



Gutachten

„Emissionsreduzierung bei mobilen Maschinen als Beitrag zur Luftreinhaltung in Hamburg“

Auftraggeber: Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Umwelt und Energie
Amt für Immissionsschutz und Betriebe
Neuenfelder Straße 19
21109 Hamburg

Projektnummer: LK 2017.123

Stand: 28.03.2018

Projektleitung: [REDACTED]

Projektleitung (stellv.): [REDACTED]



LÄRMKONTOR GmbH • Altonaer Poststraße 13 b • 22767 Hamburg
Bekannt gegebene Stelle nach § 29b BImSchG - Prüfbereich Gruppe V - Ermittlung von Geräuschen
Messstellenleiter Bernd Kögel • AG Hamburg HRB 51 885
Geschäftsführer: Christian Popp (Vorsitz) / Ulrike Krüger (kfm.) / Bernd Kögel (techn.)
Telefon: 0 40 - 38 99 94.0 • Telefax: 0 40 - 38 99 94.44
E-Mail: Hamburg@laermkontor.de • <http://www.laermkontor.de>

Inhaltsübersicht

1	Einleitung	5
2	Methodik und Grundlagen	7
2.1	Methodik in nationalen Bilanzierungen	7
2.2	Gewählte Methodik zur Bilanzierung	8
2.2.1	Bauwirtschaft.....	8
2.2.2	Städtische Betriebe.....	9
2.3	Emissionsgrenzwerte.....	10
2.4	Emissionsbestimmende Faktoren.....	12
2.4.1	Emissionsfaktoren.....	12
2.4.2	Lastfaktoren	12
2.4.3	Weitere Faktoren.....	14
3	Bauwirtschaft	15
3.1	Datenerhebung Bautätigkeit	16
3.1.1	Ziele	16
3.1.2	Hochbau.....	17
3.1.3	Tief- und Ingenieurbau	17
3.1.4	Zusammenfassung.....	28
3.2	Datengrundlage Arbeitsabläufe, Mengen und Maschineneinsatz.....	30
3.2.1	Ziele und Methodik.....	30
3.2.2	Bauverfahren und Arbeitsschritte	31
3.2.3	Mengenangaben	32
3.2.4	Maschineneinsatz	33
3.2.5	Auswertungen zu Aufgrabezeiträumen	34
3.2.6	Zusammenfassung.....	34
3.3	Datenerhebung Flottenzusammensetzung	36
3.3.1	Ziele und Quellen.....	36
3.3.2	Relevanz der Maschinentypen	37
3.3.3	Datenabfrage bei Unternehmen	38
3.3.4	Zusammenfassung.....	47

3.4	Berechnungen und Ergebnisse.....	48
3.4.1	Berechnungsverfahren.....	48
3.4.2	Zwischenergebnisse	49
3.4.3	Ergebnisse	51
3.4.4	Fehlerbetrachtung.....	53
3.4.5	Bewertung der Ergebnisse.....	55
4	Städtische Maschinen.....	56
4.1	Bestand an Fahrzeugen und Kategorisierung.....	56
4.2	Berechnungen	58
4.3	Ergebnisse.....	59
4.4	Bewertung der Ergebnisse.....	59
5	Emissionsminderung.....	61
5.1	Grundlagen.....	61
5.2	Erstabschätzung	62
5.2.1	Einsatz alternativer Antriebstechnologien oder Kraftstoffe	62
5.2.2	Erneuerung des Maschinenparks (Bauwirtschaft).....	63
5.2.3	Nachrüstungen des Maschinenparks (Filter).....	64
5.3	Minderungsszenarien Bauwirtschaft.....	65
5.3.1	Prognose Flottenerneuerung.....	65
5.3.2	Beschränkung des Einsatzes bei öffentlichen Vergaben	66
5.3.3	Bewertung der Maßnahmen.....	67
5.4	Minderungsszenarien städtische Maschinen	68
5.4.1	Prognose 2025.....	68
5.4.2	Umweltgerechte Beschaffung	68
5.4.3	Partikelfilter	68
5.4.4	Bewertung der Maßnahmen.....	69
6	Zusammenfassung.....	70
6.1	Bauwirtschaft	70
6.2	Städtische Maschinen.....	71
6.3	Fazit	71

Anlage A: Emissionsfaktoren.....	72
Unterschiede TREMOD-MM und EMPA-Datenbank.....	72
Verwendete Emissionsfaktoren für die Bauwirtschaft	74
Anlage B: Relevanzanalyse zu Maschinentypen der Bauwirtschaft.....	75
Bestandsdaten	75
Anwenderbranchen	76
Anlage C: Berechnungsgrundlagen	78
Arbeitsschritte zu einzelnen Bautätigkeiten.....	78
Hochbau	78
Straßentiefbau	79
Straßentiefbau (A7-Baustellen).....	81
Kanal- und Leitungstiefbau	82
Großbaustellen	83
Ingenieurbauwerke, Gleisbau	84
Maschinentypen mit Gesamteinsatzzeit.....	85
Emissionsfaktoren nach Maschinentyp und Leistungsklasse.....	86
Anlage D: Auswertung Maschinenalter	87
Quellenverzeichnis.....	90

1 Einleitung

Die wichtige Aufgabe der Luftreinhaltung wird in Hamburg durch die Festlegungen des Luftreinhalteplanes sichergestellt. Darin enthalten sind Berechnungen zum jährlichen Schadstoffausstoß auf Hamburger Stadtgebiet sowie die Differenzierung der emittierten Schadstoffmengen nach den jeweiligen Verursachern. Die zweite Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Freie und Hansestadt Hamburg [1] nennt hier unter anderem vielfältige Quellen für die Emissionen von schädlichen Stickoxiden (NO_x). So sind laut Luftreinhalteplan im Hamburger Stadtgebiet vor allem der Verkehr (Straße, Schiene, Schiff), die Industrie sowie Hausbrand und Kleingewerbe die Hauptverursacher für Stickoxidemissionen. Darüber hinaus verursachen aber auch mobile Maschinen einen nicht unerheblichen Teil von Stickoxidemissionen im Hamburger Stadtgebiet.

Das vorliegende Gutachten „Emissionsreduzierung bei mobilen Maschinen als Beitrag zur Luftreinhaltung in Hamburg“ ermittelt, berechnet und bewertet den Emissionsbeitrag von mobilen Maschinen in der Freien und Hansestadt Hamburg hinsichtlich Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM).

Mobile Maschinen sind transportable Ausrüstungen oder Fahrzeuge mit oder ohne Aufbau oder Räder, die nicht zur Beförderung von Personen oder Gütern auf der Straße bestimmt sind. Das sind branchenabhängig u.a. Baumaschinen wie Bagger, Radlader, Walzen, Fertiger, Rüttelplatten aber auch Kleingeräte wie Vibrationsstampfer oder Fugenschneider. Darüber hinaus umfassen mobile Maschinen auch Gabelstapler, Häcksler, Rasenmäher, Laubbläser und weitere Geräte.

Das vorliegende Gutachten „Emissionsreduzierung bei mobilen Maschinen als Beitrag zur Luftreinhaltung in Hamburg“ legte den Fokus auf die Ermittlung des Beitrags an luftgetragenen Schadstoffen von mobilen Maschinen aus den Sektoren

- Bauwirtschaft
- Hafenwirtschaft
- Hafenerne Schiffsverkehre
- Innerstädtische Schiffsverkehre

in der Freien und Hansestadt Hamburg.

Mit zunehmender Datenerhebung zeigte sich, dass für die Sektoren Hafenwirtschaft sowie innerstädtische und hafenerne Schiffsverkehre die zur Verfügung stehende Datenbasis größtenteils mit den im Rahmen der Fortschreibung des Luftreinhalteplanes erhobenen Daten identisch ist oder sich nur unwesentlich von diesen unterscheiden wird. Folglich konzentriert sich die Emissionsdatenerhebung im vorliegenden Gutachten auf die Sektoren:

- Bauwirtschaft
- Öffentlicher Sektor (städtische Betriebe)
- Garten- und Landschaftsbau

Zum Garten- und Landschaftsbau konnte aufgrund geringer Rückläufe bei der Datenerhebung keine ausreichende Datenbasis geschaffen werden. Auf eine Berechnung dieses Sektors wurde daher verzichtet.

Bisherige Berechnungen zu den Luftschadstoffemissionen mobiler Maschinen basieren auf einer Hochrechnung aus den deutschlandweit modellierten Daten im Rahmen des Modells TREMOD-MM [2]. Für den Sektor Bauwirtschaft wurde für den Luftreinhalteplan eine Ableitung anhand der Arbeitsstunden gewählt [3]. Auf Hamburg entfällt nach dieser Abschätzung rund 1 % der bundesweiten Emissionen. Insgesamt werden für mobile Maschinen NO_x -Emissionen von 585 t jährlich (Bezugsjahr 2014) ausgewiesen [1]. Die Bauwirtschaft wurde dabei als dominierend ermittelt.

Im vorliegenden Gutachten wurden die Schadstoffemissionen für mobile Maschinen basierend auf für Hamburg erhobenen Daten hinsichtlich Bestand und Betriebsstunden detailliert ermittelt. Eine reine Ableitung aus bundesweiten Statistiken, die ggf. nur für Gesamtdeutschland verfügbar sind, kann aus gutachterlicher Sicht eine deutliche Abweichung von den tatsächlichen Gegebenheiten bedeuten. Für eine Untersuchung von Emissionsminderungsmaßnahmen im Hamburger Stadtgebiet ist zudem eine detaillierte Verursacheranalyse hilfreich.

Das vorliegende Gutachten beschreibt die Datenerhebung sowie die Datenauswertung und liefert Ergebnisse inklusive der Berechnung der Gesamtemissionen für Stickoxide (NO_x). Abweichend vom Luftreinhalteplan erfolgt zudem eine Berechnung der Emissionen von Feinstaubpartikeln (PM), die durch mobile Maschinen im Hamburger Stadtgebiet verursacht werden. Die Ergebnisse werden bewertet und mögliche Reduktionen durch Emissionsminderungsmaßnahmen berechnet. Abschließend erfolgt eine Bewertung der Emissionsminderungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Effektivität und Wirtschaftlichkeit.

2 Methodik und Grundlagen

2.1 Methodik in nationalen Bilanzierungen

Zur Bilanzierung der Emissionen mobiler Maschinen und Geräte kommt in Deutschland in der Regel das Modell TREMOD-MM (u.a. in einer Studie für das UBA [2]) zum Einsatz. Dieses wurde unter anderem im Rahmen mehrerer Vorhaben des Umweltbundesamtes eingesetzt (z.B. UFOPLAN-Nr. 299 45 113 und 360 16 018). In TREMOD-MM werden die Abgas-Emissionen nach einer „Bestandsmethode“ berechnet.

In der Schweiz besteht ein vergleichbares Modell, das als „Non-Road-Datenbank“ der schweizerischen „Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt“ (EMPA) veröffentlicht wurde [4], [5]. Auch hier werden die Emissionen jedes Sektors nach der Bestandsmethode ermittelt. Es werden sowohl Auswertungen bezogen auf die Schweiz als auch alle Eingangsdaten als Datenbank zur Verfügung gestellt.

Die in beiden Modellen verwendete Bestandsmethode („Bottom-Up-Methode“) basiert in erster Linie auf dem Gesamtbestand mobiler Maschinen. Es werden unterschiedliche Maschinensegmente definiert, die sich hinsichtlich des Sektors (Bauwirtschaft, Landwirtschaft, Militär etc.), der Maschinenkategorie (Mobilbagger, Radlader, Traktor etc.), der Leistungs- und Altersklasse sowie des Emissionsstandards und der Kraftstoffart unterscheiden.

Sowohl beim Modell TREMOD-MM als auch im Modell der EMPA-Datenbank wird der Bestand an Maschinen eines Segmentes aus statistischen Daten sowie der Zu- und Abgänge in Relation zur Lebensdauer der Maschinen abgeleitet. Für das deutsche Modell TREMOD-MM stehen dabei als Datenbasis die statistischen Jahrbücher bis 1996 zur Verfügung.

Für jedes Maschinensegment werden über die Zusammensetzung der Emissionsstandards, des Alters sowie der Leistung mittlere Emissionsfaktoren gebildet. Um die Emissionen zu berechnen, sind neben dem Bestand der Maschinen noch die jährlichen Betriebsstunden sowie Korrekturfaktoren (Lastfaktor, siehe Kapitel 2.4.2) notwendig.

Die jährlichen Emissionen mobiler Maschinen ergeben sich somit aus der Summe aller Maschinensegmente. Die Emissionen eines Segmentes ergeben sich aus dem Produkt des Emissionsfaktors, der Anzahl der Maschinen sowie der jährlichen Betriebsstunden pro Maschine.

2.2 Gewählte Methodik zur Bilanzierung

Ziel des vorliegenden Gutachtens war die Ermittlung der im Stadtgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg von mobilen Maschinen emittierten Luftschadstoffe Stickoxide (NO_x) und Feinstaub (PM). Wesentliche Grundlage einer Berechnung der Emissionen bildet die Anzahl der Einsatzstunden der verschiedenen Maschinensegmente innerhalb des Hamburger Stadtgebietes. Diese wurden in den Bestandsmodellen aus der Anzahl der Maschinen sowie der jährlichen Betriebsstunden pro Gerät ermittelt.

Die Ermittlung des Fahrzeugbestandes für einzelne Maschinensegmente ist bereits deutschlandweit mit Unsicherheiten belegt. Absatzstatistiken liegen zudem nur deutschlandweit vor. Allein aus statischen Daten lässt sich der Bestand an mobilen Maschinen in der Freien und Hansestadt Hamburg somit aus gutachterlicher Sicht nicht sicher für alle Sektoren ermitteln.

Für die Bauwirtschaft ist zu beachten, dass neben den in Hamburg ansässigen Firmen auch Firmen aus dem Hamburger Umland in der Freien und Hansestadt tätig sind. Selbst für Firmen, die im Hamburger Stadtgebiet ansässig sind, war der Standort der Baumaschinen nicht präzise zuzuordnen: bei Bedarf werden Maschinen zwischen verschiedenen Niederlassungen der Bauunternehmen bewegt, zudem sind in Hamburg eine Vielzahl von Baumaschinenverleihern ansässig, die auch in das Hamburger Umland vermieten. Eine Inventarisierung des Fahrzeugbestandes hinsichtlich Anzahl und Einsatzstunden über eine Erhebung der Baufirmen war nach gutachterlicher Einschätzung somit nur unzureichend zu erstellen.

Aufgrund der genannten Besonderheiten bei der Ermittlung der emissionsrelevanten Gesamtbetriebsstunden allein für das Stadtgebiet der Freien und Hansestadt Hamburg wurden daher für die zu betrachtenden Sektoren unterschiedliche Ansätze gewählt, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

2.2.1 Bauwirtschaft

Für die Bauwirtschaft wurden typische emissionsrelevante Tätigkeiten im Rahmen der betrachteten Baustellensituationen modelliert. Hierauf wird in Kapitel 3.2 detaillierter eingegangen. Zusammen mit den jährlichen Häufigkeiten der unterschiedlichen Baustellensituationen (Kapitel 3.1) wurden die jährlichen Betriebsstunden einzelner Maschinensegmente (klassifiziert nach Typ und Leistung) ermittelt.

