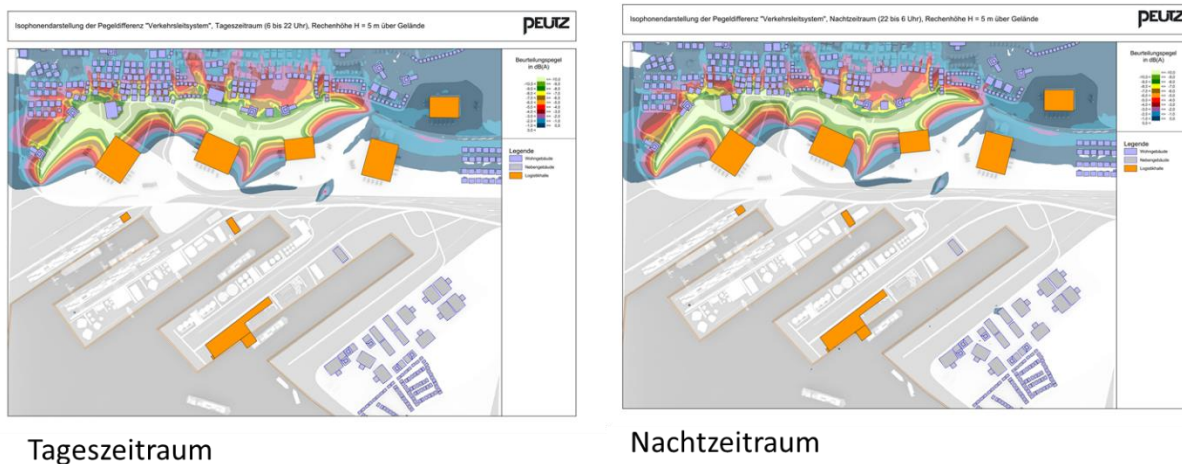
Wie die in den oben aufgeführten Grafiken für die Verkehrsumlenkung dargestellten Ergebnisse zeigen, ergeben sich mit Berücksichtigung einer nach Süden verlagerten Zuwegung Beurteilungspegel im Bereich der nördlich des Stahlhandels bzw. der mittleren beiden Logistiker gelegenen Wohnbebauung Beurteilungspegel von 50 bis 53 dB(A) zum Tages- bzw. 40 bis 43 dB(A) zum Nachtzeitraum.

Im Bereich der zu den beiden östlichen Logistikern nächstgelegenen Bebauungen ergeben sich Beurteilungspegel im Bereich von 60 bis 65 dB(A) zum Tages- bzw. 50 bis 55 dB(A) zum Nachtzeitraum.



## 6 Konzeptionierung und Anwendung

Die Ergebnisse der Differenzisophonenkarten als Vergleich der beiden Untersuchungsvarianten ohne und mit Umlenkung der Verkehre sind in Abbildung 87 dargestellt.



**Abbildung 87: Differenz Isophonen Verkehrsumlenkung Tages- und Nachtzeitraum (Quelle: Fraunhofer IML und Peutz Consult)**

Wie die beiden Differenzisophonenkarten zeigen, ergeben sich durch Berücksichtigung der anteiligen Geräuschimmissionen in Verbindung mit einer Verlegung der Zufahrten von Norden nach Süden, d.h. weiter entfernt zu der Wohnbebauung, Pegelminderungen von 4 bis 10 dB(A) im Bereich der nördlich des Stahlhandels bzw. der mittleren beiden Logistiker gelegenen Wohnbebauung sowie Pegelminderungen im Bereich von 1 bis 3 dB(A) im Bereich der Bebauung nördlich der beiden östlichen Logistiker.

### 6.5.6 Erkenntnisse aus den Betrachtungen zum virtuellen Hafen

Alle Häfen sind hinsichtlich der Schallimmissionen natürlich individuell. Der „virtuelle Hafen“ stellt aber eine typische gewachsene Situation dar. Auch das Wohnbereiche bis unmittelbar an ein Hafengebiet reichen ist nicht außergewöhnlich, manchmal sogar ein städtebauliches Ziel Flächen in der Nähe von Hafengebieten zu neuen Wohnstandorten zu entwickeln. Auch die berechneten Schallpegel aus der Gesamthafennutzung wie sie im „virtuellen Hafen“ ermittelt wurden lassen sich in realen Situationen durchaus wiederfinden. Der Aspekt Schall ist daher ein wesentliches Kriterium, sei es bei der Genehmigungsplanung von Betrieben oder bei der städtebaulichen Planung wie es auch die dargestellten Ergebnisse zeigen.

Die Art der Nutzungen aber auch die Anordnungen im Hafengebiet gegenüber den schutzwürdigen Nutzungen können sehr stark variieren. Ebenso hat das Jahr der Genehmigung einen Einfluss auf die Schallentwicklung und die aus der jeweiligen Genehmigung abzuleitenden (anteiligen) Immissionsrichtwerte. Neuere Genehmigungen berücksichtigen vorhandene Gewerbelärmvorbelastungen durch akzeptorbezogene anteilige (reduzierte) Immissionsrichtwerte. Die schalltechnischen Anforderungen werden, manchmal bedingt durch Anwohnerbeschwerden aber bestimmt durch Genehmigungsanforderungen, strenger und Schallschutzmaßnahmen ein wesentlicher Faktor für die Genehmigungsfähigkeit.

Die Betrachtungen zum „virtuellen Hafen“ zeigen mögliche Bausteine von Schallschutzmaßnahmen auf. Die schalltechnisch optimierte neue Anordnung von Nutzungen im Hafengebiet scheidet in der Regel an der Verfügbarkeit von Flächen, wäre aber der erste Ansatzpunkt. Ebenso ist die Verkehrsplanung in der Regel ein

## 6 Konzeptionierung und Anwendung

wesentlicher Ansatzpunkt um die Lärmimmissionen in der Nachbarschaft deutlich zu reduzieren. Solche Planungen liegen aber meistens nicht in der Hand der Hafengebiete, sondern in der Hand der Kommune. Mit der Anordnung von Baukörpern auf dem Einzelgrundstück, dabei kann es sich um Hallen oder auch um klassische Schallschutzwände handeln, lassen sich im Umfeld deutliche Minderungen erzielen. Natürlich sind für konkrete Betriebe auch Maßnahmen zur Optimierung von Abläufen und Maßnahmen an einzelnen Quellen eine Möglichkeit der Schallminderung.

Es ist immer eine Einzelfallbetrachtung da die Schallentstehung (Emission), die Schallausbreitung (Transmission) und damit auch die Schallpegel an Gebäuden (Immission) von sehr vielen individuellen Faktoren abhängen. Die Betrachtungen zum „virtuellen Hafen“ zeigen aber Möglichkeiten auf und sind als Anregung zu verstehen, den Schallimmissionsschutz in Hafengebieten großflächiger und akteursübergreifender anzugehen.

## 7 Implementierung und Testphase

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden unterschiedliche Lärminderungsmaßnahmen im Duisburger Hafen implementiert und ihre Wirkung auf den Hafen beschrieben. Im Folgenden werden die Maßnahmen, die lärmindernde Einflüsse auf den Duisburger Hafen haben und im Projekt umgesetzt wurden, dargestellt.

Lärminderungsmaßnahme: Warnsignalgeräte	
<b>Prozess</b>	Alternativer Warnsignalton
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen, logport III, RRT-Terminals
<b>Entstehung durch</b>	Gesetzlich vorgeschriebener Warnsignalton an Umschlaggeräten (Krananlagen und Reachstaker) zur Vermeidung von Kollisionen
<b>Maßnahme</b>	Einsatz eines alternativen Warnsignaltons an den Umschlagsgeräten auf logport III und des Unternehmens RRT (Kran, Reachstacker und Terminal-Traktor). Austausch der konventionellen Warnsignalgeräte durch Geräte der Firma Brigade Electronics Group
<b>Art der Maßnahme</b>	Technische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	Im Vergleich zu konventionellen Warnsignalgeräten, die mit einem klassischen „Piep-Ton“ arbeiten, setzt das Gerät der Firma Brigade Electronics auf einen „Rausch-Ton“, welcher durch eine Anpassung an die Umgebungslautstärke geregelt wird. In der Praxis bedeutet dies, dass der Ton lediglich am Ort der „Gefahr“ wahrnehmbar ist und von Orten im mittleren bis weiteren Distanzbereich kaum bis gar nicht wahrgenommen wird. Darüber hinaus wirkt das Warnsignalgerät hauptsächlich im Ausrichtungsbereich und gewährleistet eine weitere Abflachung des Tons abseits des Gefahrenbereichs. Innerhalb der Fahrerkabine und nicht gefährdeten Bereiche des Umschlagsgerät wird der Ton sehr leise wahrgenommen. Neben dem Arbeitsschutz aufgrund eines niedrigeren Tonpegels im Arbeitsbereich der Fahrer, erzielt man dadurch eine angenehmere Lärmkulisse auf dem Umschlagsterminal sowie dem näheren Umfeld.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Geräte sind aufgrund ihrer Kompatibilität zu allen Umschlagsfahrzeugen sofort einsatzbereit. Die Warnsignalgeräte wurden zeitnah installiert und sind im niedrigen Preissegment platziert.
<b>Alternativen</b>	Aufgrund des Patents der Firma Brigade Electronics Group Plc in Bezug auf die Umgebungslärmanpassung, sehen wir zu dieser Technik momentan keine Alternativen.

Tabelle 22: Maßnahme: Warnsignalgeräte (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Gleisschmieranlage	
<b>Prozess</b>	Zugverkehr im Hafen
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen, Ruhrort
<b>Entstehung durch</b>	Hochfrequente Geräuschemissionen bei der Zugdurchfahrt in Gleiskurvenbereichen im Hafengebiet (Kontakt Stahl-Stahl zwischen Schiene und Rädern des Zuges)
<b>Maßnahme</b>	Die Installation von Spurkranzschmiereinrichtungen in Kurvenbereichen sorgt für eine lärmreduzierte Durchfahrt von Zügen. Der Geräuschpegel im Kurvenbereich ist aufgrund der G-Kräfte des Zuges besonders hoch.
<b>Art der Maßnahme</b>	Technische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	Lärmemissionen durch Zugdurchfahrten in kritischen Kurvenbereichen, werden deutlich reduziert. Gleichzeitig senkt sich auch der Kurvenverschleiß immens.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Außer den einmaligen Investitionskosten kommen lediglich die Wartungskosten hinzu. Der Schienenverkehr selber wird zu keiner Zeit eingeschränkt, da die Wartungsarbeiten zu Nebenzeiten durchgeführt werden. Einschränkungen gibt es beim Einsatz der Technik in der Nähe von Schienenweichen. Hier können weitergetragene Schmierstoffe zu Funktionsbeeinträchtigungen führen.
<b>Alternativen</b>	

Tabelle 23: Maßnahme – Gleisschmieranlagen (Quelle: Duisburger Hafen AG)



Abbildung 88: Spurkranzschmiereinrichtungen (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Lärmschutzwände	
<b>Prozess</b>	Terminal- / Hafenbereich
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Identifizierung von schützenswerten Orten durch Lärmgutachten
<b>Maßnahme</b>	An die Außengrenze von logistischer Infrastruktur, werden Lärmschutzwände installiert, um schützenswerte Orte vor innerbetrieblichem Lärm abzuschirmen (passive Schallschutzmaßnahme)
<b>Art der Maßnahme</b>	Technische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	<p>Der Einsatz von Lärmschutzwänden, ist für logistische Infrastruktur eine wirkungsvolle, wenn auch kostenintensive, Möglichkeit, um schützenswerte Orte vor innerbetrieblichen Lärmquellen zu schützen. Je nach Rahmenbedingung am Duisburger Hafen werden verschieden Lärmschutzwände eingesetzt. Es wird unterscheiden in:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konventionelle Lärmschutzwände</li> <li>• Lärmabsorbierende Lärmschutzwände</li> <li>• Mobile Lärmschutzwände</li> </ul> <p>Konventionelle Lärmschutzwände werden in Bereichen eingesetzt, die keine weiteren Lärmquellen außerhalb und angrenzend an die Lärmschutzwand aufweisen.</p> <p>Gebiete wiederum, die beispielsweise Schienenverkehre in unmittelbarer Nähe zur Außengrenze aufweisen, werden mit Lärmabsorbierende Lärmschutzwände (Lochblechkassetten) ausgestattet. Diese sorgen dafür, dass Lärm der Schienenverkehre nicht reflektiert und stärker an die schützenswerten Orte geleitet wird, sondern absorbiert und nur noch abgeschwächt wahrnehmbar ist.</p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die räumlichen Gegebenheiten für die Errichtung eine Lärmschutzwand müssen geeignet sein. Negative Effekte einer Lärmschutzwand (z.B. Verschattung) müssen bei der Planung berücksichtigt werden. Lärmschutzwände stellen, insbesondere bei großen Hafengeländen, eine kostspielige Form des passiven Lärmschutzes dar.
<b>Alternativen</b>	Erdwälle, Gabionen-Wände, bepflanzte Lärmschutzwände und mobile Lärmschutzwände bestehend aus aufeinander gestapelten Leercontainern; Kombination aus Erdwällen und kurzen Lärmschutzwänden oberhalb des Erdwalls

Tabelle 24: Maßnahme – Lärmschutzwände (Quelle: Duisburger Hafen AG)



## 7 Implementierung und Testphase



Abbildung 89: Lärmwand (Quelle: Duisburger Hafen AG)

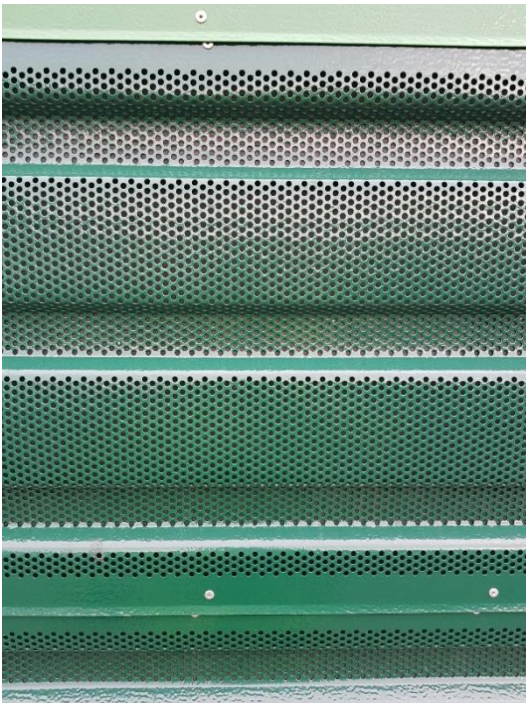


Abbildung 90: Absorbierende Lärmschutzwand (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Leise Maschinen/Werkzeuge	
<b>Prozess</b>	Einsatz von leisem Werkzeug
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Bau- und Instandhaltungsarbeiten an der Infra- und Suprastruktur des Hafens
<b>Maßnahme</b>	An die Außengrenze von logistischer Infrastruktur, werden Lärmschutzwände installiert, um schützenswerte Orte vor innerbetrieblichem Lärm abzuschirmen (passive Schallschutzmaßnahme)
<b>Art der Maßnahme</b>	Technische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	<p>Um in lärmsensiblen Gebieten den Lärmpegel auf einem niedrigen Niveau zu halten, wurden Blasgeräte mit Schalldämpfer angeschafft. Der Schalldämpfer sorgt hier für eine Einkapselung und Reduzierung von Motor- und Turbinengeräuschen. Hier wurde das konventionelle Modell „STIHL BR 600“, um das Modell „STIHL BR 500“ erweitert, das mit einem Schalldämpfer ausgestattet ist.</p> <p>Darüber hinaus wird von der zuständigen Abteilung der Markt der elektrobetriebenen Werkzeuge beobachtet. Sollte eine steigende Nachfrage der Lärmintensiven Tätigkeiten in der Nähe von schützenswerten Bereichen, wird eine Anschaffung von elektro-betriebenen Heckensägen und Schneidgeräten in Betracht gezogen.</p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Eine Aufrüstung oder Neuanschaffung ist zu jeder Zeit möglich. Daher ist eine sehr gute Umsetzbarkeit gegeben. Die Mehrkosten von lärmoptimierten gegenüber konventionellen Werkzeugen und Maschinen bei der Neuanschaffung sind relativ gering.
<b>Alternativen</b>	Lärmintensive Arbeiten nicht zu schützenswerten Zeiten planen bzw. durchführen.

Tabelle 25: Maßnahme - Leise Maschinen/Werkzeuge (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Ausrichtung von Gebäuden	
<b>Prozess</b>	Ausrichtung von Infrastruktur zur Lärmreduzierung
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Planung neuer Anlagen und Gebäude
<b>Maßnahme</b>	Räumliche Ausrichtung der Infrastruktur
<b>Art der Maßnahme</b>	Ausrichtung von Infrastruktur und Materialflüssen, zum Schutz von schützenswerten Gebieten
<b>Wirkung</b>	<p>Niedrigere Lärmemissionen werden dadurch erreicht, dass schützenswerte Bereiche lokalisiert werden und die Ausrichtung von Gebäuden und Materialflüssen zum Schutz dieser Bereiche ausgelegt wird. Das Distributionszentrum auf der Duisburger Mercatorinsel wurde genau unter diesen Aspekten geplant. Die Zu- und Ausfahrten der Halle wurden absichtlich nicht in Richtung des Wohngebiets Ruhrort platziert, um auf diese Weise den Materialfluss und andere Lärmquellen vom Wohngebiet abzuwenden und das entstehende Gebäude selber als Hindernis für eine ungestörte Schallausbreitung zu verwenden.</p> <p>Durch die optimale Positionierung sowie Ausrichtung von Zufahrtsrouten auf logistischen Flächen, werden lärmsensible Bereiche geschont. Diese Ausrichtung bezweckt durch das fernhalten von Verkehren und lärmintensiven Betriebsprozessen, die Lärmbelastung durch diese logistischen Flächen auf einem niedrigen Niveau zu halten.</p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Umsetzbarkeit ist in der Planungsphase von Infrastruktur beinahe ohne Einschränkung möglich. Eine nachträgliche Etablierung dieser Maßnahmen ist lediglich eingeschränkt möglich. So kann immer noch nachträglich der Materialfluss abgeändert werden, jedoch gilt dies nicht für Zu- und Ausfahrt, oder die Positionierung von beispielsweise Krananlagen. Die Kosten sind bei einer nachträglichen Änderung erheblich.
<b>Alternativen</b>	Lärmschutzwände, Etablierung von leisen Technologien, Verwendung leiser Verkehrsmittel

Tabelle 26: Ausrichtung von Gebäuden (Quelle: Duisburger Hafen AG)



7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Prozessoptimierung (räumlich/zeitlich)	
<b>Prozess</b>	Prozessoptimierung (räumlich/zeitlich)
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Unbeschränkter räumlicher Betrieb im Hafengebiet und in Umschlagterminals
<b>Maßnahme</b>	Durch den Einsatz einer räumlichen Restriktion des Einsatzgebiets von Terminalumschlaggeräten (hauptsächlich Reachstackern) in schützenswerten Zeiten, wird auf dem Terminal logport III eine signifikante Lärmreduzierung erzielt. Wohngebietsnahe Bereich des Terminal werden zu Abend- und Nachtzeiten nur durch leisere Umschlaggeräte oder überhaupt nicht bedient. Hierdurch werden vor allem Wohngebiete weiter geschützt, die damit einer niedrigeren Lärmbelastung in den Abend- und Nachtstunden ausgesetzt sind.
<b>Art der Maßnahme</b>	Organisatorische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	Indem Reachstacker in gewissen Arealen zu schützenswerten Zeiten nicht mehr operieren, sinkt die Belastung für Anwohner signifikant. Dies erfordert in den Tagschichten optimierte und abgestimmte Prozesse. Lkw-Verkehre werden während der Tagschichten so koordiniert, dass eine großteilige Abwicklung Tagsüber durchgeführt werden kann. Die Zugeinfahrten werden zu schützenswerten Zeiten ausschließlich auf die Gleise gelenkt, welche von den Krananlagen umgeschlagen werden können, um auf den Einsatz von Reachstacker verzichten zu können. Dies erfordert effiziente Planungsstrukturen, um die Wirtschaftlichkeit des Terminals nicht zu gefährden.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Mit einer Umstrukturierung der zeitlichen Prozessplanung auf logport-III, werden Operationen in Bereichen, die nah an Wohngebieten liegen, in den Tag-Bereich verlegt. Diese Änderung des Prozesses ist relativ kostengünstig zu realisieren, wenn die Terminalsysteme (z.B. TOS) eine entsprechende Anpassung mit wenig Aufwand erlauben. Evtl. ist jedoch mit einer Beeinträchtigung der Effizienz des Terminals durch die Maßnahme zu rechnen.
<b>Alternativen</b>	Aufbau von Lärmschutzwänden, Reduzierung der generellen Umschlagfähigkeit in Abend- und Nachtstunden

Tabelle 27: Maßnahme - Prozessoptimierung (räumlich/zeitlich) (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärminderungsmaßnahme: Prozessoptimierung (zeitlich)	
<b>Prozess</b>	Prozessoptimierung (zeitlich)
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Lkw Zu- und Abfahren im Hafengebiet
<b>Maßnahme</b>	Das auf logport III implementierte Terminal Operating System (TOS), passt die Lkw -Ankunftsdaten der jeweiligen Situation an. Zusätzlich bieten ein Lkw -Verkehrssystem die Möglichkeit, Lkw-Zuläufe und verfügbare Zeitfenster zur Abfertigung zu koppeln und damit unnötige Stau- und Wartezeiten zu vermeiden.
<b>Art der Maßnahme</b>	Organisatorische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	Die Lkw-Ankunftsdaten werden effizient gesteuert, so dass LKWs zum optimalen Zeitpunkt ins Hafengebiet von logport III eintreffen. Im Optimalfall treffen auf diese Weise anliefernde oder abholende LKW erst ein, wenn diese benötigt werden. Neben einer Reduktion der Wartezeit auf dem Terminal, reduziert sich auch allgemeine LKW-Aufkommen. Dies sorgt für eine niedrige Durchfahrtsrate von LKW durch die anliegenden Wohngebiete.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Implementierung von entsprechenden Systemen zur Steuerung von Lkw-Verkehren erfordert einen erheblichen Aufwand. Durch die Vielzahl der Beteiligten an der Transportkette ist eine Umsetzung in vielen Fällen schwierig. Neben einem Effekt auf die Lärmemissionen kann ein Zulaufsteuerung jedoch auch wirtschaftlich sinnvoll sein, da Staus, Wartezeiten und Leerfahrten vermieden werden.
<b>Alternativen</b>	Vermeidung von Leerfahrten durch spediteursübergreifende Planung von Zu- und Abläufen vom Terminal

Tabelle 28: Prozessoptimierung (zeitlich) (Quelle: Duisburger Hafen AG)

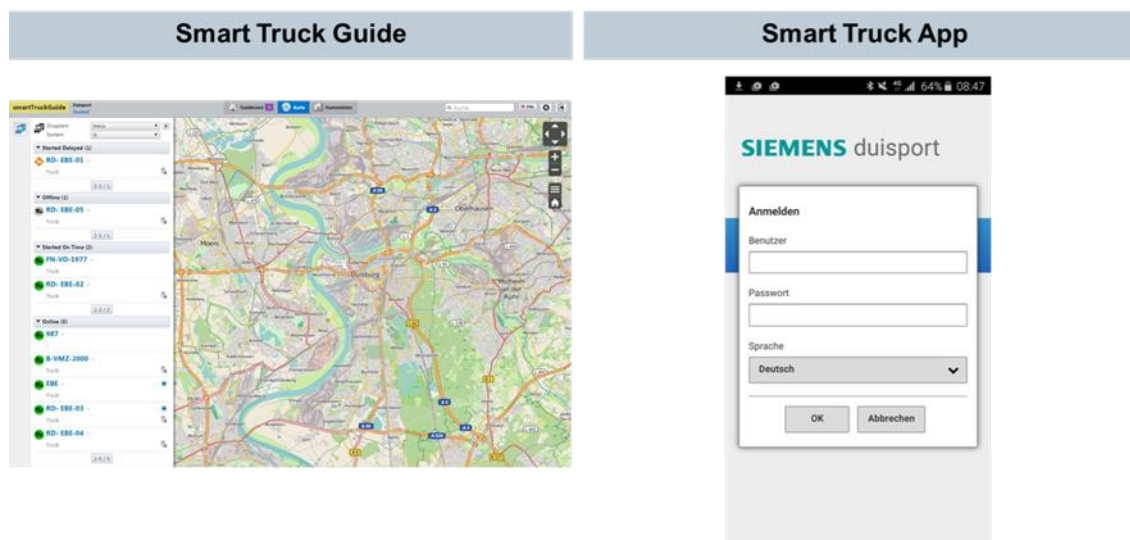


Abbildung 91: System zur Steuerung von Lkw-Verkehren (Quelle: Duisburger Hafen AG)

## 7 Implementierung und Testphase

Lärmminderungsmaßnahme: Landstrom	
<b>Prozess</b>	Landstrom für die liegenden Schiffe im Hafenbereich
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Dieselaggregate der Schiffe zur Erzeugung von Strom an Bord während der Liegezeiten
<b>Maßnahme</b>	Stromversorgung der Binnenschiffe von Landseite durch den Anschluss ans Stromnetz zur Vermeidung von Stromerzeugung durch Dieselaggregate an Bord der Schiffe
<b>Art der Maßnahme</b>	Organisatorische Maßnahme
<b>Wirkung</b>	Durch den Wegfall der Lärmemissionen durch den laufenden Dieselmotor, wird sowohl der Komfort der Besatzung an Bord der Schiffe erhöht, als auch die Lärmbelastung in den direkt angrenzenden Wohngebäuden verringert. Da die Generatoren zur Deckung des Strombedarfs an Bord durchgehend in Betrieb sind, kann insbesondere zu Nachzeiten eine erhebliche Reduzierung der Störungen erzielt werden.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Erhebliche Kosten sind für die Errichtung der Säulen zur Stromversorgung einzuplanen. Je nach Standort sind jedoch die Kosten für den vorgelagerten Netzausbau noch um ein vielfaches höher (Verlegung von Erdkabeln). Neben einer Reduzierung von Lärmemissionen wird auch der Ausstoß lokaler Luftschadstoffe durch die Vermeidung des Betriebs der Dieselgenerator vermieden.
<b>Alternativen</b>	Liegeplätze der Schiffe in Bereiche ohne Wohnbebauung verlegen (falls solche Liegeplätze in ausreichender Anzahl verfügbar sind).