Die Datenbasis zur Berechnung der Emissionsfaktoren der Segmente wurde im Rahmen einer Befragung von Bauunternehmen ermittelt: Es wurde der Bestand an Baumaschinen hinsichtlich der Zusammensetzung von Maschinenleistung sowie Abgasstufen erhoben. Diese Methodik folgt einem Vorschlag der Hochschule Kempten [6]. Das Vorgehen sowie die Ergebnisse sind in Kapitel 3.2 beschrieben.

Vergleiche aus TREMOD-MM [2] zum Kraftstoffverbrauch der einzelnen Sektoren zeigen, dass der Benzinverbrauch mit unter 0,025 Megatonnen pro Jahr gegenüber dem

Dieserverbrauch mit rund 1,5 Megatonnen pro Jahr deutlich untergeordnet ist. Im Rahmen der Datenerhebung zur Flottenzusammensetzung (Kapitel 3.3) gingen zudem wenige Meldungen zu benzinbetriebenen Geräten ein. Diese betrafen einzig kleinere Handgeräte sowie kleinere Rüttelplatten. In den Berechnungen der Bauwirtschaft wird daher davon ausgegangen, dass sämtliche Maschinen dieselbetrieben sind.

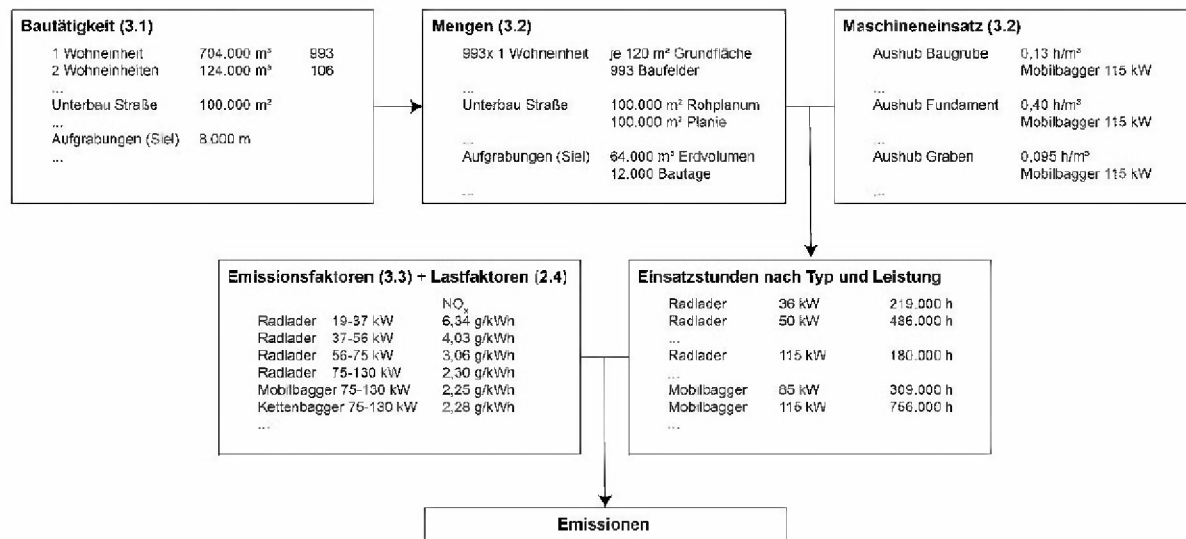


Abbildung 1: Konzept zur Datenerhebung und Berechnung in der Bauwirtschaft

2.2.2 Städtische Betriebe

Für die städtischen Betriebe stand eine Bestandserhebung der mobilen Maschinen mit Abschätzungen zu den Einsatzstunden zur Verfügung, die vom Auftraggeber übersendet wurde [7]. Diese nicht einheitlich strukturierte Datenbasis wurde zur Verwendung in den Berechnungen in eine numerisch verwertbare Form gebracht und vereinheitlicht. Die Geräte wurden in Anlehnung an die Schweizer Non-Road-Datenbank [4] klassifiziert und ggf. um jährliche Betriebsstunden ergänzt. Zusammen mit Emissions- und Lastfaktoren für die einzelnen Geräteklassen wurden die Daten zur Ermittlung der Emissionen herangezogen.

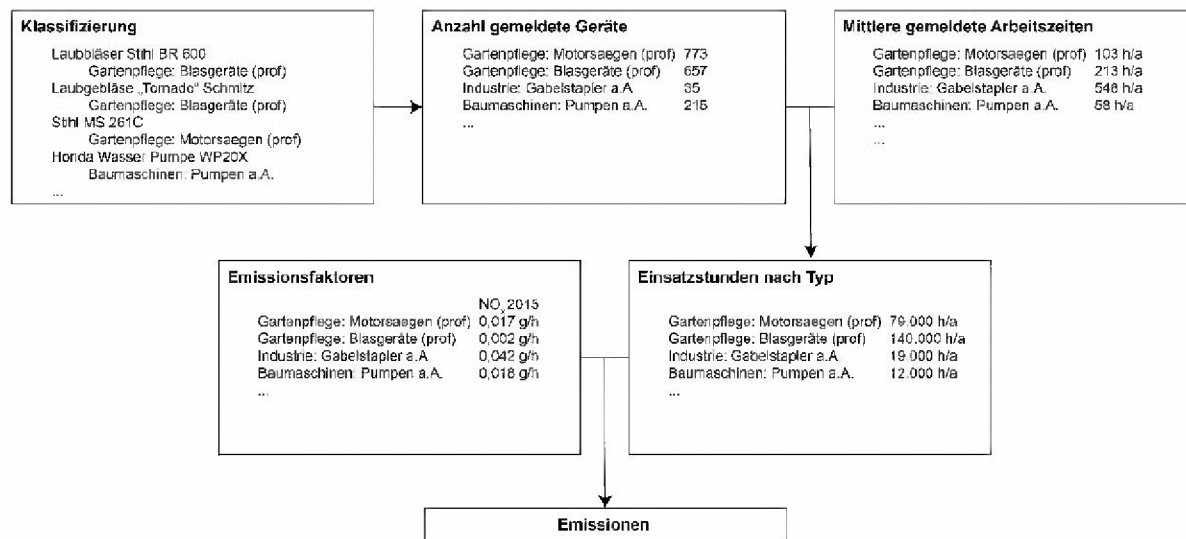


Abbildung 2: Konzept zur Datenerhebung und Berechnung für städtische Maschinen

2.3 Emissionsgrenzwerte

Mit der EU-Richtlinie 97/68/EG [8] wurden erstmals Emissionsgrenzwerte für Motoren mobiler Maschinen innerhalb der EU verbindlich festgelegt. Dabei erfolgte die Einführung der Abgasstufe I zum Stichtag 01. Januar 1999 für das Inverkehrbringen von mobilen Maschinen mit einer Leistung >37 kW und <560 kW. Von der Regulierung ausgenommen waren bei Einführung der Stufe I noch alle Geräte mit einer Leistung <37 kW. Erst ab der Stufe II erfolgte auch die Festsetzung von Emissionsgrenzwerten bei mobilen Maschinen der Leistungsklasse 18-37 kW (ab Stufe IIIA 19-37 kW). Ab 2004 wurden die Abgasgrenzwerte z.T. weiter verschärft und die Abgasstufen IIIA, IIIB und/oder IV in Abhängigkeit der jeweiligen Motorleistung und des Baujahres für mobile Maschinen festgesetzt (vgl. Abbildung 3). Gemäß der Richtlinie 97/68/EG blieben die Emissionen mobiler Maschinen der Leistungsklasse <19 kW und >560 allerdings unregelt.

Mit der Verabschiedung der Verordnung (EU) 2016/1628 [9] des Europäischen Parlaments und des Rates wurde die bisher heranzuziehende Richtlinie 97/68/EG zum 1. Januar 2017 aufgehoben und die Verordnung (EU) 2016/1628 trat in Kraft. Letztere beinhaltet die Ausweitung der Emissionsgrenzwerte auch auf Motoren der Leistungsklassen <19 kW und >560 kW. Gemäß der Verordnung müssen alle mobilen Geräte, die zum Stichtag 1. Januar 2019 in Verkehr gebracht werden, die strengen Emissionsgrenzwerte der Stufe V einhalten. Für die Erteilung der Typgenehmigung gilt, wie bereits bei allen vorangegangenen Abgasstufen auch, die Abgasstufe V bereits ein Jahr früher.

Leistung		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
		0-8 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung																Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)
8-19 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung																	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)
19-37 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung	Stufe II (01.01.2000)	Stufe II (01.01.2001)	Stufe IIIA (01.01.2006)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2008)	Stufe IIIB (01.01.2012)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	
37-56 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung	Stufe II (01.01.2003)	Stufe II (01.01.2004)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2008)	Stufe IIIB (01.01.2011)	Stufe IIIB (01.01.2012)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	
56-75 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung	Stufe II (01.01.2003)	Stufe II (01.01.2004)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2008)	Stufe IIIB (01.01.2011)	Stufe IIIB (01.01.2012)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	
75-130 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung	Stufe II (01.01.2002)	Stufe II (01.01.2003)	Stufe IIIA (01.01.2006)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIB (01.01.2011)	Stufe IIIB (01.01.2012)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	
130-560 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung	Stufe II (2001)	Stufe IIIA (01.01.2005)	Stufe IIIA (01.01.2006)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIA (01.01.2007)	Stufe IIIB (01.01.2011)	Stufe IIIB (01.01.2012)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe IIIB (01.01.2013)	Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	
>560 kW	Typgenehmigung Inverkehrbringung																Stufe V (01.01.2018)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2019)	Stufe V (01.01.2020)	

Abbildung 3: Einführungsdaten der EU-Abgasstufen für mobile Maschinen (Stichtag). Abgasstufen farblich gekennzeichnet und getrennt aufgetragen nach Einführungsdatum für Typgenehmigung und Inverkehrbringung.

2.4 Emissionsbestimmende Faktoren

Für die Ermittlung der Emissionen sind verschiedene Faktoren notwendig, um die tatsächlichen Luftschadstoffemissionen einer Maschine in Abhängigkeit von der Laufzeit und Leistung zu ermitteln. Als Datengrundlage können hierzu nicht die Emissionsgrenzwerte herangezogen werden, da diese nur Ergebnisse von Typprüfungen in statischen Zyklen darstellen. Zudem ist die anzusetzende Leistung der Maschinen nicht mit der Nennleistung gleichzusetzen.

Sowohl in TREMOD-MM [2] als auch in der Non-Road-Datenbank der schweizerischen „Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt“ (EMPA) [4], [5] liegen Ansätze sowohl für eine Korrektur der Emissionsgrenzwerte hin zu Emissionsfaktoren als auch zu den Lastfaktoren vor.

2.4.1 Emissionsfaktoren

Die Emissionsfaktoren geben die Emissionen eines Schadstoffs in g/kWh an. Sie liegen getrennt für die unterschiedlichen Schadstoffstufen („vor EU“ sowie „Stufe I“ bis „Stufe V“) und Leistungsklassen vor (siehe Abbildung 3). Die Emissionsfaktoren lassen sich jedoch nicht direkt aus den Emissionsgrenzwerten übernehmen.

Die Ansätze von TREMOD-MM und der EMPA unterscheiden sich hinsichtlich der Ansätze zu dieselbetriebenen Maschinen geringfügig. Die Unterschiede zwischen beiden Ansätzen sowie die für die Bauwirtschaft verwendeten Emissionsfaktoren aus der EMPA-Datenbank [5] sind in Anlage A kurz dargestellt. Auf Grund der umfangreichen Emissionsfaktoren und Angaben zu jährlichen Einsatzstunden auch für die zu beurteilenden städtischen Maschinen wurde für die weitere Berechnung der Emissionen im Hamburger Stadtgebiet die EMPA-Datenbank als Datenbasis gewählt. Die Emissionsfaktoren wurden direkt aus der EMPA-Datenbank [4] abgerufen.

2.4.2 Lastfaktoren

In die Berechnung der Abgas-Emissionen ging neben dem Basis-Emissionsfaktor auch ein sogenannter Lastfaktor ein. Der Lastfaktor berücksichtigt dabei die mittlere Motorleistung unter Einsatzbedingungen im Verhältnis zur Nennleistung der Maschine. Aufgrund verschiedener Arbeitsabläufe und Einsatzbereiche unterscheiden sich die durchschnittlichen Lastfaktoren verschiedener Maschinentypen in Abhängigkeit der jeweiligen Tätigkeiten und Arbeitsabläufe.

Für die Lastfaktoren stehen mit TREMOD-MM sowie der EMPA-Datenbank die gleichen Quellen zur Verfügung wie bei den Emissionsfaktoren. Die dort getroffenen Annahmen basieren jeweils auf vorhergehenden Untersuchungen und werden regelmäßig angepasst. Die Unterschiede zwischen beiden Quellen sind gering. Im Sinne einer einheitlichen Datenbasis wurde im vorliegenden Gutachten auf die Lastfaktoren aus der EMPA-Datenbank [5] zurückgegriffen (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Angesetzte Lastfaktoren (Bauwirtschaft) (aus [5])

Gerät	Lastfaktor effektiv
Mobilbagger	0,33
Kettenbagger	0,42
Minibagger	0,32
Bohrgeräte aller Art (spez. Tiefbau)	0,35
Beton-/Belagfräse	0,48
Kompressoren aller Art	0,46
Pumpen aller Art	0,77
Generatoren aller Art	0,46
Radlader	0,35
Planiertrauben/Grader	0,48
Seilbagger	0,35
Stampfer	0,2
Vibratoren maschinell	0,2
Walzen aller Art	0,2
Rambären mit Hydraulik-Aggregaten	0,2
Straßenfertiger	0,2

2.4.3 Weitere Faktoren

Neben dem Lastfaktor werden in der EMPA-Datenbank auch die Einflussfaktoren „Dynamik“ und „Verschleiß“ berücksichtigt und erläutert [5]. Hier werden die Einflüsse auf die Schadstoffemissionen häufig wechselnder Lasten bei dynamisch betriebenen Maschinen berücksichtigt. Die (vom Faktor 1 abweichenden) Korrekturfaktoren gemäß [5] sind in Tabelle 2 dargestellt. Vergleichbare Faktoren sind als „transiente Anpassungsfaktoren“ auch in TREMOD-MM [2] implementiert (siehe Anlage A).

Tabelle 2: Dynamikfaktoren (aus [5])

Schadstoff	Emissionsstufe	Leistungsklasse und Lastfaktor (LF)	Dynamikfaktor
PM	ab 1996 bis Stufe II	Alle	1,23
PM	Stufe IIIA	Alle	1,47
NO _x	ab Stufe IV	56-560 kW, LF ≤ 0,35	1,50
		56-560 kW, LF > 0,35	1,20

Die Einflussfaktoren für den Verschleiß aus der EMPA-Datenbank [5] waren im Rahmen dieses Gutachtens einzig für die Partikelemissionen relevant. Die Studie nennt eine Erhöhung von Partikeln um 10 % pro 1.000 Maschinenstunden für Maschinen bis zur Emissionsstufe II. Der maximale Verschleiß wird bei 3.800 Betriebsstunden mit einer dann maximalen Erhöhung um 20 % angesetzt. Ab Stufe IIIA wurde hingegen davon ausgegangen, dass keine Verschlechterung mit zunehmender Betriebsdauer eintritt.

Die Einflussfaktoren für Dynamik und Verschleiß wurden bei der Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren pro Gerätetyp und Leistungsklasse berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3.4).

3 Bauwirtschaft

Die Bauwirtschaft im Hamburger Stadtgebiet umfasst verschiedene Arbeitsbereiche des Bauwesens. Im Rahmen der Bauwirtschaft wurden die Arbeitsbereiche Hoch-, Tief- und Ingenieurbau betrachtet.

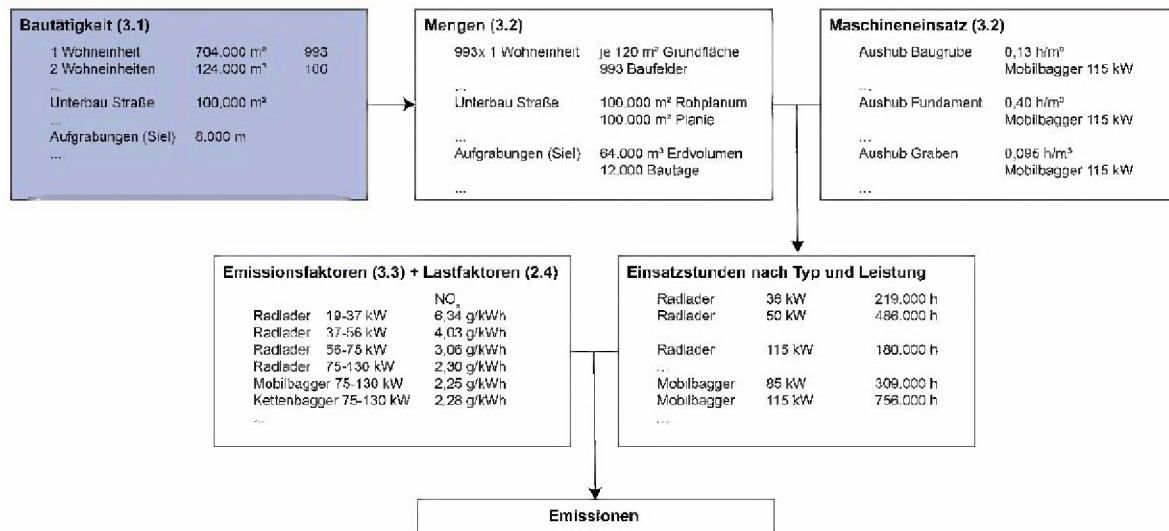
Für den Hochbau wurden nur die Tätigkeiten berücksichtigt, bei denen ein relevanter Einsatz mobiler Maschinen zu erwarten war. Dies sind im Wesentlichen jene Tätigkeiten, die dem Erd- und Tiefbau zuzurechnen wären (Herstellung der Baugrube, Fundamente, Verbau, Gründung, Kanal- und Leitungsarbeiten).

Für den Tiefbau erfolgte im Rahmen der Gutachtenerstellung dann eine weitergehende Betrachtung von Teilbereichen, die unter anderem den Straßen- und Wegebau, den Gleisbau, den Kanal- und Leitungsbau sowie weitere Tiefbautätigkeiten differenziert betrachtet. Zudem wurde die Herstellung von Ingenieurbauwerken berücksichtigt. Dieser Arbeitsbereich überschneidet sich zum Teil mit dem Tiefbau. Zu den Ingenieurbauwerken zählen vor allem Brücken und Hochwasserschutzanlagen.

Für die Bauwirtschaft wurde im Rahmen der Gutachtenerstellung eine umfangreiche Datenerhebung durchgeführt. Erhoben wurden Daten zur Bautätigkeit in den einzelnen Arbeitsbereichen (3.1), zu Arbeitsabläufen, Mengen und Maschineneinsätzen (3.2) sowie zur Flottenzusammensetzung (3.3). Die hierbei ausgewerteten Quellen und durchgeführten Erhebungen werden in den nachfolgenden Kapiteln detailliert dargestellt.

3.1 Datenerhebung Bautätigkeit

3.1.1 Ziele



Ziel der Erhebung zu Bautätigkeiten war es, eine Grundlage für die Ermittlung der Gesamtbetriebsstunden aller Maschinensegmente zu erhalten. Hierzu wird von einem repräsentativen mittleren Jahr ausgegangen, das sich aus den Bautätigkeiten der letzten Jahre ableitet.

Die Erhebung diente darüber hinaus auch als Grundlage für die zu betrachtenden individuellen Baustellentypen, für die im weiteren Verlauf auch Parameter wie resultierende Mengen (Grundflächen, bewegtes Erdvolumen, Anzahl von Bauverfahren etc.) und der darauf bezogene Maschineneinsatz ermittelt werden mussten (siehe Kapitel 3.2).

Da die angesetzten Häufigkeiten unterschiedlicher Bautätigkeiten direkt in die multiplikative Ermittlung der Gesamtbetriebsstunden eingingen (siehe 3.4.1), war eine zuverlässige Datenbasis unerlässlich. Bei der Ermittlung war daher vor allem zu prüfen, dass keine (relevanten) Baustellentypen in der Betrachtung fehlen.

Für die Ermittlung der unterschiedlichen Baustellentypen und -häufigkeiten standen keine einheitlichen statistischen Datengrundlagen zur Verfügung, aus der sowohl die Hoch- als auch Tiefbautätigkeiten abgeleitet werden konnten.

Eine Grundlage bildete die Liste der „Bauvorhabensdaten aus Mitteilungen, Baubeginnanzeigen und Vorankündigungen“, in der fortlaufend beginnende Bauvorhaben gelistet werden [10]. Für das Jahr 2017 wurden hier rund 1.700 Vorhaben gemeldet. Neben einem ersten Überblick über die möglichen Bauvorhaben auf Hamburger Stadtgebiet bot die Liste allerdings keine ausreichende Datenbasis. Vor allem Tiefbauvorhaben waren nach ersten Recherchen zum Großteil nicht in der Liste geführt. Daher wurden für die einzelnen Tätigkeitsfelder getrennte Erhebungen und Auswertungen durchge-

führt, die in den folgenden Kapiteln erläutert werden. Die Ergebnisse der Bautätigkeiten und –häufigkeiten sind in Kapitel 3.1.4 zusammengefasst.

3.1.2 Hochbau

Für die Ermittlung der Bauumfänge und -häufigkeiten des Hochbaus standen Statistiken des Statistikamtes Nord (F 00 IV 03 Baufertigstellungen) für die Jahre 2015 [11] und 2016 [12] zur Verfügung. Hierin waren die jährlichen Bauumfänge (als Brutto-Rauminhalt (BRI) in 1.000 m³) und die Anzahl der Häufigkeiten getrennt nach Wohn- und Nicht-Wohn-Gebäuden erfasst. Eine weitere Unterteilung ermöglichte die Differenzierung nach Anzahl Wohneinheiten (Wohngebäude) bzw. nach Nutzung (Nicht-Wohn-Gebäude).

Aufgrund der Datengüte, die Statistik beruht auf regelmäßigen Meldungen der zuständigen Behörden, wurden diese Zahlen im Mittel über die beiden Jahre als Grundlage für die Bauhäufigkeit im Hochbau übernommen, um ein durchschnittliches Jahr zu repräsentieren. Diese sind in Tabelle 8 in Kapitel 3.1.4 aufgeführt.

Über die Bautätigkeit zum Hochbau wurden auch die hieraus resultierenden Arbeiten, die auch dem Erd- und Tiefbau zuzuordnen wären, ermittelt. Hierzu gehört zum Beispiel die Herstellung der Baugrube, der Fundamente, des Baugrubenverbau, Gründungsarbeiten sowie Kanal- und Leitungsarbeiten. Diese Tätigkeiten sind im folgenden Abschnitt zum Tief- und Ingenieurbau nicht enthalten.

3.1.3 Tief- und Ingenieurbau

In Abgrenzung zu den für den Hochbau zur Verfügung gestellten Meldungen wurden der Tief- und Ingenieurbau mit verschiedenen Fachgebieten berücksichtigt. Hierbei orientiert sich die Datenerhebung jedoch nicht streng an diesen Fachgebieten, sondern an den jeweils ermittelten Datenquellen. Das Fachgebiet Erdbau ist zum Beispiel sowohl im Straßen- und Wegebau als auch im Hochwasserschutz berücksichtigt. Auch beim Ingenieurbau gibt es Überschneidungen zum Tiefbau: Brückenbauwerke wurden sowohl im Rahmen des dem Tiefbau zuzuordnenden Straßenbaus als auch bei der Erhebung zum Gleisbau ermittelt.

Leistungen des Tiefbaus, die direkt mit Hochbauvorhaben in Verbindung stehen, wurden nicht separat ermittelt sondern aus den Meldungen zum Hochbau abgeleitet.

3.1.3.1 Straßen und Wege

Für die Ermittlung der Bautätigkeit im Zusammenhang mit dem Straßenbau und der Instandhaltung waren verschiedene Verantwortlichkeiten u.a. zur Baulast zu berücksichtigen. Für die Freie und Hansestadt Hamburg waren dies neben den Bezirken der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG, auch für die Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation (BWVI)) mit den Fachbereichen S (Stadtstraßen) und F (Fernstraßen), die Hamburg Port Authority (HPA) sowie darüber hinaus auch

Fernstraßenprojekte, die von der Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) abgewickelt werden.

Weitere Bautätigkeiten ergaben sich sowohl aus Aufgrabungen im Straßenraum, die aus Arbeiten von Kanal- und Leitungsbauvorhaben resultieren (siehe 0), als auch aus dem Wegebau. Dieser kann sowohl straßenbegleitend als auch unabhängig vom Straßenraum vorkommen.

Der Straßenbau war zudem in seinen Umfängen der Arbeiten zu differenzieren: handelt es sich lediglich um Deckensanierungen oder fallen Arbeiten an, die auch den Unterbau und Untergrund betreffen.

3.1.3.1.1 Straßen

Zur Ermittlung der zu berücksichtigenden Bautätigkeit im Straßenbau wurde auf die Bezugsgröße „Fahrbahnoberfläche“ zurückgegriffen. Diese wurde auch in den meisten Datenquellen genannt. Sofern lediglich Fahrstreifenlängen gemeldet wurden, wurde zur Ermittlung der Fahrbahnoberfläche anhand der Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) [13] eine mittlere Fahrbahnbreiten pro Fahrspur ermittelt und für die Flächenberechnung berücksichtigt.

Für die bezirklichen Straßen, die Hauptverkehrsstraßen in Baulast der BWVI sowie der HPA wurden die Daten aus [14] analysiert und die resultierenden Zahlen zur sanierten Fahrbahnoberfläche (in m²) ermittelt.

Für die Bundesfernstraßen wurden sowohl Angaben des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG (F3)) sowie der Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES) ausgewertet [15]. Vom LSBG wurden Angaben unter anderem zu Arbeiten an Fahrbahnoberflächen geliefert [16]. Bei den Baumaßnahmen wurde jeweils keine Fahrstreifenlänge oder Fahrbahnfläche angegeben. Die jeweiligen Mengensätze wurden, sofern keine Kilometrierung angegeben wurde, aus den Ortsangaben der Baumaßnahme (z.B. zwischen Anschlussstelle und Autobahndreieck) gutachterlich ermittelt.

Für die Wilhelmsburger Reichsstraße wurde aus den Angaben der DEGES [15] zur Länge der Baumaßnahme sowie der Anzahl der Fahrspuren eine Fläche ermittelt, die in den Berechnungen berücksichtigt wurde. Hierbei handelte es sich in den vergangenen Jahren um die Herstellung des Unterbaus.

Für die Baustelle an der A7 lagen zum Teil ausführlichere Meldungen zu den Bauumfängen, besonders zu bewegten Erdmassen sowie der Anzahl der Bohrpfähle, vor [17]. Im Rahmen einer Baustellenbesichtigung wurden darüber hinaus Besonderheiten der Baustelle in Augenschein genommen. Hieraus wurden die Mengen und resultierende Einsatzzeiten direkt ausgewertet und im Maschineneinsatz berücksichtigt (Kapitel 3.2.3).

3.1.3.1.2 Unterscheidung des Arbeitsumfangs

Bei den Straßenbauvorhaben war hinsichtlich des Maschineneinsatzes zu unterscheiden, ob es sich lediglich um Deckenerneuerungen oder um tiefgreifende Erneuerungen handelte. Im ersten Fall waren im Wesentlichen Fräs-, Asphaltier- und Walzarbeiten zu berücksichtigen. Bei der Erneuerung waren auch Maschinenarbeitszeiten im Tiefbau (Bagger/Lader) zur Bearbeitung des Unterbaus bzw. Untergrunds in größerem Umfang relevant. Aus den ausgewerteten Quellen ging nicht in jedem Fall hervor, welchen Umfang die Bautätigkeiten einnahmen.

Für die bezirklichen Straßen und Hauptverkehrsstraßen wurde eine Meldung des Bezirks Eimsbüttel [18] ausgewertet. Es ergab sich, dass im Jahr 2016 rund 3 km von 7 km Fahrstreifenkilometern auf „eeH“ (die erstmalige endgültige Herstellung von Erschließungsstraßen), Grundinstandsetzungen und Umbauten entfielen. Im Jahr 2017 waren lediglich 2 km von 14 km hierfür vorgesehen. Alle restlichen Meldungen (rund 4 km) entfielen auf Meldungen zu Deckensanierungen.

Bei den Bundesfernstraßen wurden mit der Meldung des LSBG [16] entsprechende Angaben geliefert. Eine Auswertung zu den Bauvorhaben seit 2014 zeigte einen Anteil von 69 km Grundinstandsetzung zu 56 km Deckenerneuerung. In den letzten Jahren lag der Schwerpunkt jedoch deutlich ausgeprägter bei den Decken-erneuerungen.

Für die Hauptverkehrs- und Nebenstraßen wurde in der Berechnung von einem Anteil von rund 30 % mit erhöhter Tiefbautätigkeit, für die Bundesfernstraßen von 50 % ausgegangen.

3.1.3.1.3 Wege

Neben dem Straßenbau wurden auch die Sanierung der Geh- und Radwege berücksichtigt. Zu diesen Bautätigkeiten lagen nur wenige Daten vor. Daher wurden die Umfänge in Relation zu den jeweils auf Bezirksebene sanierten Fahrstreifenlängen gutachterlich abgeschätzt.

Im Rahmen der erhobenen sanierten Fahrbahnflächen hat der Bezirk Harburg die geplanten Sanierungen von Geh- und Radwegen aufgeführt [19]. In einem Fall wurden sowohl Fahrbahn als auch Geh- und Radwege saniert, in zwei Fällen ausschließlich die Geh- und Radwege. Die Länge der sanierten Geh- und Radwege beträgt in Summe rund 15 % der gesamten sanierten Fahrbahnlängen.

Da die Nebenflächen in der Regel pro Fahrbahnseite eine geringere Breite aufweisen als eine Fahrspur, ist der relative Flächenanteil der Nebenflächen gegenüber den Fahrbahnflächen nochmals niedriger. Dennoch wurde auf Grund der oben genannten Daten des Bezirks Harburg zur sicheren Seite und zur Berücksichtigung von Sanierungen von nicht im Zusammenhang mit Straßenbauvorhaben stehenden Nebenflächen (z.B. Plätze, Fußgängerzonen etc.) ein Ansatz von 20 % der jeweils angrenzenden Fahrbahnoberflächen gewählt.