Tabelle 29: Maßnahmen – Landstrom (Quelle: Duisburger Hafen AG)



Abbildung 92: Landstromversorgung (Quelle: Duisburger Hafen AG)

7 Implementierung und Testphase

Lärm-minderungsmaßnahme: Einsatz von LNG als alternativer Kraftstoff	
<b>Prozess</b>	Einsatz von Liquefied Natural Gas (LNG)
<b>Ort</b>	Duisburger Hafen
<b>Entstehung durch</b>	Dieselbetriebene Terminalfahrzeuge
<b>Maßnahme</b>	Durch den Einsatz von LNG als Substitut für Dieselkraftstoff in einem Terminaltraktor und einem Reachstacker lassen sich die Lärmemissionen der Motoren reduzieren.
<b>Art der Maßnahme</b>	Der Terminaltraktor mit LNG als Treibstoff besitzt einen reinen Gasmotor. Das gesamte Fahrzeug wird dadurch im Betrieb leiser. Beim Reachstacker handelt es sich um ein umgerüstetes Diesel-Fahrzeug. Der Motor wurde nicht ausgetauscht, sondern für einen LNG/Diesel Mischbetrieb umgerüstet. Dadurch verbrennt der Motor sowohl Dieselkraftstoff als auch LNG. Die jeweiligen Anteile bei der Verbrennung werden automatisch den Belastungssituationen des Antriebs angepasst. Zudem wurde ein zusätzlicher LNG-Tank am Fahrzeug angebracht.
<b>Wirkung</b>	Insbesondere beim Terminaltraktor konnte eine erhebliche Reduzierung der Lärmemissionen festgestellt werden. Die Wirkung beim Reachstacker ist hingegen weniger signifikant. Neben der Reduzierung der Lärmemissionen erhofft man sich durch den Einsatz auch eine Reduzierung der lokalen Luftschadstoffemissionen und niedriger Betriebskosten durch günstigeren Kosten für den Treibstoff LNG.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Der Einsatz von LNG bei schweren Terminalgeräten ist bisher wenig erprobt und daher noch in der Entwicklungsphase. Für eine reine Reduzierung der Lärmemissionen ist eine Einführung wirtschaftlich nicht vertretbar. In Kombination mit anderen Effekten (Reduktion der Betriebskosten und Luftschadstoffe) können die Mehrkosten bei der Anschaffung der LNG-Fahrzeuge jedoch evtl. kompensiert werden.
<b>Alternativen</b>	Einsatz von Elektrofahrzeuge (falls verfügbar und wirtschaftlich sinnvoll), oder Fahrzeugen mit Wasserstoff als Energielieferant

Tabelle 30: Maßnahme - Einsatz von LNG als alternativer Kraftstoff (Quelle: Duisburger Hafen AG)

## 7 Implementierung und Testphase



Abbildung 93: LNG-Tank am Fahrzeug 1 (Quelle: Duisburger Hafen AG)



Abbildung 94: LNG-Tank am Fahrzeug 2 (Quelle: Duisburger Hafen AG)



## 8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit

### 8.1 Stakeholderintegration

Die Stakeholder-Integration erfolgte im Rahmen durchgeführter Expertengespräche. Diese fanden in den Städten Dortmund, Frankfurt a.M., Duisburg, Ludwigshafen a. Rhein und Hamburg statt. Alle Gespräche wurden in Form leitfadengestützter Interviews durchgeführt und protokolliert. Wesentliche Ergebnisse dieser Gespräche sind in den vorliegenden Bericht eingeflossen.

Es wurden keine Stakholdertreffen, wie in der Vorhabensbeschreibung festgelegt, durchgeführt, da Lärm ein sehr sensibles Thema ist. Viele Unternehmen und Häfen möchten nicht öffentlich über Lärmproblematiken sprechen da Konflikte durch diese entstehen können. Daher wurden ausschließlich Expertengespräche geführt, um die Stakholderintegration abzudecken.

Im März 2019 findet eine Abschlusskonferenz unter Beteiligung von Unternehmen im Hafenumfeld (z.B. Terminals und Logistikdienstleister), kommunalen Vertretern, Hafengesellschaften, Technologieanbietern und Verbänden statt. Im Rahmen dieser Konferenz wird gemeinsam diskutiert, wie sich die Zusammenarbeit relevanter Akteure aus Hafen- und Stadtentwicklung gegenwärtig gestaltet und an welchen Stellen Optimierungsbedarfe im Prozess bestehen. Die im Projekt zusammengestellten Maßnahmen werden vorgestellt und ein Feedback aus Praktikersicht eingeholt.

### 8.2 Erstellung eines Good-Practice-Guide

Die Erstellung eines Good-Practice-Guides dient der Dokumentation der wesentlichen Projektergebnisse sowie dem Wissens- und Technologietransfer. Die in diesem Good-Practice-Guide vorgestellten Ergebnisse sind im Rahmen des Projekts „Leiser Hafen – Effiziente und stadtverträgliche Maßnahmen zur Lärmreduzierung in logistischen Knoten“, gefördert durch das Land Nordrhein-Westfalen unter Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) 2014-2020 „Investition in Wachstum und Beschäftigung“ entstanden. Kern des Good-Practice-Guides ist das strategische Ablaufschema, das einen roten Faden im Umgang mit der Lärmsituation in Binnenhäfen darstellt und die Umsetzungen eines typischen Binnenhafens in einem Entwickelten virtuellen Hafen. Das Vorgehen ist in fünf Schritte unterteilt, was eine ganzheitliche Betrachtung der Ausgangssituation in Binnenhäfen ermöglicht. Der Aufbau des vorliegenden Good-Practice-Guides folgt den Schritten des strategischen Ablaufschemas.

Die Betrachtung von Binnenhäfen bezüglich der Schallimmissionssituation muss vor Ort stets individuell vorgenommen werden, da es sich immer um eine Einzelfallbetrachtung handelt, die von individuellen Faktoren vor Ort abhängig sind. Durch das hier vorgestellte Ablaufschema wird ein einheitliches und generalisiertes Vorgehen vorgestellt, das auf jeden Binnenhafen übertragen und angewendet werden kann.

#### Schritt 1: Identifikation der Handlungsnotwendigkeit



Abbildung 95: Schritt 1: Identifikation der Handlungsnotwendigkeit (Quelle: Fraunhofer IML)

## 8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit

Der erste Schritt ist die Identifikation der Handlungsnotwendigkeit, um die Motivation und Gründe für Handlungen zu definieren. Hierbei ist die Ausgangslage möglichst umfassend zu beschreiben und zu identifizieren, da es sich um die Basis für die nachfolgenden Schritte handelt.

Es wurden insgesamt vier unterschiedliche Handlungsnotwendigkeiten identifiziert. Die Neuansiedlung eines Unternehmens in einem Binnenhafen, kann ein Auslöser für die Überprüfung der sich dadurch ergebenden Schallsituation darstellen. Eine weitere Handlungsnotwendigkeit sind vorhandene Lärmprobleme, die aufgrund des Bestandsschutzes angestoßen werden. Binnenhäfen, die eine proaktive Herangehensweise an die Thematik Lärm wählen, stellen eine weitere identifizierte Handlungsnotwendigkeit dar. Als letzte identifizierte Handlungsnotwendigkeit wurden eine Nutzungsausweitung und die Umnutzung von Flächen, d.h. der Binnenhafen erhält zusätzliche Flächen, die hafentechnisch entwickelt werden können oder gibt Flächen zur anderweitigen Nutzung an Dritte ab.

Ziel des ersten Schritts des strategischen Ablaufmodells ist die Identifikation und Realisierung der Gründe für die nachfolgenden Schritte, so dass ein Grundverständnis der Handlungsnotwendigkeit etabliert wird.

### Schritt 2: Ursachendefinition

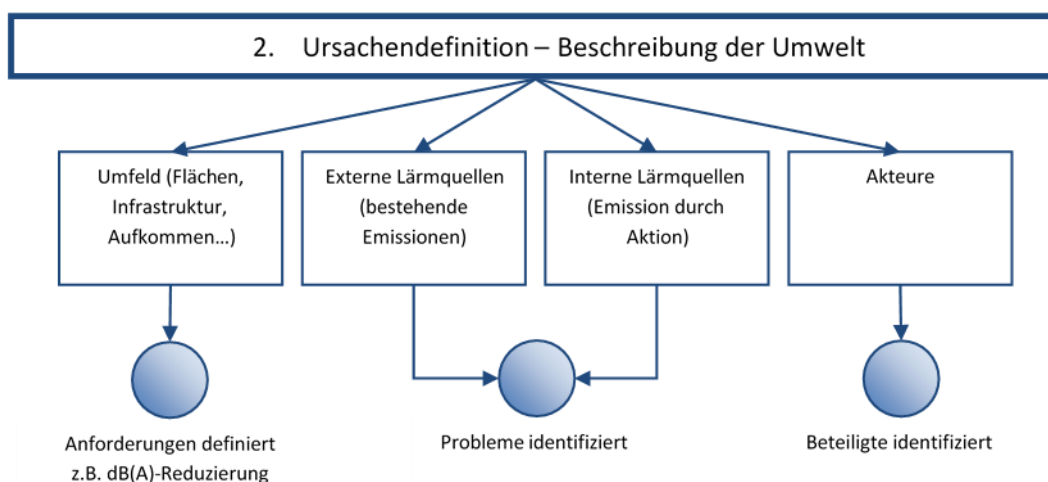


Abbildung 96: Schritt 2: Ursachendefinition (Quelle: Fraunhofer IML)

Nach der Identifikation der Handlungsnotwendigkeit (Abbildung 95), muss die Ist-Situation des Binnenhafens aufgenommen werden. Hierzu zählen das Umfeld des Binnenhafens, die Lärmquellen sowie beteiligte Akteure (Stakeholder).

Die Beschreibung des Umfelds des Binnenhafens beinhaltet eine allgemeine Hafenanalyse mit Abbildung und Analyse der Infra- und Suprastruktur des Hafens. Beispielhaft wurde hierfür der virtuelle Hafen entwickelt. Dieser spiegelt einen typischen Binnenhafen mit allen Umschlagvorrichtungen wider. Der virtuelle Hafen soll im Rahmen des Projekts und des Good-Practice-Guides als Orientierung dienen, um die Lärmquellen im eigenen Hafen zu identifizieren. Da der virtuelle Hafen alle Verkehrsträger abdeckt und auch Logistik sowie Industrieenanrichtungen betrachtet zeigt er ein ganzheitliches Hafensbild. Abgeleitet aus der Identifikation der Handlungsnotwendigkeit (Schritt 1) und der Umfeldbeschreibung des Binnenhafens, werden Zielanforderungen definiert. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine konkret zu beziffernde dB(A)-Reduzierung handeln oder auch um Pläne für eine zukünftige Flächenentwicklung des Hafens. Wichtig ist, dass der Betrachtungsort für das weitere Vorgehen klar definiert und beschrieben wird. In einem weiteren Schritt werden die Lärmquellen im Binnenhafen identifiziert. Die Lärmquellen werden nach dem jeweiligen Emissionsort, hier Wirtschaftsverkehr, Verkehrsmittel, Güterstrukturen sowie Umschlag- und Umfuhrequipment, klassifiziert. Im Rahmen des Projekts wurden eine Vielzahl von Steckbriefen erstellt, die im Anhang ausführlich dargelegt sind. Die Steckbriefe zeigen eine Vielzahl



## 8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit

von Lärmquellen aufgeschlüsselt nach ihrem Entstehungsort und den zugehörigen Hafenzuständen. Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Identifizierung und Beschreibung von Akteuren, die im weiteren Verlauf eingebunden werden müssen. Die Auswahl der Akteure ist dabei von besonderer Bedeutung, da akteursübergreifende Maßnahmen und akteursübergreifende Maßnahmenbündel ein höheres Lärmreduzierungs-potenzial, im Vergleich zu Einzelmaßnahmen, aufweisen. Zur besseren Identifikation und Zuordnung der Akteure wurde im Rahmen des Endberichts „Leiser Hafen“ eine Akteursbeschreibung vorgenommen und die Beziehung der Akteure untereinander dargestellt.

In den ersten beiden Schritten wird die Ausgangslage, Akteure und Lärmquellen möglichst umfassend und ganzheitlich für den spezifischen Anwendungsfall herausgearbeitet, so dass eine vielversprechende Basis entsteht, auf deren Grundlage die nächsten Schritte, die lärmvermindernde und lärmvermeidende Maßnahmen einführen, angewendet werden können.

### Schritt 3: Nutzung Maßnahmenkatalog

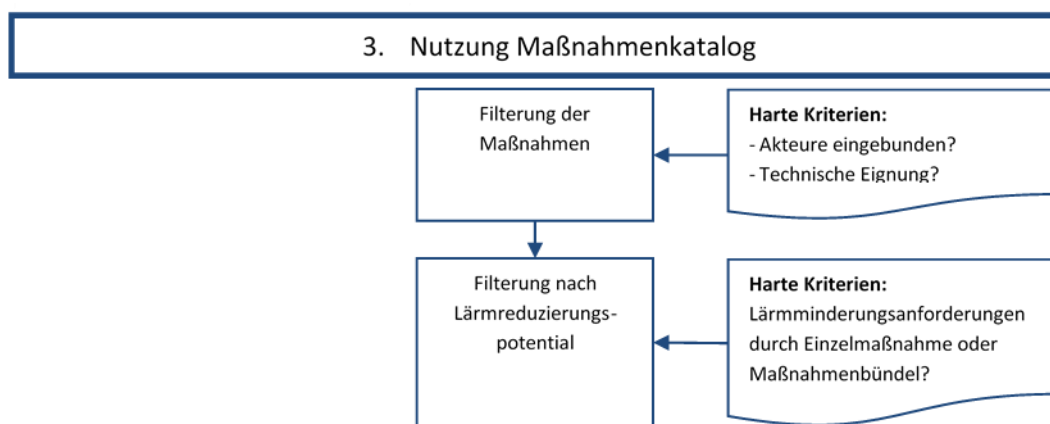


Abbildung 97: Schritt 3: Nutzung Maßnahmenkatalog (Quelle: Fraunhofer IML)

Im dritten Schritt wird der Maßnahmenkatalog auf die in den ersten beiden Schritten herausgearbeitete Ausgangslage angewandt. Der im Rahmen des Projekts Leiser Hafen entwickelte Maßnahmenkatalog, wird im dritten Schritt auf den spezifischen Anwendungsfall gefiltert. Hierbei müssen für jede Situation spezifische Kriterien definiert werden. Zunächst erfolgt eine Filterung nach generellen Ausschlusskriterien, wie beispielsweise, ob alle relevanten Akteure eingebunden werden können oder ob eine Maßnahme zur Lärmreduzierung oder Lärmvermeidung technisch umsetzbar sind. An dieser Stelle muss die Eignung der Maßnahmen auf den jeweiligen Anwendungsfall geprüft werden. Danach erfolgt eine Prüfung und Filterung auf Basis des Lärmreduzierungs-potenzials. D.h. es muss geprüft werden, ob Maßnahmen beziehungsweise Maßnahmenbündel das Potenzial haben die Lärmreduzierungsanforderungen zu erfüllen. Hierbei handelt es sich um Kriterien, die für jede Ausgangslage angewendet werden müssen. Darüber hinaus können weitere Ausschlusskriterien für die Filterung definiert werden. Die Steckbriefe der Lärmquellen wurden im Rahmen des Projekts um Lärmreduzierungsmaßnahmen erweitert. Hierdurch ist eine Zuordnung vorgenommen worden, was es dem betroffenen Akteur vereinfacht Lärmreduzierungsmaßnahmen für die in Schritt 1 und 2 definierten Umfeldbedingungen und Lärmquellen zu finden. Der Maßnahmenkatalog selbst bezieht sich auf Einzelmaßnahmen zu Lärmquellen. Da jedoch oft nicht nur eine gefilterte Sicht der Lärmquellen vorgenommen werden kann, sondern mehrere Lärmquellen zusammen zur Lärmproblematik beitragen, ist der virtuelle Hafen entwickelt worden. Anhand des virtuellen Hafens werden Maßnahmenbündel (beispielsweise eine Lärmschutzwand, die die Geräuschbelastung mehrerer Lärmquellen verringert) dargestellt und beispielhafte Berechnungen der Lärmreduzierungs-potenziale wurden erarbeitet. Der virtuelle Hafen dient jedoch auch dazu Lärmreduzierungsmaßnahmen zu einzelnen Lärmquellen grafisch aufbereitet darzustellen. Die Steckbriefartigen Lärmquellen und Lärmreduzierungen, die im Rahmen des Projekts als Maßnahmenkatalog entwickelt wurden, sind auch im virtuellen Hafen dargestellt. Durch die Auswahl einer Lärmquelle (beispielsweise ein Portalkran, oder ein Lkw) im virtuellen Hafen werden Lärmmaßnahmen angezeigt, die der spezifischen Lärmquelle zugeordnet

## 8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit

sind. Somit ist durch den Maßnahmenkatalog und den virtuellen Hafen im Rahmen des Projekts eine Datenbank über mögliche Lärmmindeurmaßnahmen entstanden.

Ergebnis des dritten Schrittes ist ein auf die jeweilige Ausgangslage angepasster Maßnahmenkatalog, dessen Maßnahmen im nachfolgenden Schritt bewertet werden müssen.

### Schritt 4: Bewertung ausgewählter Maßnahmen

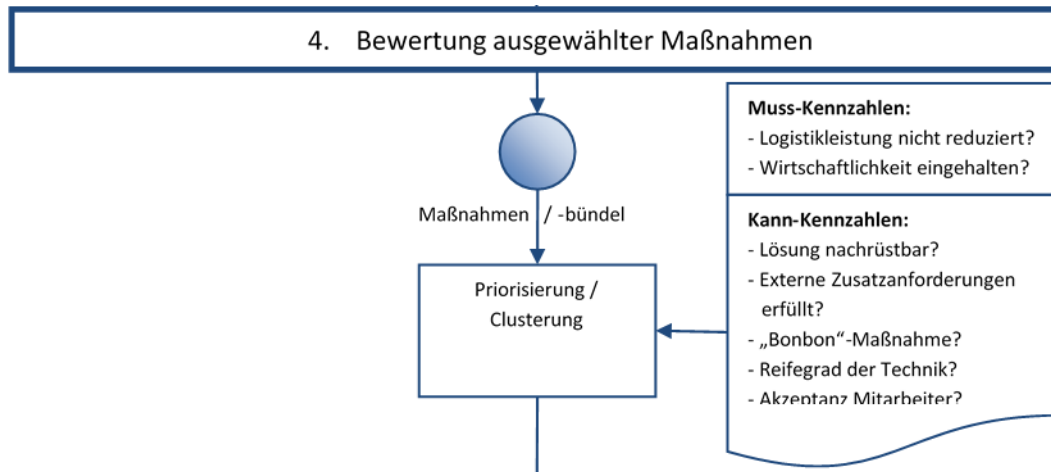


Abbildung 98: 4. Schritt: Bewertung ausgewählter Maßnahmen (Quelle: Fraunhofer IML)

Der gefilterte Maßnahmenkatalog (Schritt 3), wird im vierten Schritt bewertet. Hierbei werden sogenannte Muss- und Kann-Kennzahlen auf den Maßnahmenkatalog angewendet. Unter Muss-Kennzahlen werden die Logistikleistung und die Wirtschaftlichkeit gezählt. Hierbei muss bewertet werden, ob Maßnahmen/ Maßnahmenbündel die Logistikleistung reduzieren und ob Maßnahmen/ Maßnahmenbündel zu einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis umsetzbar sind. Diese beschriebene Bewertung muss individuell erfolgen und die Bewertung ist auch stark von der identifizierten Handlungsnotwendigkeit, Ursachendefinition und damit von den Zielen abhängig.

Die Kann-Kennzahlen werden zur Priorisierung von Maßnahmen/ Maßnahmenbündeln, nach Anwendung der Muss-Kennzahlen, eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Fragestellungen, ob Lösungen nachrüstbar sind, es sich um Bonbon-Maßnahmen, den Reifegrad der Technik von Maßnahmen.

### Schritt 5: Auswahl

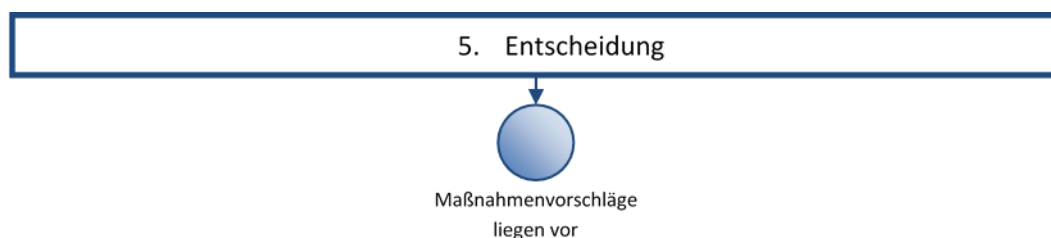


Abbildung 99: Schritt 5: Entscheidung (Quelle: Fraunhofer IML)

Im letzten Schritt liegen Maßnahmenvorschläge vor, die von den Initiatoren ausgewählt und in einem weiteren Schritt umgesetzt werden müssen.

## 8 Transfer und Öffentlichkeitsarbeit

Durch das strategische Ablaufschema wird Betroffenen ein Leitfaden an die Hand gegeben, mit dem die schalltechnische Situation in Binnenhäfen ganzheitlich und umfassend betrachtet werden können. In Kombination mit den Ergebnissen des Projekts Leiser Hafen, kann somit eine Unterstützung für Binnenhäfen bezüglich Lärminderungspotenzialen gegeben werden. Der virtuelle Hafen wurde anhand des strategischen Ablaufschemas entwickelt und dient als Visualisierung des Good-Practice-Guides.

### 8.3 Öffentlichkeitsarbeit und Veröffentlichung der Projektergebnisse

Im Rahmen der Expertengespräche wurde das Projekt vorgestellt und wesentliche Projektergebnisse präsentiert. Die Expertengespräche dienten sowohl dem gemeinsamen Erfahrungs- und Wissensaustausch als auch der Gewinnung weiterer Akteure, die langfristig das Projekt begleiten und an der geplanten Abschlusskonferenz im März 2019 teilnehmen könnten.

Im gesamten Projektverlauf hat das Projekt auf den Websites der beteiligten Projektpartner Erwähnung gefunden. Des Weiteren wurden Projektergebnisse über die Öffentlichkeitsabteilungen der Partner geteilt. Das Fraunhofer IML hat im Rahmen des Jahrbuchs Logistik einen Artikel zur Thematik Lärm in Binnenhäfen veröffentlicht und Fachvorträge (unter anderem bei der Branchenkreissitzung SchifffahrtHafenLogistik 2018) zum Projekt gehalten.

## 9 Zusammenfassung

Das Ziel des Projektes „Leiser Hafen“ war die Entwicklung lärmvermeidender und –vermindernder Maßnahmen unter Berücksichtigung der logistischen Effizienz im Binnenhafen, um Nutzungskonflikte zu minimieren, zukünftige Entwicklungspotenziale zu eröffnen und stadtverträgliche Lösungen aufzuzeigen. Hierbei hat das Land NRW als Best-Practice-Anwendungsgebiet die Rolle eines Innovationstreibers für leise, effiziente und stadtverträgliche Logistik übernommen.

Durch die vier Projektpartner, die sich aus unterschiedlichen Branchen zusammensetzen und daher ein ganzheitlichen Blick auf die schalltechnische Situation und Umgebung des Binnenhafens liefern, ist ein Konsortium entstanden, das die vorliegende Problemstellung aus verschiedenen Perspektiven betrachtet hat, wodurch im Rahmen des Projekts Lösungen gefunden wurden, die unterschiedliche Akteure einbinden und eine ganzheitliche Sicht auf das Thema Lärm in Binnenhäfen erlauben. Es sind stadtplanerische, logistische, industrielle sowie lärmtechnische Interessen vertreten, wodurch das Konsortium eine große Bandbreite von Sichten auf das Problem ermöglicht.

Das Projekt hat sich mit der ganzheitlichen Betrachtung der Lärmproblematik in Binnenhäfen beschäftigt. Hierzu wurde eine Ist-Analyse der Prozesse im Hafen vorgenommen mit Hilfe derer die Akteure im Binnenhafen identifiziert, eine lärmtechnische Erfassung der Hafenprozesse vorgenommen, die Lärmquellen steckbriefartig identifiziert sowie das lärmspezifische Entwicklungspotenzial dargestellt und eine Trendanalyse vorgenommen wurde. Aufbauend auf der Ist-Analyse wurde eine Analyse von Maßnahmen und Handlungsmöglichkeiten durchgeführt. Durch die Entwicklung einer Ursachen-Maßnahmen-Matrix wurden die Lärmquellen und Lärmminderungsmaßnahmen verknüpft. Die Konzeptionierung und Anwendung verschiedener Maßnahmen sowie die Implementierung und Testphase haben verschiedene Maßnahmen umgesetzt. Die Umsetzung erfolgte zum einen im Duisburger Hafen und zum anderen durch die Entwicklung des virtuellen Hafens. Der virtuelle Hafen zeigt ganzheitliche Lärmminderungsansätze, gestützt durch Szenarien und Lärmminderungsberechnungen, auf. Durch die Darstellung mittels Isophonenkarten lässt sich die Wirkung der Lärmminderungsmaßnahmen grafisch darstellen. Darüber hinaus wurde ein Leitfaden in Form eines strategischen Ablaufschemas entwickelt, das Anwender unterstützt situationspezifische Lärmminderungsmaßnahmen (Einzelmaßnahmen und Maßnahmenbündel) nach einem generalisierten Modell umzusetzen.

Durch die Projektergebnisse werden technische und wirtschaftliche Innovationen im Bereich des Lärmmanagements für Häfen dargestellt und aufbereitet. Der vorliegende Endbericht gibt eine Übersicht über mögliche Lärmminderungsmaßnahmen und zeigt potenziellen Nutzern auf, welche Lärmminderungsmaßnahmen den vorliegenden Lärmquellen zugeordnet werden können. Des Weiteren wurde eine ganzheitliche Betrachtung des Binnenhafens vorgenommen und durch die Entwicklung des virtuellen Hafens Maßnahmenbündel und Szenarien aufgezeigt anhand derer sich Lärmminderungspotenziale darstellen lassen. Durch die Darstellung der Lärmminderungsmaßnahmen sollen Unternehmen und Häfen dabei unterstützt werden ihre Standorte zu sichern und dabei ihre logistische Effizienz beizubehalten.

Auch das Thema Gesundheit wurde im Kontext des Projekts „Leiser Hafen“ behandelt. Durch die Entwicklung lärmvermeidender und –vermindernder Maßnahmen wird die Lärmproblematik in Binnenhäfen verringert. Das Projekt trägt dazu bei Lärmprobleme, als einen der problematischen und gesundheitsschädigenden Emissionsfaktoren in der Gesellschaft, zu verringern.

## 10 Anhang

### Anhang 1: Steckbriefe – Kategorie der Lärmquelle: Wirtschaftsverkehr

<b>Güterverkehr</b> <b>Lärmquelle: Reifen-Fahrbahn-Geräusche</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	An- und Abtransporte über die Straße mit dem Verkehrsmittel Lkw Hafenbereich und Zubringerstraßen
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	„Air-Pumping“ – Dieser Vorgang entsteht beim Fahren mit dem Auto automatisch, so dass das Fahrzeuggewicht während des Fahrens einen Druck auf den Reifen ausübt. <sup>223</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Flüsterasphalt – Offenporiger Asphalt</b>
<b>Wirkung</b>	Flüsterasphalt bzw. offenporiger Asphalt kann das Reifen-Fahrbahn-Geräusch direkt am Ort der Entstehung reduzieren, denn die spezielle Asphaltzusammensetzung aus größeren Schotterkörner und weniger Bitumen (sogenanntes Erdöl-Destillat) bewirkt, dass kleine Hohlräume im Asphalt entstehen. Dadurch kann sich die Luft in den einzelnen Hohlräumen im Asphalt ausbreiten und dem „Air-Pumping“ entgegenwirken. Im Neuzustand kann die Geräuschminderung bis zu 10 dB(A) betragen. <sup>224</sup>  Bei Regen kann das Wasser durch die löcherartige Struktur des Flüsterasphalts gut aufgenommen, aber auch abgeleitet werden. Dies verhindert nicht nur Gischtfahnen hinter den Reifen, sondern verringert auch die Gefahr des Aqua-Planing. <sup>225</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Es wird erst dann Synergieeffekt erzielt, wenn eine Zusammenarbeit beider Lärmquellen stattfindet. Das bedeutet, eine positive Wirkung auf den Lärmschutz wird erst dann erreicht, wenn das Reifen-Fahrbahn-Geräusch lauter als die vom Antrieb erzeugten Geräuschemissionen ist. Dieser Fall tritt bei Lkws ab einer ungefähren Geschwindigkeit von 60 km/h ein. <sup>226</sup> Geht man davon aus, dass im Hafengelände diese Geschwindigkeit von Lkw nicht erreicht wird, ist Flüsterasphalt als mögliche Lärmschutzmaßnahme im Hafengelände nicht geeignet. Bei Zubringerstraßen wie Autobahnen, die dem Lkw eine zulässige Geschwindigkeit über 60 km/h erlauben, wirkt sich Flüsterasphalt jedoch lärmindernd aus und ist somit sinnvoll. Für den Einsatz auf Straßen für Innerortsgeschwindigkeiten werden Beläge mit

<sup>223</sup> Gogolin.

<sup>224</sup> Peschel und Reichart 2014.

<sup>225</sup> Stallmann 2010.

<sup>226</sup> Peschel und Reichart 2014.

	<p>kleinem Größtkorn empfohlen, da diese Beläge mechanische Schwingungen am wenigsten begünstigen.<sup>227</sup></p> <p>Jedoch ist der Einsatz von lärmarmen Belägen nicht ganz umstritten, da durch Umwelteinflüsse und Verschmutzungen die geräuschmindernde Eigenschaft schon nach wenigen Monaten bis Jahren stark abnimmt. So ist nach 8 Jahren die Minderung von 10 dB(A) auf 5 dB(A) gesunken. Zudem ist die bautechnische Haltbarkeit zwischen 8-12 Jahren deutlich geringer als bei anderen Asphaltdecken.<sup>228</sup></p>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Schallabsorbierender Radkasten</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Im Radkasten eines Lkws können spezielle Auskleidungen mit schallabsorbierendem Material dazu führen, dass der durch das Reifen-Fahrbahn-Geräusch erzeugte Geräuschpegel bei einer Vorbeifahrtsmessung um wenige Dezibel verringert wird. Dazu wird ein mikroperforierter Absorber (kurz: MPA) im Radkasten eingebaut. Bei einer Vorbeifahrtsmessung in einer Simulationsanlage wurde eine Minderung des Geräuschpegels von etwa 1 bis 2 dB(A) festgestellt.<sup>229</sup></p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Die Funktionalität ist unter Laborbedingungen nachgewiesen worden. Stellt sich in der Praxis auch eine Lärmpegelsenkung durch den Gebrauch der MPA dar, ist eine Umsetzung bei neu hergestellten Lkws durchaus denkbar. Die Lebensdauer und das Verhalten unter Langzeitbelastung müssen jedoch noch getestet werden.</p>
<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<b>Montage lärmarmen Reifen</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Bei den im Handel angebotenen Reifen gibt es Schallpegelunterschiede von bis zu 3 dB. Leisere Reifen sind schmaler, besitzen eine besondere mit aufbereitetem Silizium angereicherte Kautschukmischung und haben ein feineres Profil.<sup>230</sup></p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>In unmittelbarer Nähe von Autobahnen, Schnell- und auch Landstraßen ist das Lärminderungspotenzial durch lärmarme Reifen besonders hoch. Darüber hinaus würden ebenfalls der Innerortsverkehr bzw. der Hafenzubringerverkehr von dieser Lärminderung profitieren, da schon ab ungefähr 40 – 60 km/h Fahrgeschwindigkeit das Reifengeräusch das Motorgeräusch übertrifft.<sup>231</sup></p>

<sup>227</sup> Peschel und Reichart 2014.

<sup>228</sup> Peschel und Reichart 2014.

<sup>229</sup> Brandstätter et al. 2012.

<sup>230</sup> Lärmorama.

<sup>231</sup> Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 1997.

Lärmquelle: Ungesteuerter / nicht-wertschöpfender Verkehrsfluss	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Fortbewegung mit Lkw/ Pkw über Verkehrsträger Straße Hafenbereich und Zubringerstraßen
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Staus, unnötige Wartezeiten sowie die ewige Parkplatzsuche sind für die Lkw-Fahrer sehr zeitintensiv, womit teilweise bis zu 15 km bzw. über 60 min Zeit verschwendet werden. Vor allem bei der Parkplatzsuche besteht häufig das Problem, dass diese nicht für Lkws ausgelegt sind und der nun parkende Lkw den weiteren Straßenverkehr behindert. All diese nicht-wertschöpfenden Verkehrsflüsse sorgen für eine hohe Lärmbelastung insbesondere in den umliegenden Wohngebieten. <sup>232</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Lkw-Zulaufsteuerung „Integrated Truck Guidance“ (kurz: ITG)</b>
<b>Wirkung</b>	Mit dem Trend der Digitalisierung im Hafen wird die Möglichkeit geschaffen, Prozesse und Transporte intelligent zu steuern und somit deren Leistungsfähigkeit zu verbessern. Vor diesem Hintergrund geht der Duisburger Hafen mit einer Testphase ITG, in der eine IT-basierte Zulaufssteuerung in Verknüpfung mit einem Verkehrsleitsystem, voran. In dieser Testphase wird die aktuelle Verkehrssituation auf den Zubringerstraßen und im Hafen überwacht und gibt jedem Fahrer, der sich über eine App des Hafens im Smartphone angemeldet hat, personalisiert den effektivsten Weg zu einem freien Slot oder einem verfügbaren Parkplatz. Über die aktuellen Standorte und die Erfassung der Verkehrszeiten der Lkws, kann das System Staus oder Wartezeiten kurzfristig erkennen und Informationen an den Fahrer über die App oder digitalen Hinweisschildern weiterleiten. Dadurch lassen sich die Verkehrsströme steuern und Wartezeiten direkt vermieden oder verringert werden. Damit verbunden, ergibt sich ein positiver Effekt auf die Lärmemissionen, da ein fließender Verkehr gegenüber einem stockenden Verkehr weniger Lärm produziert. <sup>233</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Im Zuge der Digitalisierung, die vor allem auch für die Binnenhäfen ein unabdingbares Instrument für zukünftige Entwicklungspotenziale darstellt, gehören intelligente Lösungen wie die ITG, die sowohl primär einen wirtschaftlichen Nutzen mit sich bringen als auch eine Verbesserung der Umwelteinflüsse nach sich ziehen.
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Einführung eines Pre-Gate-Parking-Systems</b>
<b>Wirkung</b>	Aufgrund von höheren Ankunfts- als Abfertigungsraten kommt es zu den benannten Staus und Wartezeiten. Das sogenannte Pre-Gate-Parking gehört zu der Gruppe der intelligenten Verkehrssteuerung, welche Lkws bei Überlastung der Terminals auf umliegende Parkplätze (von bis zu 50 km Entfernung) entlang der geplanten Verkehrsrouten führt. Zu diesem Zweck muss sich der Fahrer über eine App beim Hafen anmelden. Daraufhin wird

<sup>232</sup> Duisburger Hafen AG 2017a.

<sup>233</sup> duisport-Gruppe.



	für die voraussichtliche Ankunftszeit des Lkws, die aktuelle Verfügbarkeit eines Gates und die Verkehrslage geprüft. Tritt der Fall ein, dass Stauzeiten für den ankommenden Lkw berechnet werden, wird die Verfügbarkeit auf einem vom Terminal überwachten Pre-Gate-Parkplatz geprüft. Sind freie Parkplätze verfügbar, wird dem Lkw-Fahrer folglich ein eigener Stellplatz zugewiesen und der Fahrer kann sich über die App oder die sich am Parkplatz befindlichen digitalen Verkehrstafel zum weiteren Verlauf informieren. Die vorzeitige Anmeldung über die Hafen-App ermöglicht eine bessere Ablaufplanung und Überwachung am Gate, wodurch die Abfertigungszeit verkürzt werden kann. <sup>234</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Voraussetzung für die Umsetzbarkeit dieser Lärminderungsmaßnahme sind freie Parkplatzreserven im umliegenden Hafenbereich. Diese Flächenreserven sind insbesondere in den Ballungsräumen wie Duisburg sehr begrenzt verfügbar. Im Falle einer Verfügbarkeit, stellt diese Maßnahme jedoch eine sinnvolle Möglichkeit dar, die Verkehrssituation im Umfeld des Hafens zu entlasten. <sup>235</sup> Des Weiteren müssen die Terminalbetreiber, die Logistikdienstleister, die verladende Wirtschaft, die Hafenbetreiber und die sonstigen Hafenunternehmen zusammenarbeiten, um eine intelligente Verkehrssteuerung erfolgreich umsetzen zu können.
<b>Lärmquelle: Kühltransport (Netzbetrieb / Diesel)</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Temperaturgeführter Transport mit Lkw / SNFZ, Bahn und Binnenschiff über Verkehrsträger Straße, Schiene und Wasserstraße
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Durch das integrierte Kühlaggregat kann eine permanente Solltemperatur während des kompletten Transportes gewährleistet werden. Ein dauerhaft anhaltendes „Surren“ von mehreren Kühltransportern bzw. Kühlcontainern, kann zu einer Geräuschemission kommen, die von Arbeitern und umliegenden Wohngebieten als störend wahrgenommen werden können. Kühlcontainer oder auch sogenannte Reefer, die während ihres Transport auf dem Schiff an das Schiffsstromnetz angeschlossen sind, bei geringer Kapazität jedoch Powerpacks, bestehend aus Dieselgeneratoren, eingesetzt werden müssen, verursachen vergleichbar mit einem Dieselmotor ähnliche zusätzliche Geräusche.
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Aktive Lärmreduzierung durch Antischall-Technik</b>
<b>Wirkung</b>	Bei der Erzeugung eines gegenphasigen Antischalls wird das Hintergrundgeräusch (hier das dauerhafte „Surren“ der Kühlaggregate) überlagert. Ein Gegenschall, der ganz dicht an der Störquelle erzeugt wird, kann, in Abhängigkeit der Störquelle, diese um bis zu 90 % dämpfen. <sup>236</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Da es sich bei der Antischall-Technik um ein sehr komplexes mathematisches Verfahren handelt, müssen für eine Realisierung hochwertige Elektronik zur Verfügung stehen. In der Praxis bewährt sich die Technik vor allem bei monotonen Geräuschen, worunter auch das anhaltende „Surren“ geordnet

<sup>234</sup> Wahba 2011.

<sup>235</sup> Niederrheinische Industrie- und Handelskammer (IHK) 2017.

<sup>236</sup> Bony-online-ABC.

	<p>werden kann. Nur dann erzeugt der Computer den Gegenlärm schnell genug. Etwa auch bei Straßenlärm oder allgemein bei Geräuschen im sehr tiefen Frequenzbereich. Bei diesem Verfahren nimmt ein Mikrofon die Schallwellen des Lärms auf und leitet sie an einen Prozessor weiter, der entsprechenden Gegenschall berechnet, also um 180 Grad phasenverschobene Schallwellen. Über Lautsprecher treffen sie auf den Lärm und können ihn zwar nicht ganz auslöschen, aber doch dämpfen.<sup>237</sup></p>
--	---

---

<sup>237</sup> Jüngling 2011.

<b>Personenverkehr</b> <b>Lärmquelle: Gäste und Events auf Kreuzfahrt- und Partyschiffen</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Kreuzfahrt-/ Partyschiffe im unmittelbaren Hafenbereich
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Die feiernden Gäste auf den Kreuzfahrt- und Partyschiffen und die u. a. von der Crew organisierten Events können eine weitere Lärmquelle, vor allem nachts, sein. Umliegende Wohngebiete leiden unter diesen Lärmbelastigungen enorm.
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Gesetzliche Auflagen für die Veranstalter</b>
<b>Wirkung</b>	Die Eventschiffe müssten sich auf festgelegten Fahrinnen bewegen, und die Lautstärke auf den Booten müsste mit sogenannten „Lärmpegel-Regulierern“ technisch begrenzt werden. Tagsüber dürfte am Ufer nur noch eine durchschnittliche Lautstärke von 50 dB(A) entstehen, was einem normalen Gespräch entspreche. Abends müssten die Geräusche bei 35 dB(A) liegen, was in etwa dem Summen eines Kühlschranks gleichkomme. <sup>238</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Stadt Köln ist gegen diese ständigen Lärmbelastigungen angegangen, in dem sie Auflagen gegen die Veranstalter verhängt hat. Wie zuvor erwähnt, besagen die Auflagen, dass am Flussufer nur ein Schallpegel von 35 dB(A) nach 22 Uhr wahrnehmbar sein darf.

<sup>238</sup> Schmalenberg 2013.

Anhang 2: Steckbriefe – Kategorie der Lärmquelle: Verkehrsmittel

<b>Pkw / LNFZ und SNFZ</b> <b>Lärmquelle: Fahrstil eines Lkw-Fahrers</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Fortbewegung mit Lkw/ Pkw über Verkehrsträger Straße
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Hafenbereich und Zubringerstraßen  Geschwindigkeitsabhängige Fahrzeuggeräusche, Beschleunigungs- und Abbremsphasen
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Reduzierung der Geschwindigkeitsbegrenzung (Tempo 30 Limit)</b>
<b>Wirkung</b>	Innerorts liegt die Geschwindigkeitsbegrenzung überwiegend bei 50 km/h. Bei einer Herabsetzung dieser Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h auf besagte 30 km/h sinkt demzufolge auch die Lärmbelastung. Auch ohne das Überwachen der Geschwindigkeit durch etwa Radarfallen, sinkt die mittlere Geschwindigkeit dabei um etwa 12-16 km/ h und ergibt eine mittlere Minderung von etwa 2-3 dB(A). <sup>239</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Umsetzbarkeit für das Tempo 30 Limit im Hafengelände und im direkten Umfeld auf den Zubringerstraßen ist eine sinnvolle umsetzbare Maßnahme, um den Verkehrsfluss zu erhöhen und durch die niedrigeren Geschwindigkeiten eine Abnahme des Lärmpegels zu bewirken. Am sinnvollsten ist diese Umsetzung, wo die Straße in unmittelbarer Nähe eines Wohngebietes oder Bürokomplexes liegt. Außerdem wurde festgestellt, dass eine Abnahme der Geschwindigkeit neben einer Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr, kaum bzw. keine negativen Auswirkungen auf die Verkehrsleistung zur Folge hat. <sup>240</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Schulungen für Berufskraftfahrer / Lkw-Fahrer zur Straßenverkehrssicherheit</b>
<b>Wirkung</b>	Nach Vorschriften des BKrFQG (Berufskraftfahrer-Qualifikationsgesetz) hat ein Lkw-Fahrer eine Ausbildung mit theoretischer und praktischer Prüfung sowie tätigkeitsbezogene Weiterbildungen zu absolvieren. <sup>241</sup> Diese Schulungsmaßnahmen verhindern nicht nur erhebliche Personen- und/oder Sachschäden, sondern machen sowohl den Arbeitgeber und –nehmer für den Arbeitsmarkt attraktiver. <sup>242</sup> Mitarbeiter nehmen eine Weiterbildung als Wertschätzung und Anerkennung seitens des Arbeitgebers wahr. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Leistungsbereitschaft und die Loyalität des Mitarbeiters aus, sondern bewirkt ebenfalls eine Verbesserung der Effizienz der Arbeitsabläufe und der Produktivität eines Unternehmens. Somit sollten die Lkw-Fahrer gewillt sein einen unangemessenen Fahrstil zu vermeiden, um die dadurch entstehenden Lärmemissionen zu verringern.

<sup>239</sup> Heinrichs et al. 2016.

<sup>240</sup> Heinrichs et al. 2016.

<sup>241</sup> TÜV Süd 2018.

<sup>242</sup> Dekra 2018.