3.1.3.1.4 Aufgrabungen

Auch Arbeiten zum Kanal- und Leitungsbau können zu Arbeiten an Straßen- und Wegeflächen führen. Eine Einschätzung zum Umfang, der aus solchen Aufgrabungen resultiert, findet sich im Artikel „Straßenbau in Hamburg – ein Erfahrungsbericht“ [20], der Erfahrungswerte der BWVI wiedergibt: pro Jahr erfolgen in Hamburg ca. 8.000 Eingriffe, die Mehrzahl weist dabei eine Fläche von weniger als 50 m² auf. Es wurde die Annahme getroffen, dass 50 % (d.h. 4.000 jährlich) der genannten Aufgrabungen auf den Straßenraum entfallen und mit einer mittleren Größe von 50 m² eine Asphaltierung benötigen. Die restlichen Flächen wurden als Pflasterungen in die Bautätigkeiten aufgenommen. Darüber hinausgehende Arbeiten, die aus den Aufgrabungen resultieren, wurden nicht den Straßen und Wegen zugerechnet, sondern im Rahmen des Kanal- und Leitungsbaus berücksichtigt (siehe 3.1.3.5).

3.1.3.1.5 Ergebnis und Validierung

Anhand der vorherigen Ansätze ergaben sich im Mittel die in Kapitel 3.1.4, Tabelle 9 aufgeführten Umfänge von Bautätigkeiten, die für die weiteren Berechnungen berücksichtigt wurden.

Um die Ansätze hinsichtlich der Plausibilität zu prüfen, fand eine Validierung über die geschätzte verbaute Asphaltmenge statt. Es liegen hierzu Angaben zur jährlichen Asphaltmischmenge in Deutschland vor [21]. In der Summe werden rund 41 Mio. t pro Jahr genannt. Bezogen auf Hamburg (anhand der Einwohnerzahlen) ermitteln sich somit rund 1 Mio. t pro Jahr. Bei der Wahl anderer Bezugsgrößen können sich andere Mengen ergeben. Zum Beispiel ergeben sich beim Vergleich der Länge des Straßennetzes geringere Mengen.

Je nach Art der Baumaßnahme sowie Belastungsklasse (z.B. nach RStO 12 [22]) ergibt sich die Dicke der Deck- und Tragschicht. Unter Ansatz mittlerer Materialdichten und Schichtdicken resultieren aus der abgeleiteten jährlichen Asphaltmischmenge für Hamburg rund 1,2 bis 1,4 Mio. m² asphaltierte Fahrbahnoberflächen.

Mit den vorher getroffenen Ansätzen wird dieser überschlägige Asphaltabsatz den nach Statistik notwendigen Mengen gegenübergestellt. Neben den ermittelten Fahrbahnoberflächen für Sanierungen (rund 876.000 m²) wurden als gutachterliche Schätzung auch die Deckschichtenherstellungen nach Aufgrabungen mit aufgenommen (200.000 m²). In der Summe stehen somit rund 1,1 Mio. m² an Fahrbahnoberflächen einem geschätzten Absatz von 1,2-1,4 Mio. m² gegenüber. Dies bestätigt die getroffenen Ansätze (Tabelle 9), die für die Berechnung gewählt wurden.

3.1.3.2 Gleisbau

Neben dem Straßen- und Wegenetz finden auch am Schienennetz Bautätigkeiten statt, die einen Einsatz mobiler Maschinen bedingen. Zu den Schienenwegen in der Freien und Hansestadt Hamburg wurden vier relevante zuständige Infrastrukturbetreiber identifiziert. Angaben zu den Streckenlängen, der Tunnellänge sowie der Anzahl Weichen und Brücken entstammen für die AKN, die Hamburger Hochbahn sowie das S-Bahn-Netz aus [23]. Die Angaben der HPA entstammen einer Veröffentlichung der HPA [24] (Angaben zu Anschlüssen aus [25]), die Angaben der DB wurden mit Nennung der der S-Bahn zuzurechnenden Anteile von der DB Netz AG gemeldet [26] (vgl. Tabelle 3).

Tabelle 3: Infrastruktumfang Bahnanlagen in Hamburg aus [23] [24] [25] [26]

Infrastrukturbetreiber	Streckenlänge	Weichen	Tunnel	Brücken
DB Netz AG (Summe)	417 km	2.273	k.a.	373
<i>ohne S-Bahn</i>	<i>273 km</i>	<i>k.a.</i>	<i>k.a.</i>	<i>k.a.</i>
<i>S-Bahn</i>	<i>144 km</i>	<i>k.a.</i>	<i>12,5 km</i>	<i>229</i>
AKN AG	12 km	8	0	4
Hamburger Hochbahn AG (U-Bahn)	256 km	482	52 km	481
Hafenbahn (+Anschlüsse)	272 km (+ 160 km)	796 (+ 600)	0	k.a. (+ 61)

Zur Abschätzung der jährlichen Bautätigkeiten an Schienenwegen wurden verschiedene Quellen ausgewertet, aus denen Annahmen relativ zur gesamten Netzlänge bzw. zur Anzahl der Weichen und Brücken abgeleitet wurden. Die jeweiligen Ergebnisse sind Tabelle 4 in dargestellt.

Aus dem mittleren Alter der Bahnanlagen in Hamburg [23] wurde nach gutachterlicher Abschätzung für Weichen eine durchschnittlich notwendige jährliche Erneuerung von rund 4 % pro Jahr, bei Gleisen von 5 % und bei Brücken von etwa 1 % angenommen. Von der DB Netz AG [26] lagen für das Hamburger Streckennetz Aussagen zu Investitionsmaßnahmen 2016 an Gleisen, Brücken und Weichen vor. Zum Vergleich wurde der Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2016 [27] der Deutschen Bahn AG ausgewertet. Hierin wurden alle Bautätigkeiten der DB Netz AG in Deutschland erfasst. Von der Hamburger Hochbahn wurden ebenfalls Daten zu (mittleren) Bautätigkeiten an Gleisen, Brücken und Weichen geliefert [28].

Tabelle 4: Auswertung zu jährlichen Bautätigkeiten an Bahnanlagen

Baumaßnahme (Erneuerung)	Erwartete jährliche Erneuerung (abgeleitet aus Alter) [23]	Jährlicher Bauumfang (relativ zur jeweiligen Gesamtzahl/-länge)		
		DB Netz Hamburg [26]	DB Netz Deutshl. [27]	Hamburger Hochbahn [28]
Erneuerung Gleis	5 %	7,0 %	2,0 %	3,3 %
Erneuerung Weichen	4 %	0,6 %	2,7 %	3,3 %
Erneuerung Brücken	1 %	0,5 %	0,6 %	0,2 %

Aus den Auswertungen wurden Ansätze für das Hamburger Schienennetz getroffen, die in Tabelle 5 sowie in der Zusammenfassung in Tabelle 9 dargestellt sind. Hierbei wurde bei den Gleisbautätigkeiten der gemeldet höhere Umfang der DB Netz AG aus Hamburg berücksichtigt. Für die Weichenerneuerungen wurden den Angaben der Hamburger Hochbahn sowie dem bundesweiten Schnitt gefolgt. Bei den Brücken wurden die Ansätze der DB Netz AG für Hamburg berücksichtigt.

Tabelle 5: Annahmen zu durchschnittlichen jährlichen Bautätigkeiten an Schienenwegen

Baumaßnahme	Gesamt FHH (ermittelt aus Tabelle 3)	Annahme zum jährlichen Bauumfang (relativ)	Annahme zum jährlichen Bauumfang (absolut)
Erneueretes Gleis	1.150 km	7 %	80,5 km
Erneuerte Weichen	4.243 Weichen	3 %	127 Weichen
Erneuerte Brücken	919 Brücken	0,5 %	6 Brücken

3.1.3.3 Ingenieurbauwerke

Sowohl im Rahmen des Straßen- und Wegebbaus, aber auch beim Schienenbau werden technische Bauwerke im Rahmen des Ingenieurbaus errichtet. Hierzu gehören im Wesentlichen Brücken und Tunnel (der Tunnelbau wurde nicht separat betrachtet).

Bautätigkeiten in Bezug auf städtische Ingenieurbauwerke in der Freien und Hansestadt Hamburg fallen in die Zuständigkeit des LSBG. Ausgenommen sind kleinere Instandsetzungsarbeiten an den nicht-tragenden Bauteilen, die auch direkt von den Bezirken vorgenommen werden. Informationen zu Bautätigkeiten wurden daher über den LSBG erfragt, eine Anfrage bei allen Bezirken war nicht notwendig.

Vom LSBG (K3) wurden Bautätigkeiten zu Brücken, Tunnelanierungen, Bahnüberführungen und Schilderbrücken gemeldet [29]. Es wurden nur Bautätigkeiten gemeldet, die

(mindestens auch) in das Jahr 2016 fielen. Für den Zeitraum vor 2016 war die Liste nicht vollständig. Die früheren Jahre wurden bei der Ermittlung der laufenden Bautätigkeit nicht berücksichtigt. Darüber hinaus wurden weiterhin die Ingenieurbauwerke in Bezug auf die Bahnanlagen berücksichtigt.

Für die HPA wurden in [30] Angaben zu Investitionen in mehrere Brückenneubau und -instandsetzungsvorhaben gelistet, die teilweise bis 2020 reichen. Neben dem Neubau der Rethebrücke (Straße und Bahn) und der Grundinstandsetzung der Kattwykbrücke wurden auch „neue Straßenbrücken“ als fortlaufender Finanzierungsposten bis 2020 geführt.

Insgesamt ergaben sich im Mittel die in Kapitel 3.1.4, Tabelle 9 aufgeführten Umfänge von Bautätigkeiten zu Ingenieurbauwerken, die für die weiteren Berechnungen berücksichtigt wurden. Die Arbeiten zur Langenfelder Brücke sowie den Tunnelbauwerken Stellingen und Schnelsen wurden im Detail mit den Daten zum A7-Ausbau im Rahmen der späteren Datenerhebung (Kapitel 3.2.3) berücksichtigt.

3.1.3.4 Hochwasserschutz

Der Hochwasserschutz bedingt in Hamburg umfassende Bauwerke, die teilweise dem Erd- aber auch dem Ingenieurbau zuzuordnen wären. Aufgrund der Bedeutung des Hochwasserschutzes und der vorliegenden Datenquellen wurden die diesem zuzuordnenden Tätigkeiten jedoch separat erfasst.

Die Umfänge, die Hochwasserschutzanlagen in Hamburg insgesamt ausmachen, wurden aus [31] ermittelt und in Tabelle 6 dargestellt. Zum Bauprogramm Hochwasserschutz wird in [31] ausgeführt, dass eine Verstärkung der Erddeiche der Hauptdeichlinie bereits 2007 abgeschlossen wurde. Von 25 km Hochwasserschutzwänden sind mit Fertigstellung des vorliegenden Gutachtens bereits 23 km neu gebaut worden. Von den 75 Einzelbauwerken wurden 67 bereits angepasst. Es wurde davon ausgegangen, dass das Bauprogramm inklusive Restarbeiten voraussichtlich 2016 vollständig abgeschlossen sein wird.

Tabelle 6: Umfang der Hochwasserschutzanlagen in Hamburg

Typ	Umfang
Erddeiche	78 km
Hochwasserschutzwände	25 km
Einzelbauwerke (Schleusen, Sperrwerke,...)	75

Abgeschlossene Maßnahmen wurden in [32] erwähnt. Außerdem fanden sich hier Angaben zu Planungen weiterer Deicherhöhungen am Deich Veddel Nord, am Klütjenfelder Hauptdeich sowie zum Hauptdeich Cranz/Neuenfelde.

Ein Überblick über die einzelnen Hochwasserschutzanlagen, deren Alter sowie den Instandhaltungsbedarf wurde in [33] gegeben. Hieraus konnte abgeleitet werden, dass das Alter der Bauwerke in der Regel deutlich unter der vorgesehenen Lebensdauer liegt. Die meisten Bauwerke sind jünger als 40 Jahre, die Lebensdauer wird mit durchschnittlich 70 Jahren angesetzt. Notwendig waren Instandhaltungen vor allem für die Anlagentechnik, die mit 35 Jahren jeweils eine deutlich geringere Lebensdauer aufweist.

Zu den Bautätigkeiten bezüglich des Hochwasserschutzes lag eine Meldung der zuständigen Abteilung G3 des LSBG (Gewässer und Hochwasserschutz) vor [34]. Es wurden insgesamt 12 Vorhaben gemeldet, von denen acht noch 2017 laufend waren. Im Schwerpunkt wurden Ingenieurbauwerke (Hochwasserschutzwände und Einzelbauwerke) genannt. Weitere laufende Bauprojekte zum Hochwasserschutz konnten aus [35] ermittelt werden. Es handelt sich hierbei um drei Vorhaben zum Hochwasserschutz (Niederhafen, Binnenhafen/Schaartor, Klütjenfelder Hauptdeich).

Neben den u.a. vom LSBG gemeldeten Vorhaben waren im Rahmen der Baubeginnanzeigen [10] auch mehrere Vorhaben zum Hochwasserschutz enthalten, die nicht durch den LSBG verantwortet werden. Dies waren zum Beispiel Hochwasserschutzwände auf Betriebsgeländen von hafennahen Industriebetrieben. Der Umfang hierzu wurde durch den Gutachter jeweils abgeschätzt.

Anhand der Auswertungen ergaben sich im Mittel die in Kapitel 3.1.4, Tabelle 9 aufgeführten Umfänge von Bautätigkeiten, die für die weiteren Berechnungen berücksichtigt wurden.

3.1.3.5 Kanal- und Leitungsbau

Der Kanal- und Leitungsbau umfasst Arbeiten an den Ver- und Entsorgungsnetzen, die zum Teil unterhalb der Straßen und Nebenflächen verlaufen. Das größte Netz stellt hierbei das Stromnetz dar (vgl. Tabelle 7). Neben den genannten Netzen existieren weitere Leitungen u.a. von einer Vielzahl von Telekommunikationsunternehmen, die nach gutachterlicher Abschätzung in gleicher Größenordnung liegen.

Tabelle 7: Infrastrukturumfang Kanäle und Leitungen (Auswahl) [36]

Netz	Leitungslänge
Stromnetz Hamburg (Strom)	27.500 km (ober- und unterirdisch) 26.000 km (oberirdisch, geschätzt)
Netz Hamburg (Gas)	7.400 km
Hamburg Wasser (Frischwasser)	5.500 km
Hamburg Wasser (Abwasser)	5.800 km
Vattenfall (Fernwärme)	831 km

Aus einer Veröffentlichung der Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation (BWVI) [20] ging bereits eine überschlägige Anzahl von jährlichen Aufgrabungen im Bereich der Straßen- und Wegeflächen hervor. Für andere deutsche Städte werden (bezogen auf die Einwohnerzahl) deutlich höhere Werte genannt [37], [38].

Es ist somit davon auszugehen, dass die 8.000 genannten Aufgrabungen eher einen niedrigen Ansatz bezüglich der Anzahl der Aufgrabungen darstellen. Bezogen auf [38] machen die Bauarbeiten der Telekommunikationsunternehmen bis zu 20 % aus. Weitere Anteile sind privaten Bauherren (z.B. im Rahmen des Anschlusses von Neubauten an das Bestandsnetz) sowie der Stadt selbst zuzurechnen. In Summe wird davon ausgegangen, dass nur rund 50 % der Aufgrabungen den Versorgungsbetrieben zuzurechnen sind.

Bezüglich des Kanal- und Leitungstiefbaus wurden die Angaben zur Baustellentätigkeiten (Aufgrabungen mit Anschrift, Zeitraum sowie Aufgrabelänge) der zwei größten Netzbetreiber Stromnetz Hamburg [39] sowie Hamburg Wasser [40] ausgewertet. Größere Baumaßnahmen des Wasser- und Fernwärmenetzes wurden ebenfalls berücksichtigt [41], [42], [43].