<b>Umsetzbarkeit</b>	Verschiedene Träger, wie die „Dekra-Akademie“ und der „TÜV“, bieten in regelmäßigen Abständen Schulungen und Weiterbildungen für die allgemeine Straßenverkehrssicherheit an. Die Modul-Schulung „Wirtschaftlich Fahren“ ist für diese Lärminderungsmaßnahme geeignet. <sup>243</sup>
----------------------	---

---

<sup>243</sup> Dekra 2018.

Lärmquelle: Rückfahrwarner	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Fortbewegung mit Lkw/ Pkw über Verkehrsträger Straße
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Hafenbereich und Zubringerstraßen Der Fahrer macht mittels eines deutlich wahrnehmbaren Einzeltons des Rückfahrwarner deutlich, dass sich sein Fahrzeug rückwärts bewegt.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Entschärfung der Rückfahrwarner durch Multifrequenz-Rückfahrwarner</b>
<b>Wirkung</b>	Das lautstarke Piepen eines herkömmlichen Rückfahrwarners wird gegen ein akustisches Rauschen ersetzt, welches zum Vorteil der Lärminderung nur im direkten Umfeld des Fahrzeugs zu hören ist. Umliegende Anwohner im Hafenbereich, aber auch die Mitarbeiter werden durch diese Maßnahme in ihrer Gesundheit nicht mehr gestört werden. <sup>244</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Der Multifrequenz-Rückfahrwarner findet im Bereich technische Innovationen bereits verbreitet Anwendung. Das dadurch entstehende Rauschen hat im Gegensatz zu konventionellen Modellen nur eine Reichweite von bis zu 10 Metern und kann von allen Seiten des Fahrzeugs wahrgenommen werden.

<sup>244</sup> Ried System Electronic GmbH.

<b>Lokomotive (inkl. Wagon)</b> <b>Lärmquelle: Antriebsart der Güterzuglokomotive</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Regulärer Bahnbetrieb sowie Rangier- und Umschlagprozesse
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Zubringerstraßen und Umschlags- bzw. Übergabebahnhöfe des Hafens  Sowohl Güterzug- als auch häufig eingesetzte Rangierlokomotiven im Hafengebiet verfügen über einen Dieselmotor-Antrieb. Analog zur Antriebsart des Lkws entsteht auch hier der Lärm durch das Verbrennen von Kraftstoff. Bei Rangierloks kommen vermehrte Beschleunigungs- und Abbremsphasen zustande, in denen vor allem niedrige Geschwindigkeiten den Motorlärm verstärken. <sup>245</sup>
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Alternative Antriebstechnologien – Elektromotor und Hybridantrieb mit Netzanschluss</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Im Elektromotor wird elektrische Energie durch Magnetfelder in mechanische Energie umgewandelt, so dass weniger Lärm emittiert wird.<sup>246</sup> Eine weitere resultierende Wirkung ist, dass der Elektromotor unmittelbar nach dem Anlaufen seine volle Leistung bzw. sein volles Drehmoment abrufen kann.<sup>247</sup> Die Wirkung des Elektroantriebs wird in drei unterschiedlichen Prozessschritten analysiert. Unterschieden wird zwischen dem Stillstehen, dem Anfahren und Abbremsen sowie dem Fahren. Es zeigt sich, dass besonders im Prozess Stillstehen der Lärmpegel (arithmetischer Mittelwert der Messergebnisse) einer Elektrolokomotive um 5,9 dB(A) niedriger ist als bei einer Diesellokomotive, bei der 68,1 dB(A) gemessen wurden.<sup>248</sup> Dies lässt sich damit begründen, dass im Stillstand keine Energie benötigt wird. Die Vorteile von alternativen Antrieben hat auch das BMVI aufgegriffen und fördert daher Elektrifizierungsprojekte zu energieeffizienten und emissionsarmen Gütertransport.<sup>249</sup></p> <p>Lokomotiven mit Hybridantrieb hingegen sind insbesondere für nicht-elektrifizierte Strecken vorgesehen, da der Hybridantrieb aus zweierlei Antriebssysteme, einem herkömmlichen Verbrennungs- und einem Elektromotor, besteht. Ein integriertes Steuersystem regelt, wann welcher Antrieb zum Einsatz kommt. Der Elektromotor reicht für das Anfahren, für langsames Fahren z.B. bei der Durchfahrt durch Bahnhöfen oder in Stop-and-Go-Situationen, die u. a. nach dem Übergabebahnhof stattfinden. Verringert der Zug seine Geschwindigkeit, treibt die in der Bewegung steckende Energie einen ebenfalls integrierten Generator an, der die mechanische Energie in elektrischen Strom umwandelt.<sup>250</sup> In der Summe wird durch diese</p>

<sup>245</sup> Clausen et al. 2012.

<sup>246</sup> Ihme 2016.

<sup>247</sup> Günter Pauli GmbH 2017.

<sup>248</sup> Lutzenberger et al. 2013.

<sup>249</sup> Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2017.

<sup>250</sup> Czocholl 2012.



	Maßnahme weniger Kraftstoff verbraucht sowie geringere Kohlendioxid-Emission erzielt.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Im regulären Bahnbetrieb bzw. bei Güterzuglokomotiven wurden bislang kaum alternative Antriebe eingesetzt. Kleinere Rangierlokomotiven in den Häfen hingegen werden bereits von Elektro- und Hybridloks abgelöst und tragen dementsprechend zur Lärminderung bei.

Lärmquelle: Warnsignalton	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Regulärer Bahnbetrieb sowie Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Zubringerstraßen und Rangier- und Umschlagsbahnhöfe des Hafens Der Bahnbetrieb unterliegt hohen Arbeitssicherheitsstandards und -schutzstandards. Um die vom Zug ausgehende, potenzielle Gefahr zu signalisieren und zu minimieren, gibt es optische und akustische Warnsignale. Akustische Signale eignen sich besonders als Warnsignal, weil der Hörsinn Warnsignale richtungs- und damit hinwendungsunabhängig wahrnehmen kann. <sup>251</sup> Darüber hinaus können akustische Warnsignale einfach verstärkt werden, womit sie auch beim Tragen eines Gehörschutzes auf Gefahrenquellen hinweisen können. <sup>252</sup> Im Signalbuch der DB sind einige akustische Warnsignale zu finden, die als Rottenwarnsignale (Ro 1-3) und Achtungssignal (Zp 1) aufgefasst werden. <sup>253</sup> Rein technisch werden die Signale erzeugt durch: das Mehrklangsignalhorn, Tyfon, elektrischer Signalgeber. <sup>254</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	Automatische Warnsignalpegelanpassung (AWS)
<b>Wirkung</b>	Eine Automatik passt den Warnsignalpegel an den jeweiligen Umgebungslärm an. <sup>255</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Bei einem AWS kann die Lärmemission bis zu 126 dB(A) betragen. Kommt eine automatische Warnsignalpegelanpassung zum Einsatz, wird ein akustisches Warnsignal z.B. für die Dauer von fünf Sekunden geben, wodurch die Lärmemission auf das nötigste Niveau reduziert. <sup>256</sup> Zur Gewährleistung des akustischen Warnsignals muss dieses 3 dB(A) über dem aktuellen Störschallpegel an dem jeweiligen Arbeitsplatz liegen. In diesem Zusammenhang werden gleichzeitig aus arbeitsschutzsichernder Sicht sogenannte Blitzleuchten eingeschaltet bis die Lokomotive auf dem Gegengleis eine vorgesehene Stelle passiert hat. Eine Technologie zur störgeräuschabhängigen Warnausgabe ist Automatic Level Adaption Due to Identified Noise (kurz: ALADIN). Die Lautstärke des Warnsignals wird so angepasst, dass dieses den Störschallpegel um 3 dB überdeckt. Der Warnsignalpegel kann somit auf 96 dB(A) reduziert werden. <sup>257</sup>

<sup>251</sup> Sauer 2006.

<sup>252</sup> DIN EN ISO 7731.

<sup>253</sup> DB Netz AG 10.12.2017.

<sup>254</sup> Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) 2008.

<sup>255</sup> Sauer 2006.

<sup>256</sup> Dumke 2015.

<sup>257</sup> Dumke 2015.

Lärmquelle: Bremsen- und Kurvengeräusche	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Regulärer Bahnbetrieb sowie Rangier- und Umschlagprozesse
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Zubringerstraßen und Umschlags- bzw. Übergabebahnhöfe des Hafens</p> <p>Das Bremsen sowie die lautstarken Kurvengeräusche der Lok werden den Rad-Schiene-Geräuschen untergeordnet. Beim Bremsvorgang spielt die Struktur der Schienen- und Radfahrflächen, welche durch das Material, den Verschleiß und die Korrosion bestimmt wird, eine große Rolle bei der Lärmbelastung. Das Rollengeräusch von Güterzügen, welches von der Deutschen Bahn als die größte Lärmquelle auf der Schiene genannt wurde, wird vor allem durch die Bremsklötze aus Grauguss verursacht. Beim Bremsen rauhen die Bremsklötze die Räder auf und raue Räder verursachen wiederum laute Rollgeräusche.<sup>258</sup></p> <p>Die Kurvengeräusche als Lärmverursacher entstehen durch unterschiedlich lange Rad-Schiene-Kontaktzonen, die die Räder in Abhängigkeit vom Bogenradius durchlaufen. Innen drehen die Räder durch, während sie außen rutschen. Dadurch erhöht sich der Schallpegel um 6 dB(A) und bei einem Kurvenradius von 250 bis 300 m ist das Kurvengeräusch gegenüber dem normalen Rollengeräusch zu vernachlässigen. Bei einer normalen Kurvenfahrt kommt es im Vergleich zu einer Kurvenfahrt mit Kurvengeräuschen zu einer Erhöhung des Schallpegels von 30 dB(A).<sup>259</sup></p>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Umstellung von Grauguss-Bremsklötze auf Kunststoff-Bremsklötze – Einsatz der „Flüsterbremse“</b>
<b>Wirkung</b>	Bei dem Einsatz einer Flüsterbremse besteht der Bremsklotz aus Komposit-Materialien (u. a. Kautschuk- und Harz-Verbindungen), die um ein Vielfaches elastischer sind als metallische Grauguss-Bremssohlen. Im Zuge dessen kann eine Lärmreduktion von 10 dB(A) des Rollgeräusches aufgrund einer glatten Gleisoberfläche wahrgenommen werden. <sup>260</sup> Die „Flüsterbremse“ bekämpft den Lärm direkt an der Quelle und ist somit die effizienteste lärmminimierende Maßnahme für den Schienengüterverkehr. <sup>261</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Relevanz der Lärmverringerung in Bezug auf eingesetzte Bremsen ist bereits auf der Ebene der Verkehrspolitik anerkannt. Laut dem 2013 geschlossenen Koalitionsvertrag der Regierungsparteien sollen bis zum Jahr 2020 keine Güterwagen mit Grauguss-Bremsklötzen auf dem deutschen Schienennetz fahren. Ab dem Fahrplanwechsel 2020/2021 wird der Betrieb lauter Güterwagen gesetzlich verboten sein. Zusammen mit ordnungspolitischen Maßnahmen werden auch finanzielle Anreize für lärmärmere Schienenfahrzeuge aufgesetzt. Beispielsweise durch lärmabhängige Trassenpreise. Bis Ende 2020 plant die DB Cargo nur leise Wagen im Einsatz zu haben. <sup>262</sup>

<sup>258</sup> Deutsche Bahn AG 2017.

<sup>259</sup> Verkehrsclub Deutschland (VCD) e.V. 2002.

<sup>260</sup> Deutsche Bahn AG 2017.

<sup>261</sup> Allianz pro Schiene.

<sup>262</sup> Deutsche Bahn AG 2017.



<b>Binnenschiff und Kreuzfahrtschiff</b> <b>Lärmquelle: Antriebsart der Schiffe</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Gutspezifischer Transport über Binnenschiff
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Die typischen Schiffstypen im Binnenhafen und in den Wasserstraßen sind Containerschiffe bis 500 TEU, RoRo-Schiffe, Tankschiffe, Schubleichter und Schubboote, wobei die Mehrheit von Dieselmotoren angetrieben werden. Die Leistung der Dieselmotoren beginnt dabei etwa bei 200 kW und endet bei etwa 3.000 bis 4.500 kW.<sup>263</sup></p> <p>Es ist allerdings anzumerken, dass der Antrieb der Binnenschiffe deutlich leiser ist, als der der Bahn und der des Lkws.<sup>264</sup></p>
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Einsatz von alternativen Antriebsarten – LNG-Motoren</b>
<b>Wirkung</b>	Ein Schiffsmotor, der mit LNG betrieben wird ist um 30 dB leiser als ein dieselbetriebener Schiffsmotor. <sup>265</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Der Einbau von LNG-Motoren verläuft problemlos und auch die geringeren Kraftstoffkosten können die höheren Investitionskosten für die Umrüstung oder Neubeschaffung der LNG-Technik gerade bei größeren Schiffen schnell wieder amortisieren. Jedoch ist der Einsatz von LNG-Motoren bei Binnenschiffen kaum erforscht und ein flächendeckendes Tankstellensystem fehlt. Eine zusätzliche Schranke für den Einsatz sind die vielen notwendigen Sondergenehmigungen. Dort ist dringend Handlungsbedarf um potenzielle Einsteiger nicht abzuschrecken. Die Förderung der Technik ist zudem eher gering, da das Binnenschiff schon als saubere Alternative zu anderen Verkehrsmitteln zählt und daher nicht die Notwendigkeit zum Umstieg gesehen wird. Für die Motorenbauer ist eine Weiterentwicklung der Motoren auch nicht sehr reizvoll, bedingt durch den geringen Absatzmarkt. Daher ist ein Umdenken und die Bereitstellung finanzieller Mittel notwendig, um einen Umstieg auf LNG als Dieseleratz zu schaffen.<sup>266</sup></p>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Einsatz von alternativen Antriebsarten – Elektro-Binnenschiff auf Basis der LOHC-Technik</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Statt einer konventionellen Batterie kommt bei der Stromspeicherung die Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) - Technik (sogenannter Wasserstoffspeicher) zum Einsatz. Dabei wird das schwierig nutzbare Wasserstoffgas in einer ölartigen Flüssigkeit gespeichert und kann daher genauso schnell getankt und gut gespeichert werden wie herkömmlicher Dieselmotorkraftstoff. Sie wandeln den Wasserstoff, der aus dem LOHC gelöst wird, in Strom um - und den benutzt ein leistungsstarker Elektromotor zum</p>

<sup>263</sup> Gabler Wirtschaftslexikon 2018a.

<sup>264</sup> Bartel 2017.

<sup>265</sup> PLANCO Consulting GmbH 2014.

<sup>266</sup> PLANCO Consulting GmbH 2014.

	Antrieb des Schiffes. <sup>267</sup> Das Schiff ist somit in der Lage, einige Wochen ohne neuer Betankung zu fahren.
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Allgemeine Zukunftschancen für diese emissionsfreie Maßnahme sind gut. Das Forschungsnetzwerk LOHCmobil bestehend aus dem zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM), dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie dem Steinbeis Innovationsmanagement, arbeiten mit weiteren Unternehmen und Forschungsinstituten an diesem emissionsfreien Antrieb für die Bereiche Bahn und Schiff. Da dieser alternative Antrieb für die Wertschöpfungskette komplettes Neuland bedeutet, wird empfohlen, den gesamten Prozess von der regenerativen Energieerzeugung über die effiziente Bereitstellung bis hin zu Speicherung und Energiewandlung zu berücksichtigen.<sup>268</sup> <i>„Aufgrund seiner Diesel-ähnlichen Natur können LOHCs in der existierenden Kraftstoffinfrastruktur transportiert und vertrieben werden. Die Einspeicherung und Freisetzung in bzw. aus dem LOHC erfolgt jeweils durch katalytische Prozesse.“</i><sup>269</sup> Dies bedeutet, dass ein Umrüsten von einem herkömmlichen Dieselmotor zu einem vollelektrischen Binnenschiff ebenfalls problemlos erfolgen kann. Für den finalen Betrieb der ersten elektrischen Binnenschiffe auf LOHC-Basis ist der Bau einer LOHC-Tankstelle geplant. Von Vorteil ist, dass herkömmliche Tankstellen mit der LOHC-Technologie kompatibel sind und die baulichen Maßnahmen nicht erschweren.</p>

<sup>267</sup> Focus online 2018.

<sup>268</sup> Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM).

<sup>269</sup> Hydrogenious Technologies.

Lärmquelle: Liege- und Generatorengeräusche	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Liegezeit bzw. fortlaufender Betrieb bei ausgeschaltetem Motor
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Liegegeräusche entstehen auf Binnenschiffen, wenn sie im Hafen geankert haben. Durch notwendige Reparaturarbeiten, die sich auf dem Schiff befindliche Besatzung, sowie Reinigungsarbeiten entstehen tagsüber weitere Geräusche, die im Vergleich zu anderen Lärmquellen jedoch gering ausfallen. Jedoch entsteht die größte Lärmbelastung durch sogenannte Generatoren-Sets, die als Hilfs- und Nebenaggregate für die Erzeugung des Strombedarfs notwendig sind. Diese Sets bestehen aus einem Diesel-Verbrennungsmotor mit anhängendem Generator und erzeugen den notwendigen Strom. <sup>270</sup> Abhängig von der Größe des Schiffes sind zwischen drei und fünf Generatoren-Sets im Einsatz. Diese „Generatoren-Sets erzeugen ein Abgasgeräusch, deren Ursachen zumeist der pulsierende Gasausstoß und die Explosionsgeräusche aus dem Verbrennungsraum der Zylinder in das nachgeschaltete Abgassystem sind“. <sup>271</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Landstromversorgung</b>
<b>Wirkung</b>	Um eine Lärminderung zu erreichen, ist die Versorgung der Schiffe mit Landstrom die derzeit beste Möglichkeit zum Ersatz dieselgetriebener Schiffsgeneratoren. <sup>272</sup> „Durch die Einspeisung von Landstrom in das Bordnetz können Emissionen von Luftschadstoffen, Lärm und Kohlendioxid eingeschränkt werden.“ <sup>273</sup> Dadurch würde die Hauptlärmquelle eines Schiffes während seiner Lieferzeit wegfallen.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Um diesen Ansatz realisieren zu können, müssten zum einen Anschlüsse und Umformer an Bord und am Kai errichtet werden, die die auf den Schiffen verwendeten Spannungen und Frequenzen bereitstellen. <sup>274</sup> Zusätzlich müssen ausreichend viele Ladestationen an den jeweiligen Anlegestationen vorhanden sein. Um die Wirtschaftlichkeit gewährleisten zu können, müssen diese Stationen auch von den Passagierschiffen genutzt werden. Umso höher die Abnahmemenge an der Ladestation ist, desto geringer fällt auch der Preis für den Strom aus. Jedoch wird für Reeder die Aus- und Nachrüstung der „Schiffe für die Landstromversorgung erst dann wirtschaftlich, wenn sie mit gegenüber dem Bordstrom billigerem Landstrom den erforderlichen Aufwand in absehbarer Zeit amortisieren können [...]“. <sup>275</sup> Es kann somit gesagt werden, dass der Umstieg auf die Landstromversorgung nur durch neue rechtliche Vorschriften oder wirtschaftliche Anreize geschafft werden kann.

<sup>270</sup> Bosch 2017.

<sup>271</sup> Bosch 2017.

<sup>272</sup> Germanischer Lloyd AG 2008.

<sup>273</sup> Brieske 2007.

<sup>274</sup> Brieske 2007.

<sup>275</sup> Brieske 2007.

	Unter Berücksichtigung anderer Lärminderungsmaßnahmen wie alternative Antriebe könnte die Landstromversorgung zudem durch einen fortschreitenden Einsatz von umweltfreundlicheren LNG-Motoren verdrängt werden. <sup>276</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>„LNG-Power-Barge“ – Flüssiggaskraftwerksschiff</b>
<b>Wirkung</b>	Der Lastkran arbeitet wie ein schwimmendes Kraftwerk, welches Strom durch die Verbrennung von LNG produziert. Die Power-Barge ist eine externe und emissionsfreie Stromversorgung und ist deutlich leiser als die herkömmlichen Dieselgeneratoren. In einer Entfernung von 10 Metern wurde ein niedriger Geräuschwert von 60 dB(A) vom Hersteller angegeben. <sup>277</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Paradebeispiel ist/war die Power-Barge HUMMEL im Hamburger Hafen, die u. a. in Kooperation mit AIDA Cruises Kreuzfahrtschiffe mit Strom versorgt. Doch immer neue behördliche Vorgaben erschweren den Einsatz enorm. Dazu gehört die Einstufung als Kraftwerk an Land mit hohen damit einhergehenden Kosten. <sup>278</sup> Zudem wird beim Einsatz vorausgesetzt, dass immer ein Schlepper beim Schiff anliegen muss, welches das Kraftwerk im Notfall wegbringen kann. Diese und weitere Auflagen führen zu einem Stillstand der LNG- Technologie im Bereich des schwimmenden Kraftwerks. <sup>279</sup>
<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<b>Hafenschalldämpfer</b>
<b>Wirkung</b>	Hafenschalldämpfer sind mobile und temporär einzusetzen und bekämpfen den Lärm der Liege- und Generatorengeräusche mit Lärm selbst. Der Hauptschalldämpfer besteht im Groben aus einem Mikrofon, einem Mikroprozessor und einem Lautsprecher. Die Installation des Schalldämpfers passiert im Abgasrohr. Der Schalldämpfer wird in einem Abzweigrohr, welches an das Abgasrohr direkt hinter dem Turbolader geschweißt wurde, installiert. Während der Fahrt verschließt ein Blindflansch das Abzweigrohr, dieser wird im Hafen abgenommen und gleichzeitig der mobile Hafenschalldämpfer im Abzweigrohr installiert. Der Schalldämpfer funktioniert mit destruktiver Interferenz. Ein Mikrofon misst den Schalldruck und die Beschleunigung an der Schallquelle und der Mikroprozessor errechnet die Frequenz. Im Anschluss wird ein Signal an den Lautsprecher gegeben, der eine um 180° phasenversetzte Gegenschallwelle permanent generiert. Durch die Überlagerung der Schallwellen wird die Schallwelle stark gedämpft und es kann ein bis zu 15 db(A) geminderter Schalldruckwert gemessen werden. <sup>280</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Technisch gesehen sind der Einbau und die Benutzung unkompliziert. Da jedoch die Anreize für die Umsetzung dieser Lösung nicht genügend verfügbar sind, wird der Hafenschalldämpfer kaum eingesetzt. <sup>281</sup>

<sup>276</sup> PLANCO Consulting GmbH 2014.

<sup>277</sup> Becker LNG Hybrid Barge.

<sup>278</sup> Nicolai 2016.

<sup>279</sup> Nicolai 2016.

<sup>280</sup> Bosch 2017.

<sup>281</sup> Bosch 2017.



Anhang 3: Steckbriefe – Kategorie der Lärmquelle: Unterschiedliche Güterstrukturen

<b>Kühlcontainer (Reefer) (Stückgut)</b> <b>Lärmquelle: Kühlung (Netz- / Dieselbetrieb)</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Lagerung im Hafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Im Binnenhafen lagern neben den Standardcontainer auch vor allem Kühlcontainer mit integrierter Kälteanlage. Bei diesen Containern ist in der Tür, der gegenüberliegenden Stirnwand eine eigene Kühleinheit eingebaut. Diese wird über elektrischen Strom betrieben und besteht aus einem Kältesystem und einem Umwälzlüfter. Kühlcontainer können einen Schallpegel von 45 dB(A) erzeugen. <sup>282</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Errichtung einer Lärmschutzwand und Nutzung einer Schallreflexion durch „Schallbeugung“</b>
<b>Wirkung</b>	Im Vergleich zu anderen Lärmschutzmaterialien stellen Container als Lärmschutzwand eine günstige Alternative dar. Aufgrund einer einheitlichen Bauweise kann die Lärmschutzwand relativ einfach erhöht oder auch verlängert werden. Der durch den Lärm entstehende Schall wird aufgrund der speziellen Konstruktion der Container absorbiert. <sup>283</sup>  In diesem Kontext ist die „Schallbeugung“ von besonderer Wichtigkeit. Man spricht von einer Schallbeugung, wenn die Wellenlängen des Schalls größer oder gleich des Hindernisses sind, auf die der Schall trifft. <sup>284</sup> Sobald der Schall des erzeugten Lärms auf die Lärmschutzwand trifft, reflektiert die Containerwand diesen und beugt ihn in eine andere Richtung.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die einzelnen Container sind trotz ihres Eigengewichtes von ungefähr 4 Tonnen pro Stück bei starkem Wind zu verschieben. Aus diesem Grund müssen die einzelnen Container zusätzlich ballastiert werden. Dazu werden in der Regel Säcke mit Sand befüllt und auf Paletten in die Container geladen. Die Standfestigkeit kann zusätzlich durch ein Fundament, auf das die untere Lage der Container befestigt wird, und einer Verbindung untereinander erhöht werden. <sup>285</sup>  Alte oder nicht mehr für den Verkehr funktionstüchtige Container sind günstig und können trotzdem relativ einfach über- und nebeneinander auf- und abgebaut werden. Diese einfache Art von Lärmverringern wurde bereits in der Vergangenheit in Stadtzenturnähe genutzt. <sup>286</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Aktive Lärmreduzierung mithilfe einer gegenphasigen Antischall-Technik</b>

<sup>282</sup> Werner Wagner GmbH 2017.

<sup>283</sup> abc Container 2015.

<sup>284</sup> Schaumstoffe Helgers GmbH.

<sup>285</sup> Jade-Weser Logistik.

<sup>286</sup> Blaue Container-Wand vor dem Uniklinikum Göttingen 2014.

<b>Wirkung</b>	Ein Gegenschall, der das Hintergrundgeräusch überlagert und zudem in unmittelbarer Nähe an der Störquelle erzeugt wird, kann in Abhängigkeit der Störquelle, diese um bis zu 90 % dämpfen. <sup>287</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Mit Hilfe eines Mikrofons, Lautsprechern und der notwendigen Elektronik können vermutlich noch bessere Dämpfungsergebnisse erzielt werden. Diese aktiven Schalldämpfer sorgen dafür, dass der erzeugte Schall im Binnenhafen bzw. Terminal deutlich eingedämmt wird und die Anwohner vor Lärm weitestgehend geschützt werden. <sup>288</sup>

---

<sup>287</sup> Bosy-online-ABC.

<sup>288</sup> Bosy-online-ABC.

<b>Massen- und Schüttgut</b> <b>Lärmquelle: Brecher, Schere, Schrottpresse und Siebanlage</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	<p><b>Brecher</b> dienen der Zerkleinerung von Massen- und Schüttgut zu kleineren Korngrößen im groben bis mittleren Größenbereich.</p> <p>Eine <b>Scherung</b> ist eine plastische Verformung von mineralischen Rohstoffen, die aufgrund der Wirkung von Schubspannungen auftritt.<sup>289</sup></p> <p>Eine <b>Schrottpresse</b> dient zur Kompaktierung von u. a. nutzlosen Metallschrott. Diese wird i.d.R. hydraulisch betrieben.</p> <p>Zur Aufbereitung von Schüttgütern werden häufig <b>Siebanlagen</b> eingesetzt, die das siebende Gut in verschiedene Größenklassen trennt.<sup>290</sup></p>
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Am häufigsten kommen Brecher in der industriellen Aufbereitung von mineralischen Rohstoffen, sowie von Sekundärmaterialien vor.<sup>291</sup> Es werden die Brechprinzipien Druck-, Prall- und Schlagzerkleinerung unterschieden. Je nach Massen- oder Schüttgut unterscheidet sich dabei die Lautstärke der Verkleinerung.</p> <p>Um eine Scherung zu erzeugen, befindet sich das zu verkleinernde Gut entweder zwischen zwei Arbeitslinien (Scherung) oder zwei Arbeitsflächen (Reibung). Dabei wird ein sogenannter Anpressdruck ausgeübt und die Linien oder Flächen werden in unterschiedliche Richtungen bewegt.<sup>292</sup> Auch in dieser Quelle ist die Lautstärke der Verkleinerung von dem spezifischen Massen- oder Schüttgut abhängig.</p> <p>Während des Betriebs der Schrottpresse kommt es zu einer deutlichen Volumenreduktion, was beim Transport sowohl wirtschaftliche, als auch logistische Vorteile mit sich bringt.<sup>293</sup> Durch den Einsatz von Schrottpressen kommt es zu erheblichen Geräuschemissionen.</p> <p>Der Siebprozess wird häufig durch Schwingbewegungen erzeugt. Dadurch kann es zu einem Schalleistungspegel LW von bis zu 107 dB(A) in der unmittelbaren Nähe der Maschine kommen.</p>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Einhausung der o. g. Hafen- / Aufbereitungsanlagen</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Für eine Einhausung werden einzelne lärmindernde Elemente, die entweder aus Dämmmaterial oder Absorptionsmaterial bestehen, zusammengebaut. Diese sollen die Ausbreitung des Luftschalls effektiv vermeiden bzw. mindern.<sup>294</sup></p>

<sup>289</sup> Spektrum 1998.

<sup>290</sup> Spektrum 2000.

<sup>291</sup> CHEMIE 2017.

<sup>292</sup> CHEMIE 2017.

<sup>293</sup> Academic 2018.

<sup>294</sup> Ernst Bohle GmbH.

<b>Umsetzbarkeit</b>	Im Falle der zu treffenden Schallschutzmaßnahmen müssen u. a. verschiedenste Arbeitsnormen zur Arbeits- und Betriebssicherheit gewährleistet werden. Zudem muss ein ausreichender Zugang zu den Maschinen, zum Beispiel für Wartungsarbeiten, vorhanden sein. Neben diesen Bedingungen muss die Einhausung mit einer Kühlung oder einer Lüftung ausgestattet werden. Die Einhausung selber besteht aus vier Seitenwänden inklusive eines Daches, womit die Schallquelle, je nach Art der Anlage, komplett umschlossen werden kann. <sup>295</sup>
----------------------	---

---

<sup>295</sup> Ernst Bohle GmbH.

<b>Flüssiggut</b> <b>Lärmquelle: Pumpen (Betankung)</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Beim Flüssiggut ist die hauptsächliche Lärmquelle das Geräusch, das durch den Antrieb der Pumpen entsteht.
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Die Schiffe werden über Tanks befüllt, die mit eigenen Pumpen ausgestattet sind. Die Entladung hingegen wird über schiffseigene oder stationäre Pumpen realisiert. Es entstehen Geräuschemissionen durch die Pumpen und das Öffnen und Schließen der Tankdeckel.<sup>296</sup></p> <p>In einem Binnenhafen werden unter anderem Züge, Binnenschiffe, SNFZs, LNFZs und Flurförderfahrzeuge betankt. Durch den häufigen 24/7-Betrieb von Häfen kann es vor allem in der Nacht zu Störungen der Anwohner kommen.</p> <p>Der Antrieb der Pumpen erfolgt größtenteils durch Elektromotoren. Allerdings sind auch Dieselmotoren im Einsatz. Abhängig von diesen beiden Antriebsarten ist somit auch die entsprechende Emission.</p>
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Keine spezifischen Maßnahmen wurden vorgeschlagen, sodass die Umsetzung der Lärminderungsmaßnahmen, die den Binnenhafen generell betreffen, gefördert werden sollten.</b>

<sup>296</sup> Dipl. -Ing. SCHERZER GmbH 2017.

<b>Silo- und Tankfahrzeuge</b> <b>Lärmquelle: Be- und Entladen (Kompressoren)</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Be- und Entladen bzw. Umschlag von Gas, Transport und Lagerung von Flüssiggasen
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Hafengelände, Umschlagsbahnhof des Hafens oder Lagertank  Kompressoren können eine Lautstärke bis 85 dB(A) erzeugen, was deutlich über den einzuhaltenden Grenzwerten für Industriegebiete liegt. Bei einem Gasumschlag nach dem Überdruckprinzip wird Gas von einem in den anderen Bereich transportiert. Um solche Differenzdrücke aufzubauen werden Kompressoren (meistens Kolbenkompressoren) eingesetzt. <sup>297</sup>
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Schalldämmende Kapselung</b>
<b>Wirkung</b>	Der Zweck einer Kapselung ist die Ausbreitung des von einer Maschine bzw. Anlage abgestrahlten Schalls zu minimieren. Analog zu dem Funktionsprinzip der Einhausung in der Klassifikation „Unterschiedliche Güterstrukturen“ ist die Schallquelle auf den ausgehenden Luftschall zurückzuführen. In Abhängigkeit des Absorptionsvermögens wird der Luftschall von der Oberfläche der Kapselinnenwand mehr oder weniger stark reflektiert. Die Reflexionen innerhalb der Kapselung führen zur Pegelerhöhung.  Die Reduktion des Schallpegels hängt im Wesentlichen von dem Dämpfungsmaterial der Kapselwand und dem gesamten freien Querschnitt der Öffnungen ab. Bei einem optimalen Wandaufbau und Gesamtquerschnitt aller Undichtigkeiten (ca. 0,01 % der gesamten Kapseloberfläche) kann eine Schallpegelreduktion bis zu 40 dB(A) erzielt werden. <sup>298</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Lärmindernde Kapselungen können in drei Bauarten ausgeführt werden: Vollkapselung, Teilkapselung und eine in die Maschinenkonstruktion integrierte Kapselung. Da die Schallpegelreduktion vom Dämpfungsmaterial abhängig ist, müssen einige Materialanforderungen berücksichtigt werden: unbrennbar, widerstandsfähig und nicht fasernd (Bleche, Holzplatten). <sup>299</sup> Die Innenseite muss schallabsorbierend ausgeführt werden. Für diesen Zweck verwendet man Mineralwolle (Steinwolle oder Glasseide) und FCKW-freie, schwer entflammbare und selbstverlöschende Schaumstoffe. <sup>300</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Isolierung mehrerer Kompressoren in einem Raum</b>
<b>Wirkung</b>	Analog zur „Schalldämpfende Kapselung“

<sup>297</sup> FAS - Modern Industrial Solutions 2018.

<sup>298</sup> Lips 2008.

<sup>299</sup> Lips 2008.

<sup>300</sup> Köhler 2018.

<b>Umsetzbarkeit</b>	Ähnlich wie bei der Kapselung müssen in diesem Fall alle Wände und Decken des Raumes mit Lärmdämmschaumstoff verkleidet werden, die dieselben Anforderungen wie oben erfüllen müssen. <sup>301</sup>
----------------------	--

---

<sup>301</sup> Schaumstofflager.

Anhang 4: Steckbriefe – Kategorie der Lärmquelle: Umschlag und Umfuhrequipment

<b>Krane (Portal-, Brücken- und Drehkrane)</b> <b>Lärmquelle: Be- und Entladen – Lastaufnahme und -abgabe</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlag auf dem Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	<p>Durch das Be- und Entladen der Verkehrsträger (Lkw, Bahn und Binnenschiff) mit Gütern entstehen vielfältige Geräuschemissionen, die abhängig von dem jeweiligen Fördergut (hier beispielsweise Container) sind. Das für den Kranbetrieb notwendige Lastaufnahmemittel befindet sich an dem Drahtseil, welches sich um die Winde im Windenhaus dreht.</p> <p>Der Containerumschlag findet mithilfe eines Spreaders (Containergeschirr), dem Lastaufnahmemittel statt. Bei einem Spreader handelt es sich in der Regel um einen Teleskoprahmen mit sogenannten Twistlocks (Verriegelungen), welcher auf die Länge des Containers eingestellt werden kann. Jeder Container besitzt in jeder Ecke einen Beschlag. In diesen müssen die erwähnten Twistlocks eingeführt und verriegelt werden. Dies geschieht durch ein Drehen der Twistlocks. Diese Vorgänge sind mit deutlich wahrnehmbaren, impulshaltigen Geräuschen um die 95 dB(A) verbunden.</p>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Soft Landing für die Containerverladung</b>
<b>Wirkung</b>	Durch Soft Landing kann die Containerverladung merkbar geräuscharmer realisiert werden. Die Installation von Lasermesssystemen schafft die Möglichkeit, Container ohne Kollisionen (sicher) und geräuscharm aufzunehmen und sanft („soft“) abzusetzen.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Um Soft Landing zu realisieren, werden zwei Laserscanner benötigt. Der eine wird an der Laufkatze montiert und erzeugt permanent ein aktuelles Höhenprofil, während der andere die Höhe der Last misst. Bei der Containerübergabe ist somit die Distanz zwischen den Objekten bekannt, sodass die Messanlage das Hubwerk so steuern kann, dass der Spreader „soft“ abgesetzt werden kann. Im Binnenhafen sorgt Soft Landing für eine Optimierung des Güterumschlags. Beschädigungen an Spreadern und Containern, sowie Schallemissionen können reduziert werden. <sup>302</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Ausstattung der Spreader mit Schwingungsdämpfer</b>
<b>Wirkung</b>	Die Endbalken der Twistlocks können mit einem Dämpfungsmittel wie zum Beispiel Gummi ummantelt werden. Diese Schwingungsdämpfer erhalten die äußere Form der Twistlocks und wahren den zum Heben benötigten Formschluss. <sup>303</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Diese Art von Dämpfung ist ebenfalls Stand der heutigen Technik.

<sup>302</sup> PresseBox 2017.

<sup>303</sup> Loggers B.V.



<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<b>Kapselung des Hydraulikaggregats des Spreaders</b>
<b>Wirkung</b>	Die zusätzliche Kapselung des Hydraulikaggregats unterstützt die Reduktion der Schallausbreitung, sodass durch die Umsetzung dieser Maßnahme ein deutlicher lärmtechnischer Gewinn erzielt werden kann, ohne die Wirtschaftlichkeit des Binnenhafens einzuschränken.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Durch die Kapselung des Hydraulikaggregates kann sich der Schall nicht mehr ungehindert ausbreiten. Die zusätzliche Kapselung des Windenhauses unterstützt die Reduktion der Schallausbreitung, sodass durch die Umsetzung dieser Maßnahme ein deutlicher lärmtechnischer Gewinn erzielt werden kann, ohne die Wirtschaftlichkeit des Binnenhafens einzuschränken. Auf dem Gelände des logport III in Duisburg befindet sich ein lärmoptimierter Kran, bei dem u. a. die oben genannten Maßnahmen umgesetzt wurden. Dieser erreicht eine Lärmpegelminderung von 6 dB(A) für die Kranfahrt; 3 dB(A) für die Katzfahrt und 1 dB(A) für das Hubwerk.

Lärmquelle: Drehen	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlag auf dem Binnenhafengelände  Die mechanische Ausführung der Drehbewegung erfolgt im Windenhaus eines Kranes. Dieses befindet sich an der Kranbrücke eines Portalkranes.
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Die Drehbewegung des Kranes wird in der Regel über einen Drehwerksmotor erzeugt. Dieser befindet sich im Windenhaus auf dem untersten Deck eines jedes Krans und treibt über einen Schneckenantrieb eine Welle an. Am Ende der Welle sitzt ein Zahnrad, welches in die Schienen auf dem Hauptdeck greift, auf dem der Kran läuft. Über eine Fußbetätigung erfolgt eine Bremsung, um die Drehbewegung zu stoppen. <sup>304</sup> Die dabei entstehenden Lärmschallwellen sind unter dem Oberbegriff Luftschall einzuordnen.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Boden-, Dach- und Wanddämpfung des Windenhauses</b>
<b>Wirkung</b>	Bei einer Schalldämpfung des Windenhauses werden die Schallwellen so reflektiert, dass der Schallpegel im Senderaum ansteigt. Die Luftschalldämpfung ist frequenzabhängig und wird durch eine Erhöhung des Flächengewichts erreicht. Je tiefer die Frequenz, desto höher muss das Flächengewicht sein. <sup>305</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Eine ideale Luftschalldämpfung wird nach den Regeln der Akustik durch den Einsatz von Schalldämpfungsmaterialien mit einem niedrigen Elastizitätsmodul und einer hohen Dichte erreicht. <sup>306</sup> So lässt sich der Regel behaupten, je mehr Masse/Rohdichte ein Material besitzt, je unsteifer es ist und je mehr Lagen es aufweist, desto besser dämmt es den Schall. Ein bewährtes Schalldämpfungsmittel ist demnach Sand. Sand wird als lose Masse zur Erhöhung der Rohdichte verwendet. Eine Unsteifigkeit wird durch Sandwichplatten aus Wellpappe erreicht. Eine Mehrlagigkeit entsteht demnach durch mehrere Wellen, die mit Quarzsand gefüllt sind. <sup>307</sup>

<sup>304</sup> Schwimmkran HHLA | Karl Friedrich Steen.

<sup>305</sup> TechnoCompound 2003.

<sup>306</sup> TechnoCompound 2003.

<sup>307</sup> Wolf Bavaria.

Lärmquelle: Heben und Senken	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Die Ausführung des Hebe- und Senkmechanismus findet ebenfalls im Windenhaus eines jedes Kranes statt.
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Der Kranausführungen Heben und Senken erfolgen über eine Winde, welche sich in einem geschlossenen Raum, dem gleichnamigen Windenhaus, befindet. Die Winde ist eine motorisierte Trommel, die einen Draht vom untersten bis zum obersten Punkt der Hubhöhe auf einer Lage aufnehmen kann. Sobald kein Strom durch das Getriebe fließt, schließt sich eine installierte Bremse und hält die Last. <sup>308</sup> Für eine lückenlose Steuerung der Zugkraft und der Seilgeschwindigkeit werden die Winde und der Antrieb über ein Joysticksystem gesteuert. <sup>309</sup>
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Alternative Antriebsarten der Winden – Elektrisch, mechanisch oder hydraulisch</b>
<b>Wirkung</b>	Winden können elektrisch, mechanisch oder hydraulisch angetrieben werden. Es werden überwiegend hydraulisch betriebene Winden in den Windenhäusern der Krane verbaut. Dabei betreibt der Motor eines Kranes eine Hydraulikpumpe und somit die Winde. Da sich die elektrischen Antriebe in den letzten Jahren ebenfalls in anderen Industrien bewährt haben, soll hier der Einsatz dieser getestet werden. <sup>310</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Aufgrund der Anforderungen und dem begrenzten Raum müssen möglichst kompakte elektrische Antriebe entwickelt werden. Anlässlich der besonderen Raumrestriktionen fokussiert die Entwicklung die Verteilung der benötigten Leistung auf mehrere Motoren und ihrer Anordnung und Verbindung mit dem Windegetriebe. Es zeigt sich, dass ein elektrischer Antrieb reaktionsschnell arbeitet und eine höhere Energieeffizienz aufweist. Vor allem arbeitet dieser wesentlich leiser und erzeugt spürbar weniger Vibrationen. <sup>311</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Einhausung der Hydraulik – Kapselung des Antriebs</b>
<b>Wirkung</b>	Die Auswirkungen einer Einhausung einer Anlage wurden bereits unter dem Steckbrief „Drehen“ mit der Lärminderungsmaßnahme „Boden-, Dach- und Wanddämpfung des Windenhauses“ erläutert. Auch hier können die Auswirkungen einer Schallreflexion genutzt werden. Die zusätzliche Kapselung des Windenhauses unterstützt die Reduktion der Schallausbreitung, sodass durch die Umsetzung dieser Maßnahme ein deutlicher lärmtechnischer Gewinn erzielt werden kann, ohne die Wirtschaftlichkeit des Binnenhafens einzuschränken.

<sup>308</sup> Schwimmkran HHLA | Karl Friedrich Steen.

<sup>309</sup> Gantner.

<sup>310</sup> Bonfiglioli Deutschland GmbH.

<sup>311</sup> Bonfiglioli Deutschland GmbH.

<b>Umsetzbarkeit</b>	Da sich in vielen Kranen eine hydraulische Betätigung der Winde bewährt hat und auch diese überwiegend verbaut wird, ist eine Einhausung der Hydraulik eine kostengünstigere Alternative zu einem Austausch des Windenantriebs.
----------------------	---

Lärmquelle: Kranfahrten	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlagsprozess auf dem Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Bei Kranfahrten bewegt sich der Portalkran auf zwei parallelen Schienen und dient der horizontalen und vertikalen Bewegung von Gütern und Containern. <sup>312</sup> Die Verladebrücken für Container kann beispielsweise auf seinen zwei parallelverlaufenden Schienen je nach Belieben verfahren werden. Auch dadurch entstehen Geräusche, die als störend empfunden werden können.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Verringerung der Bremsgeräusche durch Verbesserung der Schienenklemmung</b>
<b>Wirkung</b>	Die Schienenklemmung verbindet einen Portalkran formschlüssig mit der Schienenanlage. <sup>313</sup> Mit Hilfe eines stark übersetzenden Keilgetriebes wird die Kraft des Kolbens über Rollen in eine quer wirkende Haltekraft umgewandelt und realisiert damit hohe Haltekräfte, ohne sich dabei zu verklemmen. <sup>314</sup> Dies geschieht in der Regel durch einen Ausfall der Pneumatik. Nur bei einer querwirkenden Kraft, wie zum Beispiel Druckluft, sind die Klemmen und damit der Brems Schuh gelöst. <sup>315</sup> Daraus erschließt sich, dass durch eine reibungsfreie und steuerbare Regulierung der Druckluft eine Verbesserung der Schienenklemmung erfolgen kann.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Schienenklemmung entspricht dem heutigen Stand der Technik. Aufgrund ihrer kompakten Bauweise sind Schienenklemmungen besonders gut geeignet für hohe und breite Laufwagen. Der Einsatz von Pneumatik ermöglicht im Vergleich zu hydraulischen oder elektronischen Lösungen geringere Systemkosten. <sup>316</sup> Weitere Vorteil sind eine hohe Steifigkeit und eine nahezu Verschleißfreiheit. Die Schienenklemmung ist ebenfalls mit einem integrierten Spezialbelag zum Bremsen in Notsituationen zu erwerben. <sup>317</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Verbesserung und Umgestaltung der Pendelstützen</b>
<b>Wirkung</b>	Der Portalkran bewegt sich auf zwei Kranarmen, wobei einer davon als Pendelstütze das Tragwerk statisch bestimmt macht. Die Verbindung zwischen der Pendelstütze und dem Brückenträger kann das Fahrverhalten eines Portalkrans beeinflussen. <sup>318</sup> Diese Verbindung stellt ein Gelenklager dar, das durch drei Freiheitsgrade eine gleichmäßige Lastverteilung auf die Kranbahn ermöglicht. <sup>319</sup> Durch eine unregelmäßige Beanspruchung der

<sup>312</sup> Kronecranes Deutschland.

<sup>313</sup> Voss und Hartmann 2018.

<sup>314</sup> Zimmer group 2018.

<sup>315</sup> Schienenklemmung LinClamp SK 2017.

<sup>316</sup> Schienenklemmung LinClamp SK 2017.

<sup>317</sup> Zimmer group 2018.

<sup>318</sup> Scheffler et al. 1998.

<sup>319</sup> Hebezeuge Fördermittel - Technische Logistik 2017.