Für die Baustellentätigkeiten von Stromnetz Hamburg wurden für den Analysezeitraum (Juli bis November 2017) insgesamt rund 300 einzelne Vorhaben mit einer Gesamtaufgrabelänge von etwa 47 km und 20.000 Bautagen identifiziert. Insgesamt konnte im Schnitt pro Vorhaben ein Umfang von 160 Metern Aufgrabelänge und eine Dauer von 66 Tagen ermittelt werden [39].

Hamburg Wasser erstellt keine tabellarische Ausgabe mit Aufgrabelänge seiner Bautätigkeiten. Dafür wird die Art der Baumaßnahme (z.B. offene Grube, Inliner-Verfahren) spezifiziert. Maßnahmen, die kaum Tiefbaueinsatz bedingen (z.B. Inliner-Verfahren),

wurden nicht berücksichtigt. Die Angaben zur Aufgrabelänge wurden anhand der genannten Baukorridore gutachterlich abgeschätzt. In der Summe ergeben sich für den Analysezeitraum (August bis November 2017) rund 2 km Aufgrabungen, verteilt auf 12 Vorhaben. Die mittlere Länge des gemeldeten Bauzeitraums beträgt etwa 170 Tage. Zudem wurden 6 Startgruben aus den Veröffentlichungen abgeleitet [40].

Weiterhin wurde der Einsatz von Großgeräten, der durch Hamburg Wasser im Rahmen der Erneuerung des Transportsiels Wallring im Innstadtbereich anfällt, aus dem veröffentlichten Bautagebuch [41] ausgewertet und im Maschineneinsatz berücksichtigt.

Im Bereich des Fernwärmenetzes betreibt Vattenfall seit mehreren Jahren eine Netzerweiterung der Fernwärmeleitung Altona [42], die zukünftige Erweiterung ist bereits in Planung [43]. Für das Fernwärmenetz konnte daher ebenfalls eine mittlere jährliche Aufgrabelänge ermittelt werden.

Aus den Meldungen zum Hochbau gehen rund 2.000 Neubauten pro Jahr hervor (siehe 3.1.2). Für jeden Neubau wurde von einer Aufgrabelänge von rund 25 m im öffentlichen Raum zum Anschluss an die Versorgungsnetze ausgegangen. Hiermit wurde auch die erstmalige Herstellung von Hausanschlussleitungen in Neubaugebieten berücksichtigt.

Bei den für einen Teilzeitraum des Jahres 2017 ermittelten Bauumfängen für das Strom- und Wassernetz wurde die ermittelte Bautätigkeit jeweils verdoppelt, um auf die jährlichen Bauumfänge hochzurechnen.

Für den Kabelleitungsbau wurde ein Zuschlag von 50 % berücksichtigt, um auch die u.a. von Kommunikationsunternehmen durchgeführten Arbeiten abzudecken.

Anhand dieser Ansätze ergaben sich im Mittel die in Kapitel 3.1.4, Tabelle 9 aufgeführten Umfänge von Bautätigkeiten, die für die weiteren Berechnungen berücksichtigt wurden.

Zur Validierung der Ansätze zum Kanal- und Leitungsbau soll ein Vergleich mit den bereits zuvor genannten Aufgrabungen im öffentlichen Raum stattfinden. Durchschnittlich werden jährlich auf Hamburger Stadtgebiet rund 8.000 Aufgrabungen mit einer mittleren Fläche von 50 m² durchgeführt [20]. Hieraus wurden rund 400.000 m² an Aufgrabungen im Bereich der Straßen und Nebenflächen (z.B. Fuß- und Radwege) gutachterlich abgeschätzt und berücksichtigt. Ausgehend von einer Gesamtaufgrabelänge von 208,5 km wäre eine mittlere Breite der Aufgrabung von etwa 2 Metern notwendig, um diese Fläche zu erreichen. Dies entspricht den erwarteten Dimensionen der Baugruben.

3.1.3.6 Sonstige Bauvorhaben des Tief- und Ingenieurbaus

Neben den zuvor genannten Tätigkeiten führen auch andere Vorhaben besonders aufgrund von Erdbautätigkeiten zu einem relevanten Maschineneinsatz. Hier wurden vor allem großflächigere Vorhaben, die ggf. aus Einzelmaßnahmen bestehen, berücksichtigt.

Neben den berücksichtigten Bautätigkeiten im Bereich des Hochbaus ist auch die Vorbereitung der Bauflächen zu berücksichtigen. Angaben zu ausgewiesenen Flächen in Bebauungsplänen können nicht verlässlich verwendet werden, da viele Bebauungspläne eine Bestandssituation überplanen. Größere Neubauvorhaben entstehend derzeit besonders am Hamburger Stadtrand, aber auch weiterhin in der HafenCity.

Zu den größten derzeit in Entwicklung befindlichen Flächen gehören die Wohnbaugebiete in Neugraben-Fischbek mit zusammen rund 134 ha bebauter Fläche [44], [45]. Es wurde davon ausgegangen, dass in den kommenden Jahren zusammen mit kleineren Neubauvorhaben aber auch mit größeren Entwicklung wie der des Wohnbaugebiets Oberbillwerder mit einer Fläche von rund 120 ha in jedem Jahr rund 30 ha an Baufeldvorbereitung als Bautätigkeit anfallen.

Im Bereich des Baakenhafens wird eine über 30 ha große Fläche der HafenCity u.a. mit den Bebauungsplänen HafenCity 11 und 14 überplant. Hierbei ist es für die Flächen der östlichen HafenCity, die bisher auf einer Höhe von 4,5 bis 6 m über NHN liegen, „aus Gründen des Hochwasserschutzes notwendig, die Flächen [...] auf ein Niveau von mindestens 8,3 m über NHN aufzuheben.“ [46] Diese Volumen gehen zur Berücksichtigung der vorbereitenden Bautätigkeiten in der HafenCity ebenfalls in die Berechnungen ein.

In der HafenCity wurden darüber hinaus weitere umfangreiche Aufschüttungen durchgeführt. Auch in weiteren Bereichen des Hafens werden regelmäßig größere Erdbewegungen durchgeführt [47], [48]. Hier werden rund 1.1 Mio m³ zu bewegendes Bodenmaterial genannt, für die Gesamtmaßnahme „Westerweiterung“ rund 3 Mio. m³ [47]. Als Bauzeit wird ein Beginn 2014 und ein Abschluss 2017 prognostiziert [48]. Aus diesen Mengen wurde ein mittlerer jährlicher Ansatz ermittelt.

Anhand der getroffenen Annahmen ergaben sich im Mittel die in Kapitel 3.1.4, Tabelle 9 aufgeführten Umfänge von Bautätigkeiten für den Tief- und Ingenieurbau, die für die weiteren Berechnungen berücksichtigt wurden.

3.1.4 Zusammenfassung

Nach einem ersten Überblick über Bautätigkeiten anhand der Liste der Bauvorhabensdaten wurde eine umfangreiche Erhebung der relevanten Bautätigkeiten für verschiedene Sektoren durchgeführt.

Das Ergebnis der Datenerhebung sind für verschiedene Sektoren und Situationen Annahmen zu mittleren jährlichen Bauhäufigkeiten, aus denen in der Folge (siehe Kapitel 3.2) zugehörige Arbeitsabläufe und Mengen sowie daraus Maschineneinsätze abgeleitet werden. Die Daten sind getrennt für den Hochbau (Tabelle 8) sowie die verschiedenen Bereiche des Tiefbaus (Tabelle 9) aufgeführt.

Tabelle 8: Annahmen zu mittleren jährlichen Bauhäufigkeiten im Hochbau

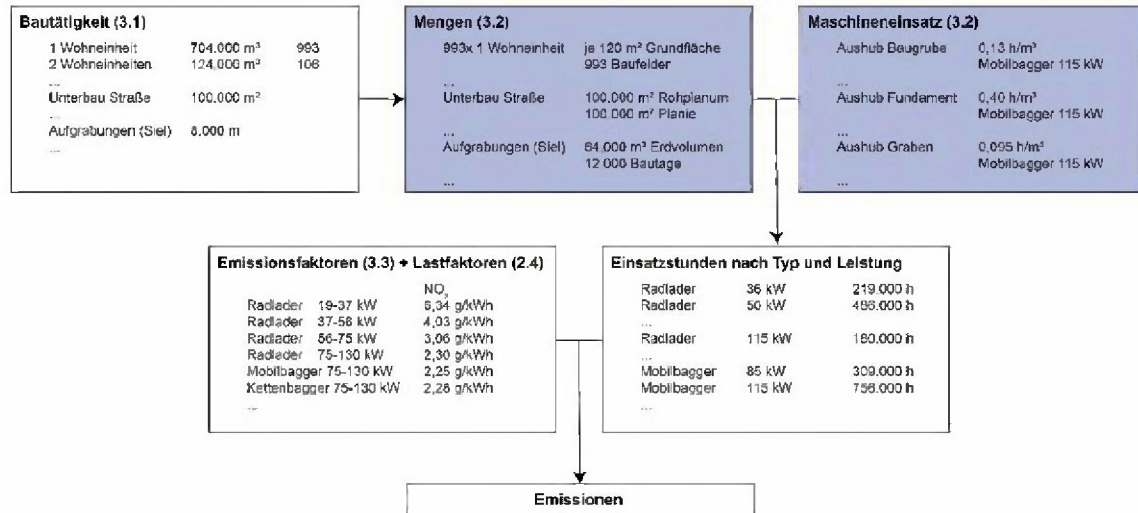
Typ des Gebäudes	Mittelwert	
	1.000 m ³	Anzahl Bauvorhaben
<i>Wohngebäude</i>		
1 Wohneinheit	704	993
2 Wohneinheiten	124	106
3 Wohneinheiten	108	67
4-6 Wohneinheiten	250	109
7-12 Wohneinheiten	737	173
13-19 Wohneinheiten	546	85
20+ Wohneinheiten	945	66
Wohnheime	5	2
<i>Nicht-Wohn-Gebäude</i>		
Büro / Verwaltung	398	21
Fabrik / Werkstatt	229	15
Handel	134	10
Lager	356	20
Anstalt	64	4
Hotels und Gaststätten	41	4
Landwirtschaft	18	7
sonstige	168	27

Tabelle 9: Annahmen zu mittleren jährlichen Bautätigkeiten im Tief- und Ingenieurbau

Art der Bautätigkeit	Umfang
Straßen- und Wegebau	
Unterbau Straße	100.000 m ²
Grundinstandsetzung (ohne Deckschicht) Straße	236.000 m ²
Deckschichten Straße (Straßensanierung und -neubau)	876.000 m ²
Deckschichten Straße (Aufgrabungen)	200.000 m ²
Pflasterungen (Wegebau)	103.000 m ²
Pflasterungen (Aufgrabungen)	200.000 m ²
Gleisbau	
Erneuerte Weichen	127 Weichen
Erneueres Gleis	80,5 km
Brücken (Bahn)	6 Brücken
Ingenieurbauwerke	
Brücken (Straßen und Wege)	8 Brücken
Tunnelsanierung	2 Tunnel
Spundwände	1.000 m
Hochwasserschutz	
Erddeiche	2.000 m
Hochwasserschutzwände	3.000 m
Einzelbauwerke (Schleusen, Sperrwerke,...)	2 Bauwerke
Kanal- und Leitungsbau	
Aufgrabungen für Fernwärmetransportleitung (offen)	500 m
Aufgrabungen für Siel- und Leitungsbau (offen)	8.000 m
Aufgrabungen für Kabelleitungsbau (offen; Stromnetz)	100.000 m
Aufgrabungen für Kabelleitungsbau (offen; sonstige)	50.000 m
Aufgrabungen Hausanschlüsse	50.000 m
Startgruben (für geschlossenen Sielbau)	12 kleine Gruben 2 große Gruben
Sonstige Bauvorhaben Tief- und Ingenieurbau	
Baufeldvorbereitung (ohne HafenCity)	300.000 m ²
Baufeldvorbereitung (HafenCity)	300.000 m ²
Aufschüttungen (HafenCity, Hafen)	250.000 m ³

3.2 Datengrundlage Arbeitsabläufe, Mengen und Maschineneinsatz

3.2.1 Ziele und Methodik



Neben der jährlichen Bautätigkeit war auch eine Abbildung der damit verbundenen relevanten Arbeitsabläufe, resultierender abgeleiteter Mengen (m², m³, Bautage...) und des jeweils dafür benötigten Maschineneinsatz notwendig.

Für die in Kapitel 3.1 kategorisierten Baustellensituationen wurden die maschinenrelevanten Leistungspositionen der Bautätigkeit abgeleitet. Bei der Ermittlung wurden die jeweiligen Bautätigkeiten hinsichtlich der dafür notwendigen Bauverfahren und Arbeitsschritte untersucht. Es wurden nur jene Leistungspositionen in die weitere Betrachtung aufgenommen, bei denen ein Maschineneinsatz zu erwarten war.

Für die ermittelten Leistungspositionen wurden aus den Ansätzen zu den Bauhäufigkeiten jeweils die für die Arbeitszeitermittlung relevanten Mengen bestimmt. Die Mengenangaben beziehen sich je nach Art der Tätigkeit zum Beispiel auf Flächen (m², wie im Straßenbau bei der Herstellung des Planums oder der Straßenoberfläche), auf Volumen (m³, wie im Kanal- und Leitungsbau als bewegtes Erdvolumen aus den unterschiedlichen Längen, Breiten und Tiefen der Gräben abgeleitet), auf Anzahlen (wie bei der Herstellung von Bohrpfehlen) oder auf Bautage.

Für die ermittelten Mengengerüste wurde aus verschiedenen Quellen der Maschineneinsatz erhoben. Hierbei wurde nach verschiedenen Maschinentypen (z.B. Bagger, Lader, Verdichtungsgeräte, Minibagger) in verschiedenen Leistungsklassen klassifiziert jeweils eine typische Einsatzzeit bezogen auf die Referenzgröße ermittelt.

Aus der Relevanzabschätzung (Kapitel 3.3.2) konnte abgeschätzt werden, dass durch Bagger (Mobil-/Ketten-/Mini-) und Radlader rund 80 % des Maschineneinsatzes geleistet werden. Da zu den übrigen rund 20 % der Maschinentypen nur schwer quantifizierbare Angaben zu Einsatzstunden zu erhalten waren (dies betrifft vor allem Hilfsgeräte wie Kompressoren, Generatoren und Pumpen), lag der Fokus der Datengrundlage auf den Baggern und Ladern.

3.2.2 Bauverfahren und Arbeitsschritte

Zur Identifikation der einzelnen Bauverfahren und Tätigkeiten fand als Grundlage eine Auswertung verschiedener Quellen statt. Hierzu gehören neben Literaturquellen vor allem auch Auswertungen von Bauablaufplänen, Leistungsverzeichnissen sowie Aufzeichnungen von Bauabläufen.

Anhand von Bauablaufplänen ließen sich die einzelnen geplanten Arbeitsschritte unterschiedlicher Baustellen nachvollziehen. Durch die Zeitplanung waren auch erste Anhaltspunkte für den Maschineneinsatz erkennbar, die in weiteren Auswertungen detailliert ermittelt wurden. Aus Leistungsverzeichnissen verschiedener in Hamburg umgesetzter Vorhaben konnten ebenfalls die notwendigen Arbeitsschritte ermittelt werden. Auswertungen von Bauabläufen, die dem Gutachter zum Beispiel aus öffentlich zugänglichen Video- und Audioaufzeichnungen, Bautagebüchern oder eigenen Beobachtungen vorlagen, vervollständigen die beiden genannten Quellen aus der Planung vor Baubeginn. Insgesamt lagen der Auswertung die in Tabelle 10 gelisteten Anzahlen von Aufzeichnungen zugrunde.