	<p>Freiheitsgrade wird eine Abnutzung der Lageroberfläche verursacht. Dadurch entstehen deutlich hörbare Brumm- und Schwinggeräusche. Mit Hilfe einer auf Teflon basierenden Schmieremulsion zwischen dem Lagerinnenring und der wartungsfreien Gleitschicht kann diesen entgegengesteuert werden.<sup>320</sup></p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Diese Art von Verbesserung der Pendelstützenlagerung ist bereits Stand der Technik und kann jederzeit eingesetzt werden.</p>
<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<p><b>Temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters</b></p>
<b>Wirkung</b>	<p>Aufgrund der hohen Leistung eines Krans muss eine funktionierende Motorlüftung gewährleistet sein. Jedoch läuft diese unabhängig von der Belastung immer gleich. Durch eine temperaturabhängige Steuerung des Motorlüfters kann die Lärmemission effektiv gemindert werden.</p>
<b>Umsetzbarkeit</b>	<p>Die temperaturabhängige Steuerung eines Motorlüfters ist nach aktuellem Stand der Technik nur ein Konzept. Jedoch lässt sich das Verfahren bereits existierender Lüftungsanlagen auf die temperaturabhängige Steuerung übertragen. Dabei wird an einer temperatursensiblen Stelle ein Widerstand eingebaut, der eine temperaturgeführte Drehzahl des Lüfters bewirkt. Über diesen Widerstand kann dann die Kühlleistung des Lüfters automatisch an die Geräte-Temperatur angepasst werden.</p>

<sup>320</sup> Rühlicke 2007.

Lärmquelle: Kratzfahrten	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlagsprozess auf dem Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Die Laufkatze ist an einem Kran befestigt und kann horizontal verfahren werden. Sie trägt ein Hubwerk, mit dem Lasten gehoben oder gesenkt werden können. Durch Laufkatzen werden schwere Lasten zu einem Zielort transportiert und dort punktgenau von oben abgesetzt. Im Hafen werden hauptsächlich Laufkatzen verwendet, die ein eigenes Führerhaus für Bedienpersonal, sowie einen eigenen internen Antrieb besitzen. <sup>321</sup> Die Fahrten der Laufkatze werden als Kratzfahrten bezeichnet und werden üblicherweise über Katzfeder oder über einen Seilzug angetrieben.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Verlegung der Fahrwerksmotoren in den Lastenträger</b>
<b>Wirkung</b>	Kasten-, Profil oder Fachwerksträger sind Träger, die den Kran halten. Die Verlegung der Fahrwerksmotoren in diese Lastenträger des Krans hat zur Folge, dass die durch die Motoren erzeugten Schallwellen durch eine Einhausung gedämpft werden.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Zurzeit befindet sich die Umsetzbarkeit dieser Art der Lärmreduzierung noch in der Ideenentwicklung. Jedoch lässt sich die Maßnahme sehr gut mit der darauffolgenden Maßnahme „Dämpfung des Kastenträgers“ kombinieren.
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Dämpfung des Kastenträgers</b>
<b>Wirkung</b>	Auch hier können die Auswirkungen einer Dämpfung des Kastenträgers dem Steckbrief „Drehen - Boden-, Dach- und Wanddämpfung des Windenhauses“ entnommen werden. Wenn zudem die Kastenträger zusätzlich durch Styroporplatten etc. gedämpft, oder das Kranfahrwerk ausgeschäumt würde, können die Geräuschemissionen deutlich abnehmen.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Da dieses Verfahren bereits zur Schalldämpfung anderer Anlagen verwendet wird, lässt sich dieses Prinzip der Lärmreduzierung auch auf den Kastenträger eines Krans übertragen.

<sup>321</sup> Item Industrietechnik 2015.

Lärmquelle: Rückfahrwarner	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Krananlage im Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Rückfahrwarner werden auch bei Kränen als Sicherheitseinrichtung zur akustischen Warnung verwendet. Dort werden dieselben klassischen Rückfahrwarner, wie bei den SNFZ verwendet. Der Kranführer macht mittels eines deutlich wahrnehmbaren Einzeltons des Rückfahrwarner deutlich, dass sich sein Fahrzeug rückwärts bewegt.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Rückfahrwarner entschärfen</b>
<b>Wirkung</b>	Der Rückfahrwarner erhält üblicherweise bei einer schalltechnischen Beurteilung einen Lästigkeitszuschlag von mindestens 3 dB. Auf diesen Tonzuschlag kann bei Rückwärtsfahrten verzichtet werden, da diese mit etwa gleichlauten Multifrequenz-Rückfahrwarnern ausgerüstet sind. Diese erzeugen ein breitbandiges synthetisches Rauschen und sind daher außerhalb des Gefahrenbereichs geringer wahrnehmbar.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Der Multifrequenz Rückfahrwarner ist bereits Stand der Technik und ersetzt Rückfahrwarner von Anlagen im direkten Umfeld von Wohngebieten. Das Rauschen hat im Gegensatz zu konventionellen Modellen nur eine Reichweite von bis zu 10 Metern und kann von allen Seiten des Fahrzeugs wahrgenommen werden. <sup>322</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Warnsignalton - Frequenzanpassung an Umgebungslautstärke</b>
<b>Wirkung</b>	Eine Alternative zu konventionellen Rückfahrwarnern stellen selbstangleichende Rückfahrwarner dar. Abhängig von der Tageszeit und der Situation passt sich die Lautstärke des Rückfahrwarners an.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Auch diese Technik wird schon produziert und eingesetzt. <sup>323</sup>

<sup>322</sup> Ried System Electronic GmbH.

<sup>323</sup> Ried System Electronic GmbH.



Lärmquelle: Fahrstil	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Güterumschlagsprozess auf dem Binnenhafengelände
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Der Fahrstil des Kranführers bzw. des Führungspersonals in der Laufkatze kann den Lärmpegel zusätzlich durch seinen nicht vorausschauenden Fahrstil und plötzlichen Bewegungen erhöhen. Insbesondere durch häufiges und unnötiges Hin- und Herfahren, aber auch schnelles Anfahren und das daran anschließende abrupte Abbremsen, kann als störend empfunden werden.
Lärminderungsmaßnahme	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Schulungen für Personal</b>
<b>Wirkung</b>	Nach den Vorschriften der Berufsgenossenschaften hat ein Kranführer eine Ausbildung mit theoretischer und praktischer Prüfung nachzuweisen. Schulungen für das Personal verhindern nicht nur erhebliche Personen- oder Sachschäden, sondern machen den Arbeitgeber und -nehmer für den Arbeitsmarkt attraktiv. (Dekra Akademie) Qualifizierte Mitarbeiter tragen einen wesentlichen Bestandteil zu dem Erfolg des Unternehmens bei. Mitarbeiter erfahren eine Weiterbildung als Wertschätzung und Anerkennung seitens des Arbeitgebers ihm gegenüber. Aus diesem Grund steigert sich die Leistungsbereitschaft und die Loyalität des Mitarbeiters und bewirkt ebenfalls eine Verbesserung der Effizienz der Arbeitsabläufe und der Produktivität eines Unternehmens. (Zeitblüten) Somit können die durch einen mangelhaften Fahrstil entstehenden Lärmemissionen verringert werden.
<b>Umsetzbarkeit</b>	Verschiedene Träger, wie der „Technische Überwachungsverein“, bieten in regelmäßigen Abständen Schulungen und Weiterbildungen für die sichere Bedienung eines Krans an.
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>„Gamification“ - Übertragung spieltypischer Elemente in spielfremde Zusammenhänge</b>
<b>Wirkung</b>	Mit Hilfe dieser Methode könnte vor allem den Fahrzeugführern der Verkehrsmittel des Binnenhafens vor Augen geführt werden, inwieweit sie selbst an der Entstehung der Lärmproblematik beteiligt sind. Dabei ist das Ziel eine Verhaltensänderung und Motivationssteigerung des Personals zu erzielen. <sup>324</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Jedoch ist der Erfolg von Gamification abhängig von seinem Anwender und seiner Affinität zu Spielen. Eine unprofessionelle Haltung gegenüber dem Spiel bewirkt eine Motivationsminderung und damit einen fahrlässigen Fahrstil.

<sup>324</sup> Günther et al. 2015.

<b>Flurfördergeräte</b> <b>Lärmquelle: Antriebsart des Terminalfahrzeugs (Reachstacker) und Fahrstil des Fahrers</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Transport auf dem Hafengelände, Containerumschlag
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Flurförderfahrzeuge können mit Verbrennungsmotoren, einem Hybridantrieb oder einem Elektroantrieb ausgestattet sein.
<b>Lärmminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Einsatz von alternativen Antriebsarten - Hybrid-Reachstacker</b>
<b>Wirkung</b>	Bei einer Vorbeifahrtsmessung eines Diesel-Reachstackers im Duisburger Hafen wurden die Lärmemissionen mit denen eines Hybrid-Reachstacker moderner Bauart verglichen. Die Messergebnisse zeigen auf, dass der Einsatz eines Hybrid-Reachstacker nicht zu einer Minderung der Geräuschemissionen beiträgt. Bei der durchgeführten Messung wurde hingegen ein bis zu 2 dB(A) höherer Wert gegenüber dem eines Diesel-Reachstacker festgestellt. <sup>325</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Hinsichtlich der Lärmemissionen ist der Einsatz von hydrostatischem Antrieb auch bei moderner Bauart gegenüber einem Diesel Antrieb abzusehen.  Im Duisburger Hafen wird im Rahmen des Verbundvorhabens „LeanDeR“ ein nachhaltiges LNG-Logistikkonzept unter Praxisbedingungen im Demonstrationsbetrieb getestet und evaluiert. Hierbei findet einer Umrüstung zweier Hafenumschlagsgeräte (Reachstacker und Terminaltraktor) statt, die jeweils im Dual-Fuel- (Diesel/LNG) und im reinen LNG-Betrieb getestet. <sup>326</sup>
<b>(2) Art der Maßnahme</b>	<b>Ausstattung der Flurförderzeuge mit Drehstromtechnik</b>
<b>Wirkung</b>	Bei der Drehstromtechnik werden die Flurfördergeräte mit Frequenzumwandler ausgestattet, die für die Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom und somit für den Antrieb des Motors sorgen. Durch diese Umwandlung sind die Flurfördergeräte nicht nur emissionsfrei, sondern auch so gut wie geräuscharm, wartungsfrei und vor allem auch leistungsstark. <sup>327</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Das Gerät erreicht durch den Einsatz der Drehstromtechnik die Leistung wie verbrennungsmotorisch angetriebenen Gabelstapler. Nachteilig hier ist allerdings, dass die Batterien nur eine begrenzte Einsatzzeit haben und somit keinen durchgängigen Arbeitsfluss gewährleisten können. „Sicherlich sind Verbesserungen in der Ladetechnik und der kapazitiven Effektivität der Traktionsbatterien durchgeführt worden, aber die grundlegende Funktionalität der Bleibatterie wurde nicht verändert oder durch andere Systeme abgelöst.“ <sup>328</sup>

<sup>325</sup> Wirtz 2017.

<sup>326</sup> Universität Duisburg-Essen.

<sup>327</sup> Heinrich 2014.

<sup>328</sup> materialfluss - Fachmedium der Intralogistik 2012.

	Durch diese Nachteile werden Hybridantriebe für Flurförderfahrzeuge immer interessanter. Sie sind mit einem Generator, einer Steuereinheit und einem Elektromotor ausgestattet. Der Generator wird durch einen sparsamen Dieselmotor angetrieben. Durch die Steuereinheit wird es möglich, den erzeugten Strom zu regeln und je nach Bedarf an den Motor abzugeben, sodass ein geringerer Verbrauch und CO <sub>2</sub> -Ausstoß realisiert, sowie die Lärmbelastigung reduziert wird. <sup>329</sup> Aber dennoch bleibt die hohe Förderleistung der mit Dieselantrieben versehenen Flurförderfahrzeuge erhalten.
<b>(3) Art der Maßnahme</b>	<b>Austausch alter Flurfördergeräte</b>
<b>Wirkung</b>	<p>Neu entwickelte und produzierte Flurfördergeräte besitzen Lärmschutzpakete, die bei einer Untersuchung am Hamburger Hafen eine Reduzierung des Schalleistungspegels um 10 dB(A) gegenüber den alten Geräten aufweisen.<sup>330</sup></p> <p>Technische Verbesserungen aus dem Lärmschutzpaket:<sup>331</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schallkapsel für Motor, Getriebe und Hydraulikpumpe</li> <li>• Einsatz von leiseren wassergekühlten Motoren</li> <li>• Verbesserte und zusätzliche Schalldämpfer</li> <li>• Antrieb mit dynamischen Drehzahlverhalten</li> <li>• Absetzautomatik beim Absetzen der Container (Kontrolle und Anpassung der Aufprallgeschwindigkeit)</li> <li>• Einsatz von Lamellenbremsen (Reibungsfrei)</li> </ul>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Ein Austausch der Flurfördergeräte ist je nach Anzahl der zu ersetzenden Geräte sehr kostenintensiv. Daher ist die Umsetzbarkeit je nach wirtschaftlicher Situation des Hafens und Dringlichkeit der Lärmreduzierung unterschiedlich zu bewerten.
<b>(4) Art der Maßnahme</b>	<b>Schulung der Hafenmitarbeiter / Fahrer</b>
<b>Wirkung</b>	Nach Vorschriften der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) gilt es nach DGUV Vorschrift 1 § 4 die Versicherten bzw. die Angestellten mindestens einmal jährlich zu unterweisen. Dieses Schulungsangebot dient sowohl zur Weiterbildung als auch zur Auffrischung des Gelernten. <sup>332</sup> Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Leistungsbereitschaft und die Loyalität des Mitarbeiters aus, sondern bewirkt ebenfalls eine Verbesserung der Effizienz der Arbeitsabläufe und der Produktivität eines Unternehmens. Somit sollten die Lkw-Fahrer gewillt sein einen unangemessenen Fahrstil zu vermeiden, um die dadurch entstehenden Lärmemissionen zu verringern.

<sup>329</sup> Etdorf 2013.

<sup>330</sup> LÄRMKONTOR GmbH 2008.

<sup>331</sup> Bosch und Kiwitz 2014.

<sup>332</sup> TÜV Süd.

<b>Umsetzbarkeit</b>	Verschiedene Träger, wie die „Staufen Bauakademie Schulungszentrum“ und der „TÜV“, bieten in regelmäßigen Abständen Schulungen und Weiterbildungen für die allgemeine Verkehrssicherheit auf dem Werksgelände an. <sup>333</sup>
----------------------	--

---

<sup>333</sup> Staufen Bauakademie Schulungszentrum.

<b>Roll-on-Roll-off (RoRo-Verkehr)</b> <b>Lärmquelle: Rampe</b>	
<b>Zugeordneter Prozess</b>	Kombinierter Verkehr zum Transport von Straßenfahrzeugen und / oder Schienenfahrzeugen auf Schiffen.
<b>Auslöser / Entstehungsort</b>	Beim Auf- und bzw. Abrollen der Fahrzeuge über die Rampe wird ein störendes Geräusch erzeugt.
<b>Lärminderungsmaßnahme</b>	
<b>(1) Art der Maßnahme</b>	<b>Polyurethanplatten als Kontaktschutz zwischen Rampe und Anlegestelle</b>
<b>Wirkung</b>	Eine Lärminderung erzeugen spezielle mit Eisengittern verstärkte Polyurethanplatten. <sup>334</sup> Diese werden an der Unterseite der Rampe montiert und verhindern den direkten Kontakt zwischen Metall der Rampe und dem Gestein der Anlegestelle. Daraus resultiert eine Maximalpegelverminderung um 20 dB(A) auf 85 dB(A) und eine Minderung des Mittelungspegels von 3 dB(A) auf 77 dB(A) (vorher 80 dB(A)). <sup>335</sup>
<b>Umsetzbarkeit</b>	Die Umsetzung der Maßnahme erfolgt durch leichte Montageschritte an der Rampe. Zudem fallen die Anschaffungskosten mit 13 Euro pro Stück sehr gering aus. Die Haltbarkeit mit acht bis zehn Monaten, liegt zudem in einem für den Preis und dem Nutzen angemessenen Bereich. <sup>336</sup>

<sup>334</sup> Kopp 2015.

<sup>335</sup> Wirtz 2017.

<sup>336</sup> Kopp 2015.

## 11 Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis

abc Container (Hg.) (2015): Seecontainer als Lärmschutz nutzen. Online verfügbar unter <https://abc-container.com/seecontainer-als-laermschutz-nutzen/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Aberle, Gerd (2009): Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. 5. Aufl. München: Oldenbourg Verlag.

Academic (2017a): Containerchassis. Online verfügbar unter <http://deacademic.com/dic.nsf/dewiki/278447>, zuletzt geprüft am 21.11.2018.

Academic (2017b): Güterstruktureffekte. Online verfügbar unter [http://universal\\_lexikon.deacademic.com/246618/G%C3%BCterstruktureffekt](http://universal_lexikon.deacademic.com/246618/G%C3%BCterstruktureffekt), zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Academic (Hg.) (2018): Schrottpressen. Online verfügbar unter <http://deacademic.com/dic.nsf/technik/19902/Schrottpressen>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

adenauercampus (Hg.) (2018): Kommunale Wirtschaftspolitik. Online verfügbar unter [https://www.adenauercampus.de/themen/kommunalpolitik/praxis/kommunale\\_wirtschaftspolitik](https://www.adenauercampus.de/themen/kommunalpolitik/praxis/kommunale_wirtschaftspolitik), zuletzt geprüft am 21.02.2019.

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2017a): Stadtentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.arl-net.de/lexica/de/stadtentwicklungsplanung>, zuletzt geprüft am 27.06.2017.

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (2017b): Verkehrsplanung. Online verfügbar unter <https://www.arl-net.de/lexica/de/stadtentwicklungsplanung>, zuletzt geprüft am 27.06.2017.

Allianz pro Schiene (Hg.): Flüsterbremse. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/fluesterbremse/>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst; Furmans, Kai (Hg.) (2008): Handbuch Logistik. Unter Mitarbeit von Bernhard Fleischmann. 3., neu bearb. Berlin: Springer Verlag.

Bartel, rainer (2017): Warum Binnenschiffe kaum noch tuckern. Hg. v. Rhein-Magazin Düsseldorf. Online verfügbar unter <https://www.rhein-magazin-duesseldorf.de/warum-binnenschiffe-kaum-noch-tuckern/?cn-reloaded=1>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Becker LNG Hybrid Barge. Unter Mitarbeit von becker marine systems. Online verfügbar unter <https://www.becker-marine-systems.com/products/product-detail/becker-lng-hybrid-barge.html>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg (2010).

Behörde für Umwelt und Energie Hamburg (2014): Sicherheit und Lärmschutz für Container-Terminals im Hamburger Hafen. Online verfügbar unter <http://www.hamburg.de/fachthemen/137632/containerumschlag/>, zuletzt geprüft am 16.05.2018.

BeSB GmbH Berlin (2017): Immissionsschutz - See- / Binnenhäfen. Online verfügbar unter <http://www.besb.de/immissionsschutz/see-binnenhaefen.html>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.

Blaue Container-Wand vor dem Uniklinikum Göttingen (2014). In: *Göttinger Tagesblatt*, 26.09.2014. Online verfügbar unter <http://www.goettinger-tageblatt.de/Die-Region/Goettingen/Blaue-Container-Wand-vor-dem-Uniklinikum-Goettingen>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Bonfiglioli Deutschland GmbH (Hg.): Alternativantriebe für Offshore-Kräne von Bonfiglioli O&K Antriebstechnik. Online verfügbar unter <https://www.bonfiglioli.de/de-de/industrie/neuigkeiten-und-medien/neuigkeiten/alternative-drive-systems-for-offshore-cranes-by-bonfiglioli/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Bosch, Dieter (2017): Schiffslärm - der bass der Motoren, eine unangenehme und lästige Musik die nicht so sein müsste. Hg. v. DBM Engineering. Online verfügbar unter <http://bosch-me.de/papers/fachartikel-schiffslaerm.pdf>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Bosch, Dieter; Kiwitz, André G. H. (2014): Schalltechnisches Gutachten zur geplanten Westerweiterung des EUROGATE Container Terminal Hamburg. Bremerhaven. Online verfügbar unter <http://www.erhaltet-oevelgoenne.de/files/4986/upload/Schall.pdf>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Bosy-online-ABC (Hg.): Störschall - Gegenschall / Antischall. Online verfügbar unter <http://www.bosy-online.de/Gegenschall.htm>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Brandstätter, Peter; Krämer, Michael; Herget, Wolfgang; Lazic, Vlado (2012): Optimierte Fahrzeugakustik mit einem innovativen Allrad-Rollenprüfstand (114/11). Hg. v. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift. Online verfügbar unter DOI: 10.1007/s35148-012-0504-y.

Brieske, Pamela (2007): Cold Ironing - Externe Stromversorgung für Schiffe im Hafen. Diplomarbeit. Hochschule Bremen, Bremen. Online verfügbar unter [http://www.hsbremen.de/internet/hsb/projekte/maritime/studium/nautikseeverkehr/diplombachelor/diplomarbeit\\_brieske\\_pamela.pdf](http://www.hsbremen.de/internet/hsb/projekte/maritime/studium/nautikseeverkehr/diplombachelor/diplomarbeit_brieske_pamela.pdf).

Brinkmann, Birgitt (2005): Seehäfen. Planung und Entwurf. Berlin, Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter <https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=324538>.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: 4. Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Baugesetzbuch §1 Abs. 6. BauGB.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Baugesetzbuch §9 Abs. 24 BauGB. BauGB.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Baunutzungsverordnung §1 Abs. 4.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge §22 Abs. 1. BImSchG.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge §5 Abs. 1. BImSchG.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Personenbeförderungsgesetz; § 4 Straßenbahnen, Obusse, Kraftfahrzeuge. PBefG. Online verfügbar unter [http://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/\\_\\_\\_4.html](http://www.gesetze-im-internet.de/pbefg/___4.html), zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Bundeswasserstraßengesetz (WaStrG) §1. WaStrG. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/wastrg/BJNR201730968.html>.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2013): Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke - Baunutzungsordnung. BauNVO. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/\\_\\_\\_11.html](https://www.gesetze-im-internet.de/baunvo/___11.html), zuletzt geprüft am 09.09.2017.

Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) Nichtamtliches Inhaltsverzeichnis. 4. BImSchV. Online verfügbar unter [https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv\\_4\\_2013/BJNR097310013.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_4_2013/BJNR097310013.html).

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hg.) (1997): Blauer Umweltengel für lärmarme und kraftstoffsparende Reifen. Verkehrslärm um die Hälfte reduzieren. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/pressemitteilung/blauer-umweltengel-fuer-laermarme-und-kraftstoffsparende-reifen-verkehrslaerm-um-die-haelfte-reduzierbar/>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2014a): Messen oder berechnen? Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/laermschutz/laermschutz-im-ueberblick/laermmessung-laermberechnung/>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2014b): Was ist Lärm? Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/laermschutz/laermschutz-im-ueberblick/was-ist-laerm/>, zuletzt geprüft am 05.02.2019.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Klimaschutz - Worum geht es? Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klimaschutz-worum-geht-es/>, zuletzt geprüft am 09.10.2017.



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. BImSchG.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (1998): Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm). Online verfügbar unter [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_26081998\\_IG19980826.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm), zuletzt aktualisiert am 01.06.2017.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2016): Lärmschutz im Schienenverkehr. Alles über Schallpegel, innovative Technik und Lärmschutz an der Quelle. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/E/laermschutz-im-schienenverkehr-broschuere.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/E/laermschutz-im-schienenverkehr-broschuere.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 21.02.2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2017): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik. - nachhaltig und effizient in die Zukunft. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018a): Die Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie der Bundesregierung. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/MKS/mks-strategie-beschluss.html>, zuletzt geprüft am 04.06.2018.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018b): Nationales Hafenkonzert für die See- und Binnenhäfen 2015. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/nationales-hafenkonzert.html>, zuletzt geprüft am 04.06.2018.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm. Lärmschutz-Richtlinien StV.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Smart Data - Innovationen aus Daten. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/smart-data.html>, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Bundesumweltministerium: Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV). BImSchV.