Tabelle 10: Umfang der vorhandenen Auswertungen von Bauablaufplänen, Leistungsverzeichnissen und Bauaufzeichnungen

Art der Tätigkeit	Anzahl
Hochbau	11
Straßen-/Wege-Bau	7
Hochwasserschutz (Ingenieurbau)	5
Kanal/Leitungsbau	5
Gleisbau	4
Brückenbau	4
Hochwasserschutz (Deichbau)	3
Tunnelbau	1

Neben den ergänzenden Auswertungen lagen schon umfangreiche Erfahrungswerte zu Maschineneinsätzen vor. Diese wurden durch Baustellenbegehungen, die im Rahmen der Gutachtenerstellung organisiert wurden, ergänzt. Anhand der Baustellenbegehungen konnten die gutachterlichen Abschätzungen zu eingesetzten Maschinen und umgesetzten Bauumfängen pro Zeiteinheit unter Praxisbedingungen weitergehend verifiziert werden.

Die unterschiedlichen resultierenden Arbeitsschritte sind in Anlage C für die einzelnen Sektoren getrennt aufgeführt.

3.2.3 Mengenangaben

Aus den vorliegenden Quellen war der Maschineneinsatz in der Regel nicht in der Detaillierung der erhobenen Bautätigkeiten und Umfänge (siehe Kapitel 3.1.4) abzuleiten. So gab es in der Regel keine Quellen, die einen typischen Maschineneinsatz „pro Wohnhaus“ oder für einen Quadratmeter herzustellender Straße nannten oder aus denen dieser abzuleiten wäre. Daher war es notwendig, Mengen abzuleiten, aus denen der Maschineneinsatz kalkuliert wurde.

Diese Mengen beziehen sich, je nach Datengrundlage für den Maschineneinsatz, auf verschiedene Bezugsgrößen. Im Bereich des Straßenbaus können dies Flächen (m^2) sein, die bei der Herstellung des Planums oder der Straßenoberfläche relevant sind. Im Erdbau sind es in der Regel Volumen (m^3), die aus der bewegten Erdmasse hervorgehen. Dies ist etwa beim Kanal- und Leitungsbau der Fall, bei dem sich das Erdvolumen aus der Länge, Breite und Tiefe der jeweiligen Gräben ergibt. Je nach Tätigkeit im Straßenbau können auch Volumen aus den herzustellenden Fahrbahnoberflächen abzuleiten sein. Weitere Mengen, die für den Maschineneinsatz zu ermitteln waren, sind unter anderem auch Anzahlen, wie bei der Herstellung von Bohrpfählen, die Anzahl der Bautage.

Die zu ermittelnden Mengen sind in den in Anlage C genannten Arbeitsschritten jeweils mit einem Hinweis auf die Ableitung sowie die Einheit genannt.

Die Mengenangaben ermittelten sich in der Regel aus den in Kapitel 3.1.4 aufgeführten Umfängen anhand statistischer Näherungen sowie typischer Größen, etwa zur mittleren Grundfläche der einzelnen Gebäudeklassen, zum Volumen der Gräben im Kanal- und Leitungsbau anhand der gängigen Bautiefen und notwendiger Grabenbreiten sowie im Straßenbau anhand der Fahrbahnoberflächen. Beim Hochbau wurde zum Beispiel aus den Gebäudevolumen und der Anzahl der Gebäude ein mittleres Volumen pro Gebäude ermittelt. Mit Ansätzen zu typischen Stockwerkhöhen und Geschosshöhen wurde für die einzelnen Gebäudetypen eine mittlere Grundfläche der Baugrube ermittelt, die für die Ermittlung der Volumen bei der Herstellung der Grube sowie z.B. von Streifenfundamenten herangezogen wurden. Beim Kanal- und Leitungsbau wurden verschiedene Grabentiefen und -breiten nach unterschiedlichen Grabentypen (Stromleitungen, Siel, Fernwärme) ermittelt. Hieraus berechnete sich zusammen mit der Länge der Aufgrabungen das zu bewegendes Erdvolumen.

Für einzelne Bereiche fand die Mengenermittlung nach Auswertung der bereits zuvor genannten Leistungsverzeichnisse statt. Im Rahmen dieser wurden bei Erdbauvorhaben (z.B. beim Deichbau) in der Regel die zu bewegendes Erdmassen in m^3 genannt. Auch im Gleisbau und den Ingenieurbauwerken liegen die für den Maschineneinsatz relevanten Mengen (Anzahl Brückenbauwerke, erneuerte Gleislänge, Anzahl Weichen) direkt vor.

Die Baustellen entlang der A7 nördlich des Elbtunnels wurden nicht im Rahmen der Datenerhebung in Kapitel 3.1.3.1 aufgenommen. Zu den Baustellen zählen die Tunnel-

bauwerke Stellingen und Schnelsen, die Langenfelder Brücke, aber auch die darüber hinausgehenden Bautätigkeiten zur Fahrstreifenenerweiterung. Für diese Baustellen lagen zum Teil ausführlichere Meldungen des Baukonsortiums, Pressemeldungen oder Leistungsverzeichnisse zu den Bauumfängen vor, besonders zu bewegten Erdmassen sowie der Anzahl der Bohrpfähle [17]. Im Rahmen einer Baustellenbesichtigung wurden darüber hinaus Besonderheiten der Baustelle in Augenschein genommen. Hieraus wurden die Mengen direkt ausgewertet.

3.2.4 Maschineneinsatz

Die anzusetzenden Maschineneinsatzzeiten wurden ebenfalls aus verschiedenen Quellen entnommen, die bereits in Kapitel 3.2.2 genannt wurden. Besonders bei größeren Baustellen des Ingenieurbaus wurden die summierten Einsatzzeiten der einzelnen Maschinentypen ausgewertet und für die Berechnungen verwendet. Für den Großteil der Arbeitsschritte wurden jedoch Literaturquellen ausgewertet.

Bei den Literaturquellen wurde in erster Linie auf die „Standardanalysen-Sammlung“ des Schweizerischen Baumeisterverbandes (Version 2017) [49] zurückgegriffen. Die Datenbank enthält 9.859 Analysen zum Tiefbau, über 1.000 zu Kanalisation und Entwässerungen sowie über 860 zu Baugruben und Erdbau inkl. Angaben zu typischen Maschineneinsatzzeiten unterschiedlicher Positionen von Leistungsverzeichnissen. Unterschieden für kleine (Einzelhaus, kleine Aufgrabungen), mittlere und große (Wohnanlagen, Fernstraßenbau) Bauvorhaben sind in den Standardanalysen jeweils für eine Referenzgröße (m^3 bewegtes Erdvolumen, t eingebauter Asphalt, m^2 Planum) typische Maschinenarten, -größen und die dazugehörigen Einsatzstunden aufgeführt.

Auch die sogenannten Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen (ARH, ART) [50], [51], [52] lieferten Abschätzungen für den notwendigen Zeitbedarf einzelner Tätigkeiten. Sie basieren auf Arbeitszeitstudien und sind unter anderem von Tarifvertragspartnern anerkannt und herausgegeben.

Ergänzend wurden weitere Literaturquellen ausgewertet. Hierzu gehörten unter anderem „Leistungsermittlungshandbuch für Baumaschinen und Bauprozesse“ [53], „Preisermittlung für Bauarbeiten“ [54], „Maschinen im Baubetrieb“ (König) und „Kalkulation von Baupreisen“ [55].

Sofern notwendig, fanden auch Umrechnungen der Bezugsgrößen der Mengen auf die in Kapitel 3.2.4 genannten Größen statt. So wurde der Maschineneinsatz pro Tonne eingebautem Asphalt anhand verschiedener Straßentypen in Maschineneinsatz pro Quadratmeter umgerechnet.

Die genannten Literaturquellen bilden in der Regel nur den Einsatz von Großgeräten (ab Kompaktbaggern oder kleineren Radladern), selten von Kleingeräten (wie Vibrationsrüttelplatten oder Vibrationsstampfern) ab. Die genannten Maschinen werden auf vielen Baustellen als „Hilfsgeräte“ regelmäßig aber nicht sicher quantifizierbar eingesetzt.

Hinsichtlich des Einsatzes von handgeführten Vibrationsmaschinen wurden daher zusätzlich zum Beispiel das Arbeitsplatt DWA-A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“ [56] und Datenblätter der Maschinenhersteller herangezogen und der Arbeitseinsatz gutachterlich abgeschätzt. Der Einsatz von Aggregaten wurde anhand der Auswertungen typischer Baustellensituationen abgeschätzt.

3.2.5 Auswertungen zu Aufgrabezeiträumen

Zur Validierung der Abschätzung des Maschineneinsatzes auf Tiefbaustellen des Kanal- und Leitungsbaus wurden die umfangreichen veröffentlichten Meldungen von Hamburg Wasser sowie Stromnetz Hamburg auch hinsichtlich der Aufgrabelänge und des gemeldeten Bauzeitraums ausgewertet.

Von Stromnetz Hamburg wurden im Abfragezeitraum rund 300 einzelne Vorhaben mit einer Gesamtaufgrabelänge von etwa 47 km und 20.000 Bautagen veröffentlicht. Im Schnitt war ein Vorhaben mit 160 Metern und 66 Tagen angegeben. In der Auswertung war hier eine Korrelation zwischen Aufgrabelänge und den angesetzten Arbeitstagen nachzuweisen.

Eine ähnliche Auswertung wurde zu Vorhaben von Hamburg Wasser erstellt. Im Vergleich zum Leitungsbau zeigte sich hier, dass für Arbeiten am Wassernetz ein deutlich höherer Zeitaufwand anzusetzen war.

Anhand der ermittelten Daten konnte davon ausgegangen werden, dass mit Abbildung einzelner typischer Tiefbaustellen des Kanal- und Leitungsbaus in Abhängigkeit von Aufgrabevolumen (Breite und Tiefe des Grabens) der Maschineneinsatz im Mittel gut abgebildet wird.

3.2.6 Zusammenfassung

Zur Ermittlung der tatsächlichen Maschineneinsatzstunden aus den zuvor erhobenen Bauhäufigkeiten (3.1) erfolgten verschiedene Analysen von Literatur, Bauablaufplänen, Leistungsverzeichnissen. Dazu wurden aus den verschiedenen Angaben zu Bauhäufigkeiten (d.h. Anzahl und Gebäudevolumen im Hochbau, m² Oberflächen zum Straßen- und Wegebau etc.) in einem ersten Schritt die notwendigen Arbeitsschritte mit relevantem Maschineneinsatz abgeleitet.

Um den Maschineneinsatz abzuschätzen, wird für jede Tätigkeit ein Arbeitsumfang ermittelt, für den Daten zu Maschineneinsatzstunden vorliegen. Diese Daten liegen in der Regel für bestimmte Bezugsgrößen (in m², m³, Anzahl, ...) vor. Der Umfang der Tätigkeit leitet sich dabei aus den Bauhäufigkeiten ab (siehe Anlage C). So wird für Hochbauten die Grundfläche anhand des Gebäudevolumens in m³ und einer jeweils mittleren Anzahl an Stockwerken abgeleitet. Beim Kanal- und Leitungsbau werden die Maße der unterschiedlichen Gräben ebenfalls aus den ermittelten Grundlagen abgeleitet.

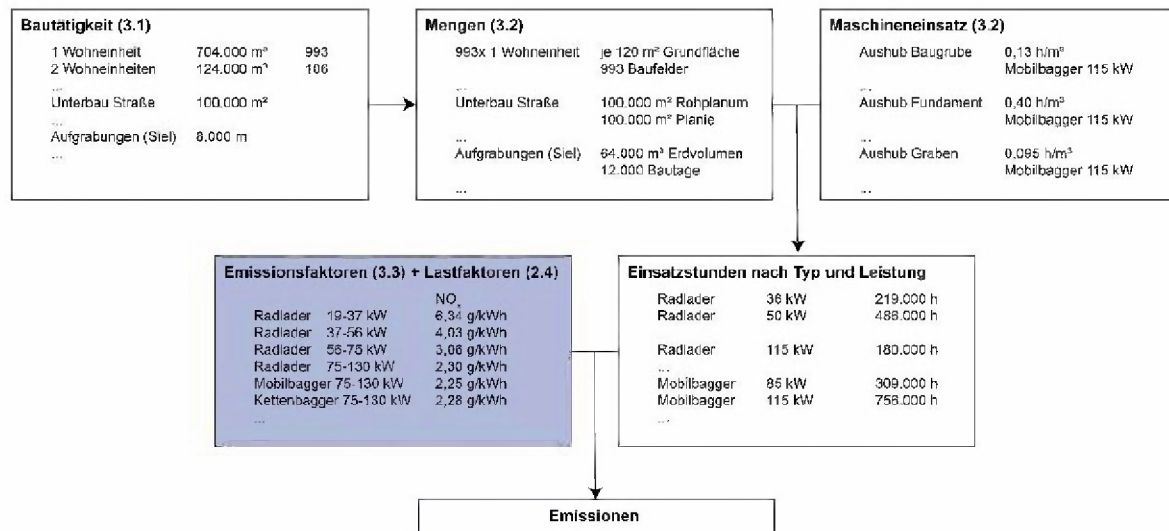
Für jeden Arbeitsschritt wurden dann Arbeitsstunden für verschiedene Kombinationen von Maschinentyp und Leistungsklasse angesetzt. Hierzu wurden verschiedene Litera-

turquellen, Aufzeichnungen und Erfahrungswerte ausgewertet, die jeweils auch Besonderheiten der einzelnen Tätigkeiten berücksichtigen. Je nach Tätigkeit können die Leistungen detaillierter oder aggregiert berücksichtigt werden.

In Anlage C sind die einzelnen Arbeitsschritte für die in Tabelle 8 und Tabelle 9 genannten Bautätigkeiten aufgeführt. Es wird jeweils die dafür abgeleitete Menge mit einem Hinweis auf die Ableitung sowie die Einheit genannt. Auch Verweise auf die Herkunft des Maschineneinsatz werden gegeben. Im Ergebnis wurden die ebenfalls in Anlage C aufgeführten Einsatzzeiten pro Maschinentyp (differenziert nach Leistungsklassen) ermittelt.

3.3 Datenerhebung Flottenzusammensetzung

3.3.1 Ziele und Quellen



Essentiell für die Emissionen von mobilen Maschinen ist die Zusammensetzung der Flotte hinsichtlich der Maschinenleistung sowie der Abgasstufen. Anhand der gewonnenen Daten wurde ein repräsentatives Abbild über die Flottenzusammensetzung von im Hamburger Stadtgebiet eingesetzten Baumaschinen erstellt, das bei der Abschätzung der Gesamtemissionen in Ergänzung und unter Validierung bekannter Literaturwerte aus nationalen und internationalen Studien als Berechnungsgrundlage diente.

Statistiken über den Bestand von Maschinen waren nicht verfügbar, da keine Erhebung wie z.B. bei Kraftfahrzeugen in einem Melderegister erfolgt. Die meisten Erhebungen in früheren Untersuchungen (TREMOM-MM [2], EMPA [5] etc.) stützen sich bezüglich der Flottenzusammensetzung bei Baujahren bzw. Abgasstufen auf die jährlich ausgelieferten Maschinen sowie einen Ansatz zur Lebensdauer der Maschinen.