Cargomar: Full Truckload. Online verfügbar unter <http://www.cargomar.de/de/glossar/F/Full.Truck.Load.FLT>.

Cargomar: Less than Truckload. Online verfügbar unter <http://www.cargomar.de/de/glossar/L/Less.Than.Truckload.LTL>.

CHEMIE (Hg.) (2017): Brecher. Online verfügbar unter <http://www.chemie.de/lexikon/Brecher.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Cimolino, Ulrich (Hg.) (2003): Technische Hilfeleistung bei Lkw-Unfällen. Technische und medizinische Rettung eingeklemmter Personen, Umgang mit verunfallten schweren Straßenfahrzeugen. 1. Aufl.: ecomed Sicherheit (Einsatzpraxis).

Clausen, Uwe; Claus, Doll; Franklin, Francis James; Franklin, Gordana Vasic; Heinrichmeyer, Hilmar; Kochsiek, Joachim (2012): Reduzierung der Lärmbelästigung durch Schienenverkehr. Hg. v. Europäisches Parlament. Ausschuss für Verkehr und Fremdenverkehr. Brüssel.

Clausen, Uwe; Geiger, Christiane (Hg.) (2013): Verkehrs- und Transportlogistik. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-34299-1>.

Czycholl, Harald (2012): Der erste Hybrid-Zug - So grün kann Bahn sein. Hg. v. welt.de. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wissenschaft/article112281574/Der-erste-Hybrid-Zug-So-gruen-kann-Bahn-sein.html>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Daimler AG (2018): Definition "Autonomes Fahren". Online verfügbar unter <https://www.daimler.com/innovation/autonomes-fahren/special/definition.html#tab-module-806853>, zuletzt geprüft am 16.05.2018.

Das Verkehrslexikon: Sattelzug-Sattelauflieger-Sattelschlepper. Online verfügbar unter <https://www.verkehrslexikon.de/Module/Sattelzug.php>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

DB Netz AG (10.12.2017): Richtlinie 301 - Signalbuch, vom Aktualisierung 10.

dejure.org (2017): Baugesetzbuch. §9 Inhalt des Bebauungsplans. Online verfügbar unter <https://dejure.org/gesetze/BauGB/9.html>, zuletzt geprüft am 06.06.2018.

dejure.org (2018): Landespressegesetz. §3 Öffentliche Aufgabe der Presse. Online verfügbar unter <https://dejure.org/gesetze/LPresseG/3.html>, zuletzt geprüft am 04.06.2018.

Dekra (Hg.) (2018): Berufskraftfahrer-Weiterbildung. Online verfügbar unter <https://www.dekra-akademie.de/de/berufskraftfahrer-weiterbildung/>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Deutsch, Andreas (2013): Verlagerungseffekte im containerbasierten Hinterlandverkehr. Analyse, Bewertung, Strategieentwicklung. Zugl.: Bamberg, Univ., Diss., 2013. Bamberg: Univ. of Bamberg Press (Logistik und Supply Chain Management, 8). Online verfügbar unter [http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4653619&prov=M&dok\\_var=1&dok\\_ext=htm](http://deposit.d-nb.de/cgi-bin/dokserv?id=4653619&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm).

Deutsche Bahn AG (Hg.) (2017): Flüsterbremse machen Züge leiser. Online verfügbar unter [https://www1.deutschebahn.com/laerm/laermreduktion\\_am\\_fahrzeug/fluesterbremsen-1096452](https://www1.deutschebahn.com/laerm/laermreduktion_am_fahrzeug/fluesterbremsen-1096452), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) (Hg.) (2008): Sicherungsmaßnahmen bei Arbeiten im Gleisbereich von Eisenbahnen. DGUV Regel 101-024. Berlin. Online verfügbar unter <https://publikationen.dguv.de/dguv/pdf/10002/r-2150.pdf>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Die Bundesregierung: Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm 6.1. TA Lärm.

Die Bundesregierung (2015): Nationales Hafenkonzert für die See- und Binnenhäfen 2015. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Wasser/nationales-hafenkonzert-2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/Wasser/nationales-hafenkonzert-2015.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 04.06.2018.

DIN 45645-1, 2012: DIN 45645-1, 2012-9: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-45645-2/153793895>, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

DIN ISO 9631-2, 1999: DIN ISO 9631-2, 1999 - 10: Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien - Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/norm/din-iso-9613-2/17730017>, zuletzt geprüft am 01.08.2017.

DIN V 19233, 1998: DIN V 19233 Leittechnik - Prozeßautomatisierung - Automatisierung mit Prozeßleittechnik - Begriffe, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Dipl. -Ing. SCHERZER GmbH (Hg.) (2017): Schiff-Be- und Entladeanlagen. Online verfügbar unter <http://www.scherzer.net/umschlag/schiffs-be-entladesysteme/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Dooms; Macharis (Hg.) (2003): Titel Fehlt-----.

Duisburger Hafen AG (2017a): duisportmagazin 4. Ein Magazin der Duisburger Hafen AG. Duisburg. Online verfügbar unter [https://www.duisport.de/wp-content/uploads/2018/08/dm\\_4\\_2017\\_final\\_web.pdf](https://www.duisport.de/wp-content/uploads/2018/08/dm_4_2017_final_web.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Duisburger Hafen AG (2017b): Hafeninformatonen. Zahlen, Daten und Fakten der Duisburger Hafen AG. Hg. v. Duisburger Hafen AG. Online verfügbar unter <https://www.duisport.de/hafeninformation/>, zuletzt geprüft am 21.02.2019.

duisport-Gruppe (Hg.): Damit alles fließt - Integrated Truck Guidance. Online verfügbar unter <https://www.duisport.de/hafeninformation/strassenservice-leitsystem/>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Dumke, Knut (2015): Zauberei oder eine notwendige technische Entwicklung? Hg. v. BahnPraxis. Online verfügbar unter [https://www.uv-bundbahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis\\_B/BahnPraxisB-2015\\_11.pdf](https://www.uv-bundbahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis_B/BahnPraxisB-2015_11.pdf), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (Hg.) (2018): Zukunft LNG. Flüssiges Erdgas als sauberer Kraftstoff für schwere Lkw und Flottenfahrzeuge. Online verfügbar unter

[https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/broschuere\\_zukunft\\_Ing.pdf](https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/broschuere_zukunft_Ing.pdf), zuletzt geprüft am 09.01.2019.

Erbguth, Wilfried; Schubert, Mathias (Hg.) (2011): Rechtsfragen der Errichtung und Erweiterung von Binnenhäfen. Unter Berücksichtigung städtebaulicher Nutzungsinteressen an Hafenflächen. Baden-Baden.

DIN EN ISO 7731, 01.12.2008: Ergonomie - Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätte - Akustische Gefahrensignale.

Ernst Bohle GmbH (Hg.): Sekundärer Lärmschutz durch Schallschutzeinhausung. Online verfügbar unter <https://www.bohle-gruppe.com/index.php/schallschutzeinhausungen/de>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Etzdorf, Jenifer (2013): Grüne Logistik in der Lagerhalle. Hg. v. Käuferportal / Ratgeber. Online verfügbar unter <https://www.kaeufportal.de/ratgeber/industrie-gewerbe/gabelstapler/gruene-logistik-gabelstapler>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (25.06.2002): Richtlinie 2002/49/EG.

FAS - Modern Industrial Solutions (Hg.) (2018): Energie, Sicherheit, Kompetenz. Kompressortechnik. Online verfügbar unter <http://www.fas-engineering.de/upload/files/FAS-MIS-Corken-Booklet-full.pdf>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Faust, Volker: Lärm - Umweltproblem Nr. 1 und Geißel unserer Zeit. Hg. v. Psychosoziale Gesundheit. Online verfügbar unter <http://www.psychosoziale-gesundheit.net/psychiatrie/laerm.html>, zuletzt geprüft am 15.01.2019.

Fischer, H. M.; u.a. (1997): Kein Titel-----.

Fläming, H. (2011): Binnen\_Land. Logistische Integration von Binnenschiff und Stadthafen. Elemente intelligenter Transportketten für den Güterverkehr.

Florian Weis (2018): Urbanisierung. Hg. v. business-on.de - Das regionale Wirtschaftsportal. Online verfügbar unter [http://www.business-on.de/urbanisierung-definition-urbanisierung-\\_id40890.html](http://www.business-on.de/urbanisierung-definition-urbanisierung-_id40890.html), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Focus online (Hg.) (2018): Elektrisches Binnenschiff. Emissionsfrei dank Wasserstoff-Öl. Online verfügbar unter [https://www.focus.de/auto/news/elektrisches-binnenschiff-emissionsfrei-dank-wasserstoff-oel\\_id\\_9535363.html](https://www.focus.de/auto/news/elektrisches-binnenschiff-emissionsfrei-dank-wasserstoff-oel_id_9535363.html), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Forschungsinformationssystem: Hafeninfrastuktur. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/57291/>, zuletzt geprüft am 07.12.2018.

Forschungsinformationssysteme (2003): Seehafenbezogene verkehrspolitische Rahmenbedingungen in der EU. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/57256/>, zuletzt aktualisiert am 28.07.2017, zuletzt geprüft am 04.06.2018.

Forschungsinformationssysteme (Hg.) (2016): Ladungsverkehr. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/52193/>, zuletzt geprüft am 15.02.2019.

Forschungsinformationssysteme (2018): Güterstruktur in der deutschen Binnenschifffahrt. Online verfügbar unter <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/123494/>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Fouad, Nabil A.: Bauphysik Kalender 2009. Schallschutz und Akustik. 9. Aufl.: Ernst & Sohn.

Fraunhofer IML (2017): Whitepaper Social Networked Industry. Online verfügbar unter [https://www.e3-produktion.de/content/dam/iwu/e3-produktion/de/documents/E3\\_Whitepaper\\_SocialNetworkedIndustry\\_Web.pdf](https://www.e3-produktion.de/content/dam/iwu/e3-produktion/de/documents/E3_Whitepaper_SocialNetworkedIndustry_Web.pdf), zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Fraunhofer IML (2018): Synchromodalität. Online verfügbar unter <https://www.iml.fraunhofer.de/de/abteilungen/b3/verkehrslogistik/dienstleistungen/synchromodalitaet.html>, zuletzt geprüft am 16.05.2018.

Freeman (2010): Tietel Fehlt-----.

Freie und Hansestadt Hamburg. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (Hg.) (2007): Räumliches Leitbild. Entwurf.

Gabler Wirtschaftslexikon (2017): Automatisierung. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/automatisierung-27138>, zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Gabler Wirtschaftslexikon (2018a): Binnenschifffahrt. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/binnenschifffahrt-29401>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Gabler Wirtschaftslexikon (2018b): Containerverkehr. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/containerverkehr-29558>, zuletzt geprüft am 25.05.2018.

Gabler Wirtschaftslexikon (2018c): Eignung Definition. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/eignung-34394>, zuletzt geprüft am 11.06.2018.

Gantner (Hg.): Seilwinden & Antriebssysteme. Online verfügbar unter <http://www.gantner-winch.com/de/seilbahntechnik/seilwinden-antriebssysteme/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Gefahrgut (2017): Tankcontainer. Online verfügbar unter <https://www.gefahrgut-online.de/tankcontainer-1638351.html>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

GeNaLog (2017): Studie "Potenziale einer Geräuscharmen Nachtlogistik". Online verfügbar unter [https://download.iml.fraunhofer.de/genalog/Bericht\\_GeNaLog\\_Doppelseite\\_Versand\\_klein.pdf](https://download.iml.fraunhofer.de/genalog/Bericht_GeNaLog_Doppelseite_Versand_klein.pdf), zuletzt geprüft am 16.05.2018.

Generalzolldirektion: Beschränkung des Dienstleistungsverkehrs. Online verfügbar unter [http://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Aussenwirtschaft-Bargeldverkehr/Dienstleistungsverkehr/dienstleistungsverkehr\\_node.html](http://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Aussenwirtschaft-Bargeldverkehr/Dienstleistungsverkehr/dienstleistungsverkehr_node.html), zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Germanischer Lloyd AG (Hg.) (2008): Verringerung der Emissionen von Kreuzfahrtschiffen. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/895050/5582cc547370c95dd0b40c6dccc7d08c/data/gutachten-lloyd.pdf;jsessionid=1138F96B64C0D51E83334507A1FD7421.liveWorker2>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.: Flüssiggut. Online verfügbar unter <http://www.tis-gdv.de/tis/taz/f/fluessiggut.htm>, zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Gleißner, Harald; Femerling, Christian (2016): Kompakt Edition: Transport. Elemente - Management - Märkte. 1. Aufl. 2016. Wiesbaden: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-10396-5>.

Gogolin, Dipl.-Ing. Daniel: Lärmreduzierung auf kommunalen Straßen mit Asphalt. Hg. v. Lehrstuhl für Verkehrswegebau. Ruhr-Universität Bochum. Online verfügbar unter [https://www.asphalt.de/fileadmin/user\\_upload/asphaltberatung/downloads/lrmreduzierung.pdf](https://www.asphalt.de/fileadmin/user_upload/asphaltberatung/downloads/lrmreduzierung.pdf), zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Good Sound (2016a): Meilenstein: Identifikation und Bewertung relevanter Geräuschquellen. Online verfügbar unter <http://www.goodsound-projekt.de/ergebnisse?id=13>, zuletzt geprüft am 23.05.2018.

Good Sound (2016b): Ziele des Projekts. Online verfügbar unter <http://www.goodsound-projekt.de/ziel-des-projektes>, zuletzt geprüft am 14.07.2017.

Götter, Roman (2016): Digitalisierung. Hg. v. Fraunhofer Academy. Online verfügbar unter [https://www.academy.fraunhofer.de/de/newsroom/blog/2016/06/was\\_ist\\_digitalisier.html](https://www.academy.fraunhofer.de/de/newsroom/blog/2016/06/was_ist_digitalisier.html), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Günter Pauli GmbH (Hg.) (2017): Der Elektromotor: Funktion, Aufbau, Typen und Einsatzgebiete. Online verfügbar unter <http://www.pauli-gmbh.de/elektromotoren-know-how/elektromotor-funktion-aufbau-typen-einsatz/>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Günther, Willibald A.; Klevers, Markus; Sailer, Maximilian (2015): Gamification in der Intralogistik. Prozesse spielerisch verbessern. Hg. v. fml - Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik. Technische Universität München. München. Online verfügbar unter [http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/gesamt\\_v4.pdf](http://www.fml.mw.tum.de/fml/images/Publikationen/gesamt_v4.pdf), zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Hartmann, Christine (2016): Bundesverkehrsministerium: Förderung für LNG-Lkw. Hg. v. Transport - Die Zeitung für den Güterverkehr. Online verfügbar unter <https://transport-online.de/news/bundesverkehrsministerium-foerderung-fuer-lng-lkw-10320.html>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.

Hautz, Hanjo (2008): Stadt und Hafen – Entwicklungsperspektiven für eine verträgliche Nachbarschaft von Stadt(-entwicklung) und Hafen(-wirtschaft).

Hebezeuge Fördermittel - Technische Logistik (Hg.) (2017): Ein gutes Konzept. Multifunktions-Portalkran erfüllt alle Erwartungen. Online verfügbar unter [https://www.hebezeuge-foerdermittel.de/sites/default/files/Fachartikel/PDF/HF\\_2017\\_12\\_Ein-gutes-Konzept.pdf](https://www.hebezeuge-foerdermittel.de/sites/default/files/Fachartikel/PDF/HF_2017_12_Ein-gutes-Konzept.pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Heinrich, Martin (2014): Transport- und Lagerlogistik. Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Heinrichs, Eckart; Scherbarth, Frank; Sommer, Karsten (2016): Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/wirkungen\\_von\\_tempo\\_30\\_an\\_hauptstrassen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/wirkungen_von_tempo_30_an_hauptstrassen.pdf), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Henkel, Martin (2017): Big Data, Smart Data: die wichtigsten Keywords erklärt. Hg. v. Techtage. Online verfügbar unter <https://www.techtage.de/digitalisierung/industrie-4-0/big-data-smart-data-die-wichtigsten-keywords-erklart/>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.

Hennig, Alexander; Kenning, Peter; Krieger, Winfried; Schneider, Willy; Steven, Marion; Voigt, Kai-Ingo (2013): 222 Keywords Logistik. Grundwissen für Fach- und Führungskräfte. Unter Mitarbeit von Springer Fachmedien Wiesbaden: Springer Gabler.

Hering, Ekbert; Strohrer, Martin (2002): Physik für Ingenieure. 8. Aufl.: Springer.

Hildebrand, Wolf-Christian (2008): Management von Transportnetzwerken im containerisierten Seehafenhinterlandverkehr. ein Gestaltungsmodell zur Effizienzsteigerung von Transportprozessen in der Verkehrslogistik: Universitäts-Verlag der Technischen Universität Berlin.

Hydrogenious Technologies (Hg.): Wasserstoffhandhabung leicht gemacht. Online verfügbar unter <http://www.hydrogenious.net/de/technologie/>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

IHK München und Oberbayern (Hg.) (2017): Wirtschaftsverkehr. IHK-Positionen zur Bundestagswahl 2017. Online verfügbar unter [https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/Standort/IHK-Position\\_Wirtschaftsverkehr.pdf](https://www.ihk-muenchen.de/ihk/documents/Standort/IHK-Position_Wirtschaftsverkehr.pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Ihme, Joachim (2016): Schienenfahrzeugtechnik. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg.

iloxx.de: Silotransport. Online verfügbar unter

<https://www.iloxx.de/net/iloxx/hilfe/versandlexikon.aspx?prm=silotransport>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Ingenieur.de (2018): Erdgasantrieb: Ist das die Alternative zum Elektroauto. Online verfügbar unter

<https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/antriebstechnik/erdgasantrieb-ist-das-die-alternative-zum-elektroauto/>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Item: Portalkran. Online verfügbar unter

<https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/portalkran.html>, zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Item: Stetigförderer. Online verfügbar unter

<https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/stetigfoerderer.html>, zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Item Industrietechnik (Hg.) (2015): Laufkatze. Online verfügbar unter

<https://glossar.item24.com/glossarindex/artikel/item/laufkatze.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Jade-Weser Logistik (Hg.): Schallschutzwall aus Containern. Online verfügbar unter

<https://www.jade-weser-logistik.de/detailansicht-projekte/schallschutzwall-aus-containern.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Jähnichen, Stefan (2015): Smart Data Begriffsforschung. Newsletter August 2015.

Jüngling, Thomas (2011): Antischall-Technik bringt endlich Ruhe ins Haus. Hg. v. welt.de. Online

verfügbar unter <https://www.welt.de/wissenschaft/article12280737/Antischall-Technik-bringt-endlich-Ruhe-ins-Haus.html>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Kfztech.de (2018): Definition Kraftfahrzeug. Online verfügbar unter

<https://www.kfztech.de/kfztechnik/kraftfahrzeuge.htm>, zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Klukas, Achim (2017).

Koch, Joachim (1997): Die Entwicklung des Kombinierten Verkehrs. Ein Trajekt im

Eisenbahnparadigma. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Koch, Susanne (2012): Eine Einführung in Ökonomie und Nachhaltigkeit. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Köhler, Martin (2018): Lärm durch Kompressoren. Hg. v. Haufe Group. Online verfügbar unter

[https://www.haufe.de/arbeitschutz/arbeitschutz-office/arbeiten-mit-druckluft-321-laerm-durch-kompressoren\\_idesk\\_PI957\\_HI7043950.html](https://www.haufe.de/arbeitschutz/arbeitschutz-office/arbeiten-mit-druckluft-321-laerm-durch-kompressoren_idesk_PI957_HI7043950.html), zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Kopp, Martin (2015): Flüster-Container - Idee für den Hafen wird geehrt. Hg. v. Hamburger

Abendblatt. Online verfügbar unter



<https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article206529889/Fluester-Container-Idee-fuer-den-Hafen-wird-geeht.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Kronecranes Deutschland (Hg.): Portalkran. Online verfügbar unter <https://www.konecranes.de/fachlexikon/portalkran>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Lantenhammer (Hg.): Projektlogistik. Online verfügbar unter <https://www.lantenhammer.com/projektlogistik.html>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

LÄRMKONTOR GmbH (Hg.) (2008): Der Lärm ist kartiert - und nun ? Deutsches Institut für Urbanistik. Hamburg. Online verfügbar unter [https://www.lk-argus.de/PDF/LK-Argus14\\_Tagungsband.pdf](https://www.lk-argus.de/PDF/LK-Argus14_Tagungsband.pdf), zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Lärmorama (Hg.): Schallpegel, Lautstärke und Schallmessung. Online verfügbar unter [http://www.laermorama.ch/m1\\_akustik/schallpegel\\_w.html](http://www.laermorama.ch/m1_akustik/schallpegel_w.html), zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik der TU München: Containerstapler. Online verfügbar unter [http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set\\_ID=945&letter=C&title=Containerstapler](http://www.fml.mw.tum.de/fml/index.php?Set_ID=945&letter=C&title=Containerstapler), zuletzt geprüft am 14.08.2018.

Leif, Thomas; Speth, Rudolf (2006): Die fünfte Gewalt. Lobbyismus in Deutschland. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Leitner, Wolfgang (2015): Logistik, Transport und Lieferbedingungen als Fundament des globalen Wirtschaftens. Eine Einführung. Wiesbaden: Springer Gabler.

Lips, Walter (2008): Lärmbekämpfung durch Kapselung. Hg. v. Suva Arbeitssicherheit. Luzern. Online verfügbar unter [https://www.ce-richtlinien.eu/alles/richtlinien/Maschinen/Leitfaeden\\_und\\_Kommentierungen/SUVA\\_Laermbekaempfung\\_durch\\_Kapselung.pdf](https://www.ce-richtlinien.eu/alles/richtlinien/Maschinen/Leitfaeden_und_Kommentierungen/SUVA_Laermbekaempfung_durch_Kapselung.pdf), zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Loggers B.V. (Hg.): Schwingungsdämpfer. Online verfügbar unter <https://www.loggers.eu/de/schwingungsdaempfer/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Logistikbranche (Hg.) (2018): Eisenbahnverkehr. Online verfügbar unter <https://www.logistikbranche.net/verkehrstraeger/eisenbahn.html>, zuletzt geprüft am 29.11.2018.

Logistikknowhow (Hg.) (2014): Kabotage. Online verfügbar unter <https://logistikknowhow.com/materialfluss-und-transport/kabotage/>, zuletzt geprüft am 28.01.2019.

Lutzenberger, Stefan; Gutmann, Christian; Müller-BBM (2013): Ermittlung des Standes der Technik der Geräuschemissionen europäischer Schienenfahrzeuge und deren Lärminderungspotenziale mit Darstellung von Best-Practice-Beispielen. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <http://neu.keine-stadtautobahn.de/uploads/Inis/Bahnlaerm/UBA-Texte2013-12Nr.4441.pdf>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

MAFI Transport-Systeme GmbH: Führender Hersteller von Zugmaschinen für den innerbetrieblichen Transport in Seehäfen, Industrie, Logistik- und Distributionszentren, zuletzt geprüft am 14.08.2018.

materialfluss - Fachmedium der Intralogistik (Hg.) (2012): Blei oder Lithium? Welche Batterie treibt den Stapler besser an? Diese Frage stellt sich derzeit die Flurförderzeugbranche. Die eindeutige Antwort lautet: Beides kann Sinn machen. Online verfügbar unter <https://www.materialfluss.de/flurforderzeuge/blei-oder-lithium.htm>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

MESP: water, air & noise (2012): Managing the Environmental Sustainability of Ports for a durable development. Roadmap on Sustainability Criteria: Guidelines for Port Environmental Management. Online verfügbar unter <http://www.mesp.org/wp-content/uploads/2014/12/Guidelines.pdf>, zuletzt geprüft am 06.06.2018.

Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (2010).

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2017): Immissionsschutzrecht. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-ressourcenschutz/immissionsschutz-und-anlagen/immissionsschutzrecht/>, zuletzt geprüft am 25.05.2018.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (2013a).

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg (2013b): Städtebauliche Lärmfibel. Hinweis für die Bauleitplanung. Hg. v. Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg, zuletzt geprüft am 25.05.2018.

Montenbruck, Axel (2010): Zivilisation. Eine Rechtsanthropologie. Staat und Mensch, Gewalt und Recht, Kultur und Natur. 2. Aufl. Berlin.

Moussiopoulos, Nicolas; Oehler, Wolfgang; Zellner, Klaus (1993): Kraftfahrzeugemissionen und Ozonbildung. 2. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Murphy, Enda; King, Eoin A. (2012): Residential exposure to port noise: a case study of Dublin, Ireland. Online verfügbar unter [http://researchrepository.ucd.ie/bitstream/handle/10197/5732/Residential\\_exposure\\_to\\_port\\_noise.pdf?sequence=1](http://researchrepository.ucd.ie/bitstream/handle/10197/5732/Residential_exposure_to_port_noise.pdf?sequence=1), zuletzt geprüft am 25.05.2018.

Nicolai, Birger (2016): Die Hamburger Posse um das Sauber-Schiff. Hg. v. welt.de. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article154201712/Die-Hamburger-Posse-um-dasSauber-Schiff.html>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Niederrheinische Industrie- und Handelskammer (IHK) (Hg.) (2017): Ruhende Verkehre richtig steuern. Anforderungen, Chancen und Herausforderungen für moderne Logistikstandorte. Online verfügbar unter <https://www.ihk->

niederrhein.de/blob/duihk24/hauptnavigation/wirtschaftsstandort/downloads/4033636/ebc34aa1ca1beb3c71f7916e76a6b666/Studie\_Ruhende-Verkehre-data.pdf, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Nottenboom; Winkelsmann (Hg.) (2002): Titel Fehlt-----.

Pepels, Werner; Aretz, Wera (2008): Marktforschung. Organisation und praktische Anwendung. 2. Aufl.

Peschel, Ulrich; Reichart, Urs (2014): Lärmindernde Fahrbahnbeläge. Ein Überblick über den Stand Technik. Hg. v. Umwelt Bundesamt. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_20\\_2014\\_laermmindernde\\_fahrbahnbelaege\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_20_2014_laermmindernde_fahrbahnbelaege_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Peters, Heiko (2005): Gesamt- und regionalwirtschaftliche Beschäftigungswirkungen des öffentlichen Personennahverkehrs am Beispiel des Raums Köln. Theoretische Grundlagen und empirische Abschätzungen: Kölner Wirtschaftsverlag.

PLANCO Consulting GmbH (Hg.) (2014): Wasserstraßenkonzept Nordrhein-Westfalen - System Wasser. Vorläufiger Schlussbericht (V2). Essen. Online verfügbar unter [http://www.vm.nrw.de/verkehr/\\_pdf\\_container/Wasserstrassenverkehrskonzept-Nordrhein-Westfalen---Schlussbericht.pdf](http://www.vm.nrw.de/verkehr/_pdf_container/Wasserstrassenverkehrskonzept-Nordrhein-Westfalen---Schlussbericht.pdf), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Port of Rotterdam (2018): Straßentransport. Online verfügbar unter <https://www.portofrotterdam.com/de/verbindungen-logistik/modalitaeten/strassentransport>, zuletzt geprüft am 07.05.2018.

PresseBox (Hg.) (2017): Auf gute Nachbarschaft - geräuscharme Containerverladung durch Soft Landing. Online verfügbar unter <https://www.pressebox.de/pressemitteilung/lasegmbh/Auf-gute-Nachbarschaft-geraeuscharme-Containerverladung-durch-SoftLanding/boxid/841293>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

PTV Group (Hg.) (2013): Neu zur transport logistic: Synchronmodale Tourenplanung. Online verfügbar unter <http://newsroom.ptvgroup.com/de/pressemitteilungen/einzelansicht/news/neu-zur-transport-logistic-synchronmodale-tourenplanung-107/6929/>, zuletzt geprüft am 11.02.2019.

Renger, Franz (2018): Smart Data für mehr Bewegung in der Logistik. Hg. v. BigData Insider. Online verfügbar unter <https://www.bigdata-insider.de/smart-data-fuer-mehr-bewegung-in-der-logistik-a-680946/>, zuletzt geprüft am 11.12.2018.

Ried System Electronic GmbH (Hg.): Multifrequenz Rückfahrwarner. Online verfügbar unter [https://www.rueckfahrkameras.de/Rueckfahrwarner/MultifrequenzRueckfahrwarner:::135\\_136.html](https://www.rueckfahrkameras.de/Rueckfahrwarner/MultifrequenzRueckfahrwarner:::135_136.html), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Rinortner, Kristin (2011): Temperaturabhängige Lüfterdrehzahlen regeln. Hg. v. Elektronik Praxis. Online verfügbar unter

<https://www.elektronikpraxis.vogel.de/waermemanagement/articles/322674/>, zuletzt geprüft am 21.02.2019.

RP-Energie-Lexikon (2018a): Hybridantrieb. Online verfügbar unter <https://www.energielexikon.info/hybridantrieb.html>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

RP-Energie-Lexikon (2018b): Verbrennungsmotor. Online verfügbar unter <https://www.energielexikon.info/verbrennungsmotor.html>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Rühle, Jens (2007): Planungssysteme im Schienenpersonenverkehr. Rahmenbedingungen, Einflussfaktoren und Gestaltungsempfehlungen am Beispiel der DB Fernverkehr AG. Köln: Kölner Wirtschaftsverlag. Online verfügbar unter [https://books.google.de/books?id=-FzSzJWK0IEC&pg=PA33&dq=s+bahn+definition&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwiJobG-\\_IjgAhWkNOwKHeRXBWsQ6AEINTAC#v=onepage&q=s%20bahn%20definition&f=false](https://books.google.de/books?id=-FzSzJWK0IEC&pg=PA33&dq=s+bahn+definition&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwiJobG-_IjgAhWkNOwKHeRXBWsQ6AEINTAC#v=onepage&q=s%20bahn%20definition&f=false), zuletzt geprüft am 25.01.2019.

Rühlicke, Ingo (2007): ... die Dichtung ist schuld! Ausfall der Hydraulikzylinder-Dichtungen durch extern erzeugte Schwingungen. Hg. v. Hunger-Gruppe. Online verfügbar unter [https://www.hungerhydraulik.de/fileadmin/images/news/technical\\_dsitribution/o\\_p\\_Die\\_Dichtung\\_ist\\_Schuld\\_2007\\_klein\\_.pdf](https://www.hungerhydraulik.de/fileadmin/images/news/technical_dsitribution/o_p_Die_Dichtung_ist_Schuld_2007_klein_.pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Sauer, Uwe (2006): Akustische Grundlagen für die Anordnung Automatischer Warnsysteme (AWS). Hg. v. BahnPraxis. Online verfügbar unter [https://www.uv-bundbahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis\\_B/BahnPraxisB-2006\\_07\\_08.pdf](https://www.uv-bundbahn.de/fileadmin/Dokumente/Publikationen/BahnPraxis_B/BahnPraxisB-2006_07_08.pdf), zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Schaumstoffe Helgers GmbH (Hg.): Akustische Maßnahmen - einfach erklärt. Online verfügbar unter <https://www.aixfoam.de/info/de/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Schaumstofflager (Hg.): Schalldämmung vom Kompressor - so wirds gemacht. Online verfügbar unter <https://www.schaumstofflager.de/cms/kompressor.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Schawel, Christian; Billing, Fabian (Hg.): Top 100 Management Tools. 4. Aufl.: Springer Gabler. Online verfügbar unter [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8349-4105-3\\_57](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-8349-4105-3_57), zuletzt geprüft am 15.08.2018.

Scheffler, Martin; Feyrer, Klaus; Matthias, Karl (1998): Fördermaschinen, Hebezeuge, Aufzüge, Flurförderzeuge: Vieweg+Teubner Verlag.

Scheuvens, Rudolf; Schumacher, Heidi; Papoutsoglou, Maria; Figgenger, Thomas (2011): Räumliches Strukturkonzept. Neuss 2025+. Hg. v. Stadt Neuss. Der Bürgermeister. Amt für Stadtplanung. Neuss Dortmund.

Schienenklemmung LinClamp SK (Hg.) (2017): Lineartechnik. Online verfügbar unter [https://www.handling.de/\\_fileNotFound\\_true\\_.htm?id=25013](https://www.handling.de/_fileNotFound_true_.htm?id=25013), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

## 11 Literaturverzeichnis

Schmalenberg, Detlef (2013): Lärmbelästigung. Auflagen gegen den Partyschiff-Lärm. Hg. v. Kölner Stadt-Anzeiger. Online verfügbar unter <https://www.ksta.de/koeln/laermbelaestigung-auflagen-gegen-den-partyschiff-laerm-3972740>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Schneider, Gerd; Toyka-Seid, Christiane (2017): Stadtrat.

Schüller, Daniel; Töppner, Ralf (2007): Anpassung eines Leitstandes für autonome Fahrzeuge an die Rollende Landstraße. Universität Koblenz-Landau, Koblenz-Landau. Institut für Softwaretechnik. Online verfügbar unter [https://hbz.opus.hbz-nrw.de/opus45-kola/frontdoor/deliver/index/docId/86/file/Diplomarbeit\\_Schueller\\_Toepfner.pdf](https://hbz.opus.hbz-nrw.de/opus45-kola/frontdoor/deliver/index/docId/86/file/Diplomarbeit_Schueller_Toepfner.pdf), zuletzt geprüft am 21.02.2019.

Schulte, Christof (2016): Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. 7. Aufl. München: Verlag Franz Vahlen.

Schwemmer, Martin (2016): TOP 100 der Logistik. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer. Eine Studie der Fraunhofer Arbeitsgruppe für Supply Chain Services SCS. Hg. v. Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services.

Schwimmkran HHLA | Karl Friedrich Steen (Hg.): Krantechnik. Die Technik die den Kran zum Kran macht. Online verfügbar unter <http://www.schwimmkran-kfs.de/schwimmkran-kfs/Kran.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Sea Air Transport: Was bedeutet der Begriff "LCL"? Online verfügbar unter <https://www.sats-logistics.com/glossar/lcl/>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Spektrum (Hg.) (1998): Scherung. Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/scherung/12860>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Spektrum (Hg.) (2000): Siebanlage. Spektrum Akademischer Verlag. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/siebanlage/14924>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Spiekermann (2008).

Stadt Duisburg. Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement (Hg.) (2016): Flächennutzungsplan Vorentwurf 2016. Begründung zur frühzeitigen Beteiligung der Öffentlichkeit.

Stadt Duisburg. Amt für Stadtentwicklung und Projektmanagement; Projekt Duisburg2027 (Hg.) (2014): Teilräumliche Strategiekonzepte (TSK). Anlage C Textliche Erläuterung zu den räumlichen Zielen.

Stadt Karlsruhe. Amt für Stadtentwicklung (Hg.) (2012): Karlsruhe 2020: Integriertes Stadtentwicklungskonzept.

Stadt Mannheim. Dezernat für Planung, Bauen, Umweltschutz und Stadtentwicklung (Hg.) (2008): Blau\_Mannheim\_Blau. Eine Entwicklungskonzeption für die Freiräume am Rhein und Neckar.

Stadt Recklinghausen (2017): Bauordnung. Online verfügbar unter [https://www.recklinghausen.de/Inhalte/Startseite/Leben\\_Wohnen/Bauen/Bauordnung/index.asp](https://www.recklinghausen.de/Inhalte/Startseite/Leben_Wohnen/Bauen/Bauordnung/index.asp), zuletzt geprüft am 27.06.2017.

Stallmann, Martin (2010): Wie funktioniert eigentlich ... Flüsterasphalt. Hg. v. ADAC Motorwelt. Online verfügbar unter [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/27419\\_113100.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/27419_113100.pdf), zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Staufen Bauakademie Schulungszentrum (Hg.): Schulung für Gabelstapler / Flurförderfahrzeuge. Online verfügbar unter <https://www.staufen-bauakademie.de/de/schulungen/gabelstapler-flurfoerderfahrzeuge.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

STH-Systeme (2016): Logistik 4.0 - Track & Trace. Online verfügbar unter <https://www.sth-systeme.com/logistik-4-0-digitalisierung-ihrer-logistikprozesse/>, zuletzt geprüft am 16.05.2018.

Straßen.NRW (2018): Startseite. Online verfügbar unter <https://www.strassen.nrw.de/de/>, zuletzt geprüft am 04.06.2018.

SWIFTLY Green (2015): Greening of port operations. BEST PRACTICE GUIDE. Online verfügbar unter [https://www.swiftlygreen.eu/sites/default/files/content/PDF/SwiftlyGreen/swiftly\\_green\\_report\\_-\\_greening\\_of\\_port\\_operations.pdf](https://www.swiftlygreen.eu/sites/default/files/content/PDF/SwiftlyGreen/swiftly_green_report_-_greening_of_port_operations.pdf), zuletzt geprüft am 06.06.2018.

TechnoCompound (Hg.) (2003): Produktpräsentation Schwercompound Magnetit und Bariumsulfat. Online verfügbar unter [http://inex.ma.yourweb.de/uploads/media/Produktpraesentation\\_Schwercompounds.pdf](http://inex.ma.yourweb.de/uploads/media/Produktpraesentation_Schwercompounds.pdf).

TfK Transport and Research Institute (2013): Noise as an environmental challenge for ports. Online verfügbar unter [http://projects.centralbaltic.eu/images/files/result\\_pdf/PENTA\\_result4\\_noise.pdf](http://projects.centralbaltic.eu/images/files/result_pdf/PENTA_result4_noise.pdf).

Transport Research & Innovation Portal (2017a): Noise Management in European Ports. Online verfügbar unter <https://trimis.ec.europa.eu/project/noise-management-european-ports>, zuletzt geprüft am 14.07.2017.

Transport Research & Innovation Portal (2017b): PENTA. Pentathlon - Ports of Stockholm, Helsinki, Tallinn, Turku and Naantali - together. Online verfügbar unter <https://trimis.ec.europa.eu/project/pentathlon-%e2%80%93ports-stockholm-helsinki-tallinn-turku-and-naantali-%e2%80%93together>, zuletzt geprüft am 14.07.2017.

Transway: Informationen zu FCL (Full Container Load). Online verfügbar unter <http://www.spedition-seefracht.de/service/lexikon/informationen-zu-fcl-full-container-load/>, zuletzt geprüft am 13.08.2018.

Transway (Hg.): Schwergut. Jeder Transport muss individuell geplant werden. Online verfügbar unter <http://www.spedition-seefracht.de/service/lexikon/informationen-zu-schwergut/>, zuletzt geprüft am 25.01.2019.

TU Harburg (2011), S. 4.

TÜV Süd (Hg.): Ausbildung für Gabelstapler. Online verfügbar unter <https://www.tuev-sued.de/akademie-de/seminare-technik/gabelstapler-hubarbeitsbuehnen/ausbildung-fuer-gabelstaplerfahrer/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

TÜV Süd (Hg.) (2018): Weiterbildungen nach Berufskraftfahrer-Qualifikationsgesetz (BKrFQG). Berufskraftfahrer (BKrFQG). Online verfügbar unter <https://www.tuev-sued.de/akademie-de/seminare-technik/eu-berufskraftfahrer-richtlinie>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Umwelt Bundesamt (Hg.) (2013): Messegrößen und Pegel. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/messegroessen-pegel>, zuletzt geprüft am 21.02.2019.

Umwelt Bundesamt (Hg.) (2016): Verkehrslärm. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm#textpart-5>, zuletzt geprüft am 16.01.2019.

Umwelt Bundesamt (Hg.) (2017): Straßenverkehrslärm. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/verkehrslaerm/strassenverkehrslaerm#textpart-1>, zuletzt geprüft am 12.06.2017.

Umweltbundesamt (2008).

Umweltbundesamt (2017): Umgebungslärmrichtlinie. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/umgebungslaermrichtlinie>, zuletzt geprüft am 06.06.2018.

Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt (Hg.) (2013): Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position\\_kurzfristig\\_kaum\\_laermminderung\\_im\\_verkehr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/position_kurzfristig_kaum_laermminderung_im_verkehr.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Universität Duisburg-Essen (Hg.): LeanDeR - LNG. Online verfügbar unter <https://www.uni-due.de/mechatronik/forschung/leanderlng>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Universität Trier (2008): Der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit. Unter Mitarbeit von Bärbel Junk. Online verfügbar unter [https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb5/prof/OEF004/WS\\_08\\_09\\_Junk/Verhaeltnismaessigkeitsgrundsatz.pdf](https://www.uni-trier.de/fileadmin/fb5/prof/OEF004/WS_08_09_Junk/Verhaeltnismaessigkeitsgrundsatz.pdf), zuletzt geprüft am 11.06.2018.

van Breemen, Ton (2008): Good Practice Guide on Port Area Mapping and Management. Online verfügbar unter [https://www.ecoport.com/assets/files/common/publications/good\\_practice\\_guide.pdf](https://www.ecoport.com/assets/files/common/publications/good_practice_guide.pdf), zuletzt geprüft am 23.05.2018.



VDI / VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (Hg.) (2013): Cyber-Physical Systems. Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme\\_Cyber-Physical\\_Systems.pdf](https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hg.) (2008): Handbuch Logistik. Unter Mitarbeit von Dieter Arnold, Axel Kuhn, Kai Furmans, Heinz Isermann und Horst Tempelmeier. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

Verband der Internationalen Kraftfahrzeughersteller e.V. (2018): Alternative Antriebe. Online verfügbar unter <http://www.vdik.de/arbeitsgebiete/verkehrspolitik/alternative-antriebe.html>, zuletzt geprüft am 16.05.2018.

Verein Deutscher Ingenieure (2002): VDI 4400 Blatt 3. Logistikkennzahlen für die Distribution. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/9257382.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/9257382.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2018.

Verkehrsclub Deutschland (VCD) e.V. (Hg.) (2002): Lärm durch Schienenverkehr. Unter Mitarbeit von Dr.-Ing. Markus Hecht. Berlin. Online verfügbar unter [https://bildungsservice.vcd.org/fileadmin/user\\_upload/redakteure/themen/gesundheits/verkehrslarm/Doku22102002.pdf](https://bildungsservice.vcd.org/fileadmin/user_upload/redakteure/themen/gesundheits/verkehrslarm/Doku22102002.pdf), zuletzt geprüft am 23.08.2017.

Via-Bremen (Hg.): Immer größer = immer besser? Online verfügbar unter <http://www.via-bremen.com/immer-groesser-immer-besser-effekte-der-mega-container-carrier-fuer-seehaefen-und-hinterland/>.

Voss, Thomas; Hartmann, Jens (2018): Optimierung des Gießprozesses durch Einsatz einer vollautomatischen Pfannengießmaschine. Hg. v. Prozesswärme. Online verfügbar unter [https://www.prozesswaerme.net/fileadmin/Prozesswaerme/Dateien\\_Redaktion/Ausgewaehlte\\_Beit-raege/PW\\_2018\\_01\\_FB\\_Voss.pdf](https://www.prozesswaerme.net/fileadmin/Prozesswaerme/Dateien_Redaktion/Ausgewaehlte_Beit-raege/PW_2018_01_FB_Voss.pdf), zuletzt geprüft am 28.11.2018.

Wahba, Rachel (2011): Pre-Gate: Mit langem Anlauf in den Hafen. Hg. v. Hamburger Abendblatt. Online verfügbar unter <https://www.abendblatt.de/hamburg/harburg/article108064853/Pre-Gate-Mit-langem-Anlauf-in-den-Hafen.html>, zuletzt geprüft am 07.01.2019.

Walter, Fabian (2015): Informationsaustausch in der maritimen Transportkette. Untersuchung der Prozessleistung im Datenfluss und der Kapazitätsauslastung. Wiesbaden Germany: Springer Gabler. Online verfügbar unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=994094>.

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (2014): Gliederung Bundeswasserstraßen.

Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hg.) (2017): Wasserstraße. Online verfügbar unter <https://www.wsv.de/wasserstrassen/index.html>, zuletzt geprüft am 29.11.2018.



Werner Wagner GmbH (Hg.) (2017): Kühlcontainer. Online verfügbar unter <https://www.wernerwagner.com/produkte/kuehlcontainer/tiefkuehlcontainer.html>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Wiener Stadtwerke (2017): Smart City - Begriff, Charakteristika und Beispiele. Online verfügbar unter [http://www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/fileadmin/user\\_upload/downloadbereich/WSTW2011\\_Smart\\_City-Begriff\\_Charakteristika\\_und\\_Beispiele.pdf](http://www.nachhaltigkeit.wienerstadtwerke.at/fileadmin/user_upload/downloadbereich/WSTW2011_Smart_City-Begriff_Charakteristika_und_Beispiele.pdf), zuletzt geprüft am 09.10.2017.

Willems, Wolfgang M.; Schild, Kai; Stricker, Diana (Hg.) (2016): Formeln und Tabellen Bauphysik. Wärmeschutz - Feuchtschutz - Klima - Akustik - Brandschutz. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

Wirtschaftsförderung Dortmund (2017): Startseite. Online verfügbar unter <http://wirtschaftsfoerderung-dortmund.de/startseite/>, zuletzt geprüft am 27.06.2017.

Wirtz, Michael (2017): Effiziente und stadtverträgliche Maßnahmen zur Lärmreduzierung in logistischen Knoten im Binnenland (Duisburger Hafen). Hg. v. Peutz GmbH. Online verfügbar unter [https://www.peutz.de/sites/peutz.de/files/publicaties/20170626\\_DAGA17\\_Wirtz\\_Duisburger%20Hafen.pdf](https://www.peutz.de/sites/peutz.de/files/publicaties/20170626_DAGA17_Wirtz_Duisburger%20Hafen.pdf), zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Wolf Bavaria (Hg.): Grundlagen der Schalldämpfung. Online verfügbar unter <https://www.wolf-bavaria.com/produktübersicht-1/grundlagen-zur-schalldämmung/>, zuletzt geprüft am 14.01.2019.

Wurster, R.; Weindorf, W.; Zittel, W.; Schmidt, P.; Heidt, C.; Lambrecht, U. et al. (2014): LNG als Alternativkraftstoff für den Antrieb von Schiffen und schweren Nutzfahrzeugen - Aktualisierung auf Verkehrsprognose 2030. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. München/Ottobrunn, Heidelberg, Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-kurzstudie-lng.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/MKS/mks-kurzstudie-lng.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 27.11.2018.

Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) (Hg.): LOHC Mobil. Flüssige organische Wasserstoffträger für Anwendungen in Schiff und Bahn. Online verfügbar unter <http://lohcmobil.com/>, zuletzt geprüft am 08.01.2019.

Zimmer group (Hg.) (2018): Lineartechnik. Online verfügbar unter <http://www.zimmergroup.de/de/mainmenu/megamenu/col2/lineartechnik/klemm--und-bremselemente>, zuletzt geprüft am 28.11.2018.