Eine Erhebung über den deutschlandweiten Maschinenbestand und -absatz wurde vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) bereitgestellt [64], [65]. Eine differenziertere Betrachtung bestimmter Regionen (zum Beispiel Hamburg und das Umland) konnte daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Darüber hinaus konnten über die verfügbaren Statistiken auch nicht die späteren Einsatzräume ermittelt werden.

Alle durchgeführten Erhebungen und Analysen zur Flottenzusammensetzung wurden mit bisherigen Studien und Abschätzungen zum Baumaschinenbestand in Deutschland verglichen. Darüber hinaus wurden die Mengenverhältnisse auch mit Angaben aus der UBA-Studie [2] verglichen. Die bisherige Datenlage wurde vor allem aber auch dafür genutzt, eine Einschätzung der Relevanz der einzelnen Baumaschinentypen zueinander herzustellen. Hierzu wurde auch der aktuelle deutschlandweite Maschinenabsatz als Statistik nach Branchen vom VDMA zur Verfügung gestellt.

Zur Schaffung einer für Hamburg spezifischen Datengrundlage zur Flottenzusammensetzung vor allem in Hinblick auf die verschiedenen Abgasnormen wurde eine Erhebung der tatsächlich in den Unternehmen eingesetzten Geräte durchgeführt. Hierzu erfolgte eine Datenabfrage bei Hamburger Unternehmen. Diese orientierte sich auch an den Empfehlungen des Forschungszentrums Allgäu FZA der Hochschule Kempten zur „Ermittlung des Baumaschinenbestandes in Deutschland (Nr. 47)“ [6].

3.3.2 Relevanz der Maschinentypen

Zur Identifikation der Anteile der zu den Luftschadstoffemissionen beitragenden Maschinentypen und der Ermittlung der Relevanz der einzelnen Typen erfolgte eine gutachterliche Abschätzung. Grundlage der Abschätzung waren bundesweite Daten zum Maschinenbestand. In Ergänzung dazu wurden auch weitere Eingangsdaten wie die des VDMA herangezogen.

Mit der gutachterlichen Abschätzung wurde bestimmt, welche Maschinen den größten Beitrag zu den Luftschadstoffemissionen leisten. Die weitere Berechnung erfolgte dann im Schwerpunkt hinsichtlich dieser Emittenten. Die detaillierte Ermittlung ist in Anlage B dargestellt. Zur Abschätzung der Relevanz einzelner Maschinentypen wurde eine Datenbasis der Maschinenanzahl aus den Meldungen des VDMA, ergänzt um darin fehlende Kategorien aus der UBA-Studie [2], erzeugt. Mit den gelieferten Anteilen, die der Bauwirtschaft zuzurechnen sind, sowie typischer Leistungsdaten und den Einsatzstunden (aus der UBA-Studie [2]) wurde eine gutachterliche Abschätzung des Anteils der jährlichen Maschinenleistungsstunden pro Jahr (kWh/a) erstellt (Abbildung 4).

Da sich die Emissionen direkt aus der Leistung (g/kWh) ableiten (siehe Definition der Emissionsfaktoren in Kapitel 2.4.1), war hiermit auch eine Abschätzung zu den Anteilen an den jeweiligen Emissionen (NO_x, PM) möglich (bei gleichen Emissionen der Maschinen, d.h. ein Maschinentyp verfügt nicht über eine bessere Motorentechnologie oder höhere Abgasstufen).

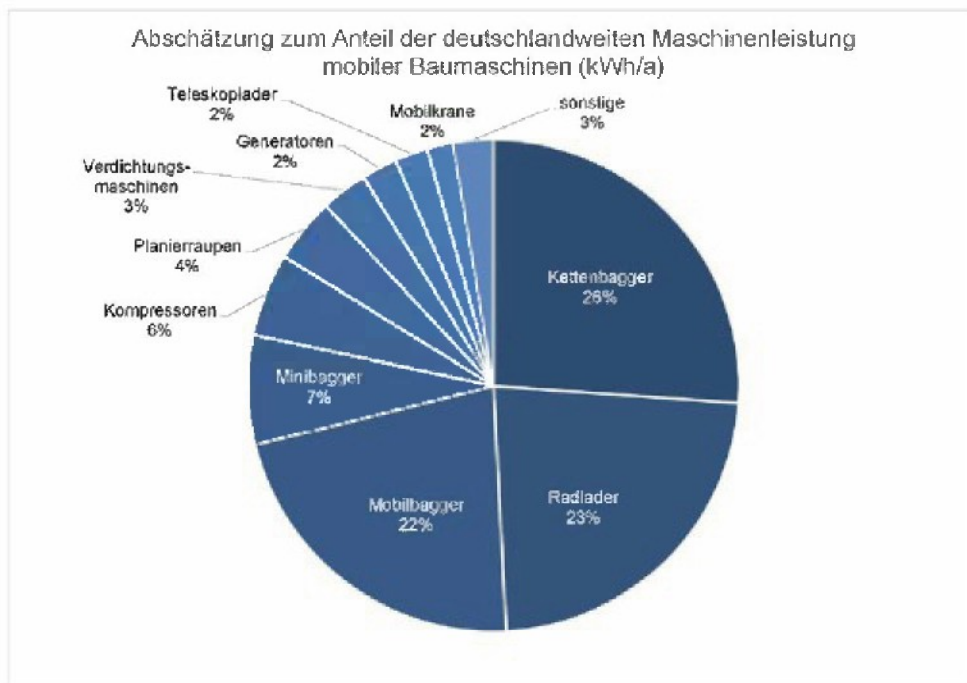


Abbildung 4: Abschätzung Anteil Maschinenleistung der Bauwirtschaft (Deutschland)

Für die deutschlandweite Abschätzung ergab sich, dass rund 78% der Maschinenleistungsstunden von Baggern (Rad/Kette/Mini) sowie Radladern erbracht wurden. Verdichtungsmaschinen trugen einen Anteil von rund 3 % bei, Kompressoren und Generatoren von zusammen rund 8 %. Von den sonstigen Maschinen wurden einzig Planierdrauben, Teleskoplader und Mobilkrane noch mit nennenswerten Anteilen ermittelt (je 2-3 %). Alle weiteren Maschinen tragen nur untergeordnet (< 1 %) zur jährlichen Maschinenleistung bei.

Bei der Ermittlung des Baumaschineneinsatzes (Kapitel 3.2) konnte daher aufgrund der geringen Arbeitsanteile kleinerer Geräte der Fokus auf die besser quantifizierbaren Maschinen (siehe 3.2.6) gelegt werden. Abweichungen durch Unsicherheiten bei den Stundenansätzen von Aggregaten (Pumpen, Kompressoren, Stromerzeuger) oder kleineren Verdichtungsmaschinen (Rüttelplatte, Vibrationsstampfer) haben dabei, im Gegensatz zu Abweichungen bei den Baggern und Radladern, nur einen geringeren Einfluss auf das Berechnungsergebnisse.

3.3.3 Datenabfrage bei Unternehmen

Mit Projektbeginn wurden unterschiedliche Firmen mit Sitz innerhalb und außerhalb des Hamburger Stadtgebietes kontaktiert. Neben kleineren und mittelgroßen Bauunternehmen wurden auch Großkonzerne zu ihren Aktivitäten und zu ihren Maschinenbeständen im Hamburger Stadtgebiet befragt. Dabei wurden Daten zu durchschnittlichen Einsatzzeiten sowie die technischen Spezifikationen wie Abgasstufe, Leistungsdaten, Verbrauchsdaten u.ä. der einzelnen Maschinen erfasst.

3.3.3.1 Umfang

Unter den kontaktierten Unternehmen befinden sich alle Unternehmen, die in der sogenannten „Liste N“ und „Liste FN“ (Liste FN: „Firmen die im Bereich der FHH auf öffentlichem Grund mit Wiederherstellungsarbeiten nach Aufgrabungen in Fahrbahnflächen und Nebenflächen beauftragt werden dürfen“, Liste N: dito, jedoch nur für Nebenflächen) mit Stand 11.08.2017 enthalten waren [57]. Die Abfrage der eingesetzten mobilen Maschinen umfasste neben Informationen zu Herstellern und Modellbezeichnung auch die Leistungs- und Verbrauchsdaten, Abgasstufen, das Baujahr sowie die jährlich geleisteten Arbeitsstunden insgesamt und anteilig im Hamburger Stadtgebiet.

3.3.3.2 Auswertung der meldenden Firmen

Die teilnehmenden Firmen deckten in ihren Leistungsspektren die Bereiche Baumaschinenverleih, Tiefbau, Hochbau, Straßenbau, Kanal- und Leitungsbau, Gleisbau, Ingenieursbau, Hafen- und Wasserbau sowie teilweise auch den Garten- und Landschaftsbau ab.

Die Unternehmensgrößen variierten und umfassten kleine Betriebe mit bis zu 10 Mitarbeitern bis hin zu Großbetrieben und -konzernen mit mehreren hundert Mitarbeitern. Auf Grund der Vielfalt der Leistungsfelder sowie der Betriebsgrößen kann die Flottensammensetzung aus den Rückmeldungen als repräsentatives Abbild eines durchschnittlichen Bestandes an mobilen Baumaschinen im Hamburger Stadtgebiet angesehen werden.

3.3.3.3 Auswertung der Maschinenflotten

Die in der Abfrage erfassten mobilen Maschinen ließen sich in 37 Kategorien einteilen. Davon entfielen rund 96 % auf die 19 häufigsten Kategorien mit einem Anteil von jeweils über 0,5 % (Abbildung 5).

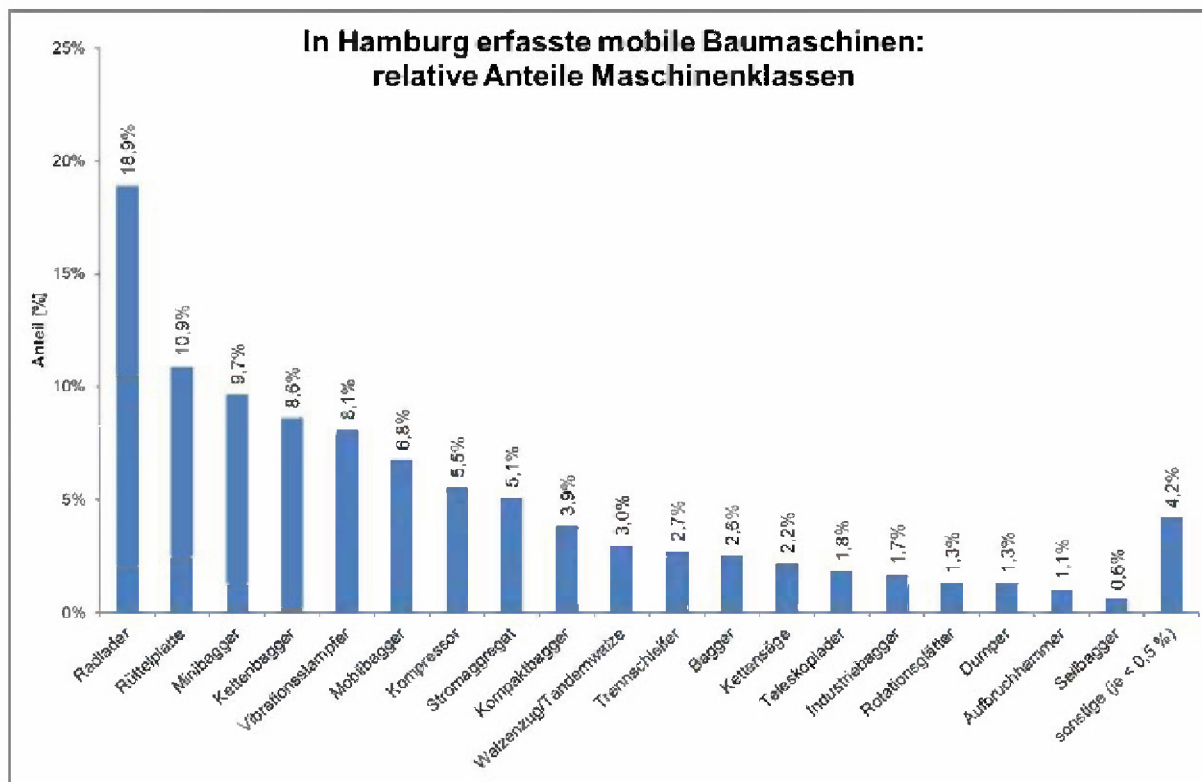


Abbildung 5: Anteil erfasster Maschinenklassen von mobilen Baumaschinen in Hamburg

Die in Hamburg erfassten Maschinen wiesen Baujahre von 1984 bis 2017 auf (vgl. Abbildung 6). Allerdings zeigte sich, dass Fahrzeuge ab Baujahr 1999 (Inkrafttreten der Abgasstufe I nach Richtlinie 97/68/EG) und später zusammen einen Anteil von 95,5 % der zurückgemeldeten Maschinen ausmachten. Im Ergebnis sind somit nur noch sehr wenige Maschinen (3,2 %) aus den Baujahren vor 1999 bei den im Hamburger Stadtgebiet tätigen Unternehmen im Einsatz. Letztere unterliegen unabhängig von der Motorleistung keinerlei Regulierung der Abgasemissionen, während Fahrzeuge ab Baujahr 1999 leistungsabhängig mindestens der Abgasstufe I zuzuordnen sind und je nach Baujahr und Leistungsklasse in strengere Abgasstufen eingeteilt werden. Lediglich 1,3% der mobilen Maschinen konnten keinem Baujahr zugeordnet werden.

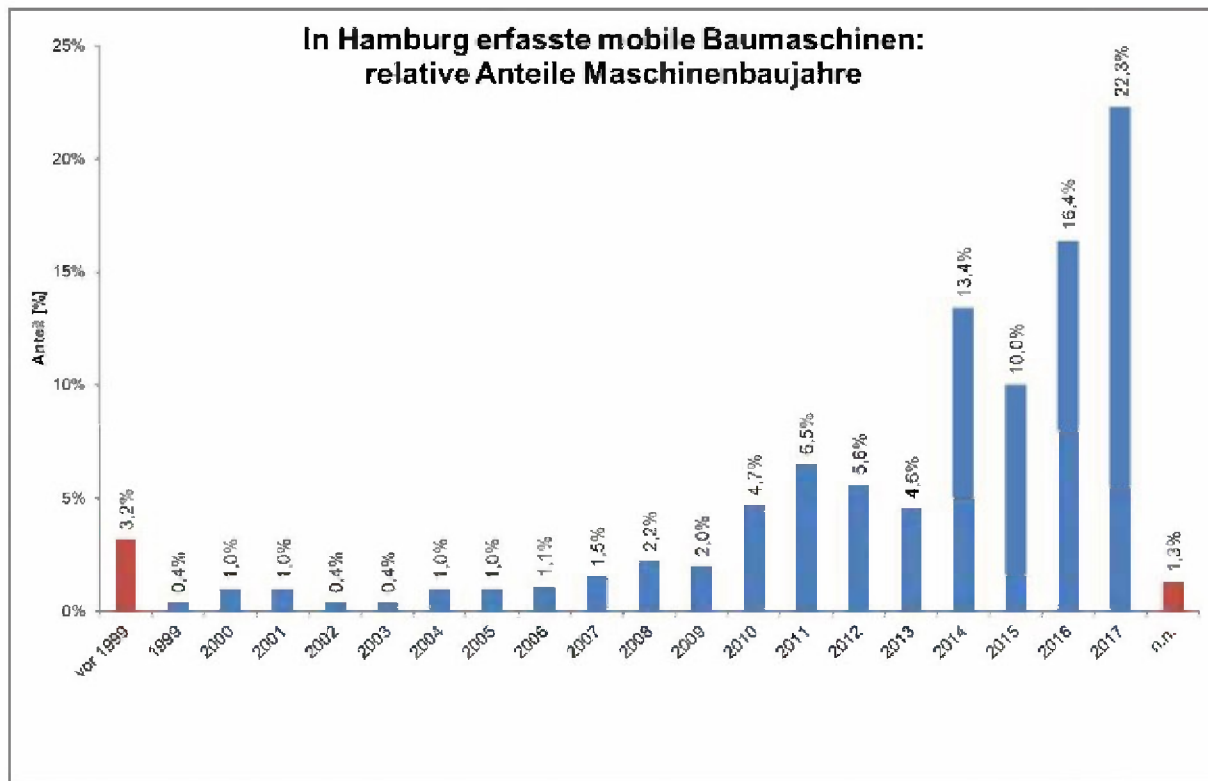


Abbildung 6: Anteil erfasster mobiler Baumaschinen in Hamburg nach Baujahr

Die Verteilung der Baujahre spiegelt sich auch in der Verteilung der identifizierten Abgasstufen wider (vgl. Abbildung 7). Sofern Daten zu den Abgasstufen von den Unternehmen übermittelt wurden, wurden diese für die Auswertung übernommen. Bei unvollständigen und nicht plausiblen Datensätzen wurden die Abgasstufen, sofern möglich, aus den Typenbezeichnungen, Motorleistung und dazugehörigen Baujahren ermittelt und für die Auswertung bereinigt.

Rund 50% der in Hamburg erfassten mobilen Maschinen unterliegen den EU-Abgasstufen IIIA (22,6%) und IIIB (18,9%) sowie IV (9,3%) (vgl. Abbildung 7). Maschinen der Abgasstufen I und II besitzen mit <2% Anteil an der Gesamtflotte einen nur geringen Stellenwert. Rund 39% der Maschinen unterliegen hingegen keinerlei Regulierung durch eine Abgasstufe. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Maschinen, die auf Grund Ihrer Leistung von <19 kW keiner Regulierung bei den Emissionen unterliegen und nebensächlich um Maschinen, die auf Grund ihres Alters keine Abgasstufe besitzen. Gemäß Richtlinie 97/68/EG müssen nur die mobilen Maschinen der Leistungsklassen >19 kW und <560 kW die Anforderungen der leistungs- und baujahrabhängigen Abgasstufe erfüllen.

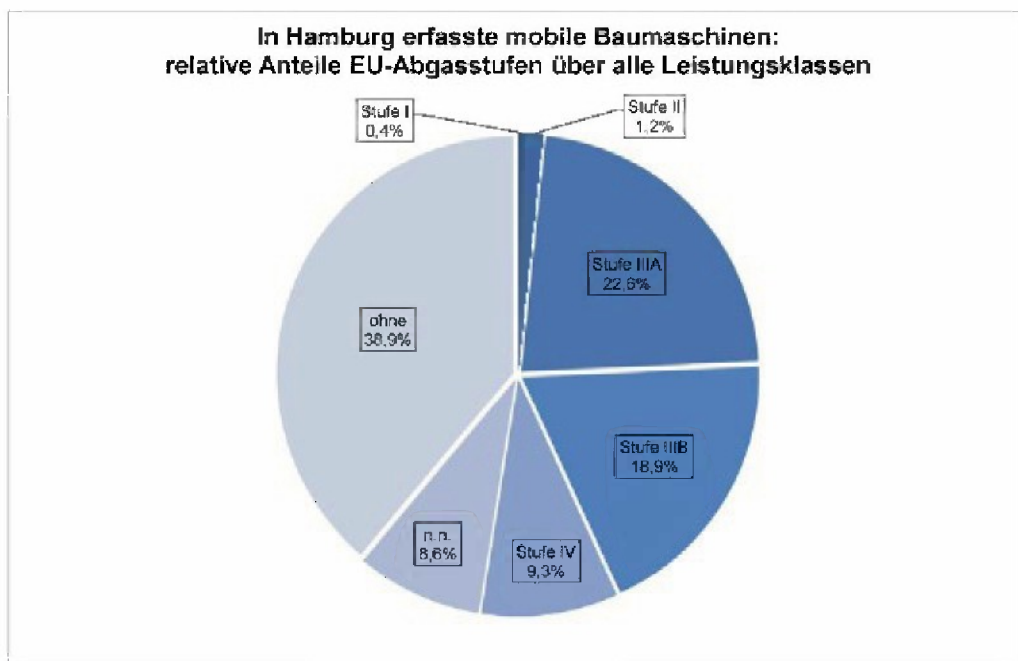


Abbildung 7: Relative Abgasstufen erfasster mobiler Baumaschinen im Hamburger Stadtgebiet

Betrachtet man lediglich die Maschinen, die auf Grund Ihrer Leistung (>19 kW) überhaupt der Regulierung einer Abgasstufe unterliegen können, wird die Verteilung noch deutlicher (vgl. Abbildung 8). Von den erfassten mobilen Maschinen im Hamburger Stadtgebiet unterliegen 5,2% auf Grund ihres Baujahres keinerlei Regulierung durch eine Abgasstufe. Für weitere 13,4% der mobilen Maschinen konnte auf Grund unvollständiger Angaben keine Abgasstufe ermittelt werden. Alle weiteren Maschinen unterliegen zu großen Teilen den Abgasstufen IIIA (35,1%), IIIB (29,3%) und IV (14,5%). Lediglich 2,6% der Maschinen wurden durch die Abgasstufen I und II in ihren Emissionen reguliert.

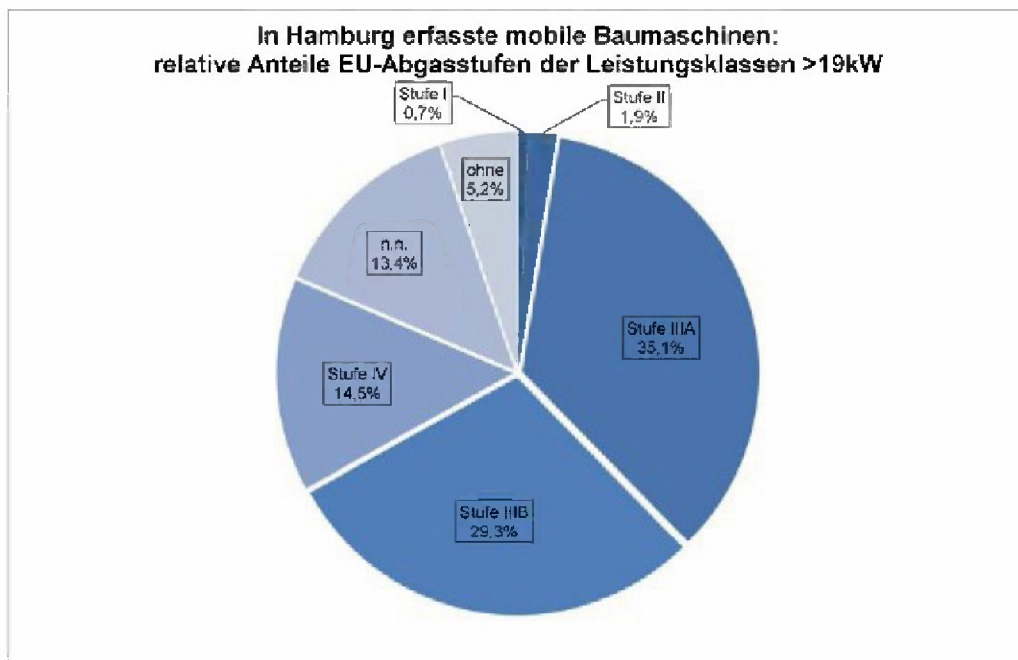


Abbildung 8: Relative Anteile Abgasstufen erfasster mobiler Baumaschinen in Hamburg der Leistungsklassen >19kW

Auffällig ist der hohe Anteil an Geräten der niedrigen EU-Leistungsstufen. So haben die in Hamburg erfassten mobilen Maschinen der EU-Leistungsklasse 0-19 kW einen Anteil von ca. 35,5% aller zurückgemeldeten Maschinen. Die Anteile in den höheren Leistungsklassen fallen mit Werten zwischen 4,1 und 16,40% ungleich geringer aus. Auf Grund fehlender Daten konnten rund 9,7% der zurückgemeldeten Maschinen keiner Leistungsklasse zugeordnet werden (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Anteil nach EU-Leistungsklassen der in Hamburg erfassten mobilen Baumaschinen

EU Leistungsklassen [kW]	Anteil [%]
0-19	35,5
19-37	16,4
37-56	13,4
56-75	4,5
75-130	16,4
130-560	4,1
n.n.	9,7
Gesamtergebnis	100,0

3.3.3.4 Auswertung Abgasstufen

Für relevante und/oder häufig im Hamburger Stadtgebiet eingesetzte mobile Maschinen erfolgte die Auswertung der relativen Anteile der verschiedenen Abgasstufen entsprechend der EU-Leistungsstufen (Tabelle 12 bis Tabelle 19). Die Tabellen zeigen gerundete Werte, Werte kleiner 0,5 % sind nicht dargestellt.

Radlader

Bei den Radladern wiesen rund 97% der gemeldeten Maschinen die Abgasstufe IIIA oder besser auf. Lediglich 2 % der Radlader entsprachen noch der Abgasstufe II (Tabelle 12).

Tabelle 12: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Radladern

Radlader	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	-	-	2%	42%	43%	12%	-	100%
19-37 kW	-	-	-	25%	-	-	-	25%
37-56 kW	-	-	2%	9%	30%	-	-	40%
56-75 kW	-	-	-	5%	4%	2%	-	11%
75-130 kW	-	-	-	3%	6%	5%	-	15%
130-560 kW	-	-	-	-	4%	5%	-	9%

Rüttelplatten

Auf Grund der geringen Motorenleistungen unterlagen 97% der gemeldeten Rüttelplatten keiner Abgasstufe (Leistung <19 kW). Für 2% der Meldungen lagen keine Angaben zu den Leistungsdaten vor, so dass keine Aussage über die zugehörige Abgasstufe getroffen werden kann (Tabelle 13).

Tabelle 13: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Rüttelplatten

Rüttelplatte	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	97%	-	-	-	1%	-	2%	100%
0-19 kW	97%	-	-	-	-	-	-	97%
37-56 kW	-	-	-	-	1%	-	-	1%
n.n.	-	-	-	-	-	-	2%	2%

Minibagger

Ähnlich der Rüttelplatten waren rund 80% der gemeldeten Minibagger leistungsbedingt (<19 kW) keiner gültigen Abgasstufe zuzuordnen. In der Leistungsklasse 19-37 kW fanden sich 16 % der gemeldeten Minibagger mit der Abgasstufe IIIA. In Einzelfällen lieferten die befragten Firmen auch Minibagger in der Leistungsklasse >37 kW. In diesen Einzelfällen handelt es sich allerdings voraussichtlich um Ketten-/Mobilbagger (Tabelle 14).

Tabelle 14: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Minibaggern

Minibagger	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	81%	-	-	16%	3%	-	-	100%
0-19 kW	81%	-	-	-	-	-	-	81%
19-37 kW	-	-	-	16%	-	-	-	16%
37-56 kW	-	-	-	-	2%	-	-	2%
56-75 kW	-	-	-	-	1%	-	-	1%

Hinweis: Einzelne Fahrzeuge mit einer Leistung von >37 kW wurden in den Datensätzen als Minibagger übermittelt. De facto handelt es sich in diesen Einzelfällen aber um Ketten-/Mobilbagger

Kettenbagger

Bei den Kettenbaggern unterlagen ca. 97% der gemeldeten Maschinen leistungsabhängig der Abgasstufe IIIA oder besser. Lediglich 3 % der Kettenbagger entfielen auf die Abgasstufe II (leistungsstarke Modelle) oder waren altersbedingt keiner Abgasstufe zuzuordnen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Kettenbaggern

Kettenbagger	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	1%	-	2%	36%	35%	27%	-	100%
19-37 kW	-	-	-	22%	-	-	-	22%
37-56 kW	-	-	-	-	8%	-	-	8%
56-75 kW	-	-	-	3%	-	1%	-	4%
75-130 kW	1%	-	1%	7%	21%	23%	-	54%
130-560 kW	-	-	1%	3%	5%	2%	-	11%

Mobilbagger

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei den Mobilbaggern, von denen rund 93% leistungsabhängig der Abgasstufe IIIA oder besser zugeordnet werden konnten. Auffällig ist jedoch, dass die Abgasstufen IIIB und IV stärker vertreten sind. Hier wirken sich neben den jüngeren Baujahren auch die strengeren Abgasstufen für höhere Leistungsklassen >37 kW auf die Verteilung der Abgasstufen aus (vgl. Abbildung 3). Ca. 6% der Mobilbagger konnte altersbedingt keine Abgasstufe zugeordnet werden (Tabelle 16).

Tabelle 16: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Mobilbaggern

Mobilbagger	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	6%	-	1%	13%	38%	42%	-	
19-37 kW	1%	-	-	3%	-	-	-	4%
37-56 kW	-	-	1%	1%	6%	-	-	9%
56-75 kW	1%	-	-	-	3%	4%	-	8%
75-130 kW	4%	-	-	8%	29%	38%	-	78%
130-560 kW	-	-	-	1%	-	-	-	1%

Aggregate

Bei den Kompressoren (Tabelle 17) und Stromerzeugern (Tabelle 18) finden sich jeweils 24% der Geräte, die alters- (Leistungsklassen >19 kW) oder leistungsbedingt (<19kW) keiner Abgasstufe zuzuordnen sind. Zudem waren die Angaben der befragten Firmen in vielen Fällen unvollständig (z.B. fehlende Leistungsdaten), so dass bei 29% der Kompressoren und 60% der Stromerzeuger keine Aussage zu möglichen Abgasstufen getroffen werden konnte. Weiterhin sind auch noch Geräte der Abgasstufen I und II im Einsatz.

Tabelle 17: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Kompressoren

Kompressor	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	24%	-	5%	41%	-	2%	29%	
0-19 kW	2%	-	-	-	-	-	-	2%
19-37 kW	16%	-	5%	41%	-	-	-	62%
37-56 kW	2%	-	-	-	-	-	-	2%
75-130 kW	2%	-	-	-	-	2%	-	3%
n.n.	3%	-	-	-	-	-	29%	32%

Tabelle 18: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Stromerzeugern

Stromerzeuger	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unbekannt	
	24%	3%	2%	5%	2%	3%	60%	
0-19 kW	16%	-	-	-	-	-	-	16%
19-37 kW	-	-	-	3%	-	-	-	3%
37-56 kW	2%	-	2%	-	-	-	-	3%
56-75 kW	2%	-	-	-	-	-	-	2%
75-130 kW	-	2%	-	2%	-	3%	-	7%
n.n.	5%	2%	-	-	2%	-	60%	69%

Walzen und Walzenzüge

Sofern sie nicht leistungsbedingt (<19kW) unreguliert waren, entsprachen alle zurückgemeldeten Walzen leistungsabhängig der Abgasstufe IIIA oder besser (Tabelle 19).

Tabelle 19: Verteilung (relative Anteile) der Abgasstufen in Abhängigkeit der Maschinenleistung von in Hamburg erfassten Walzen

Walzenzug/ Tandemwalze	Abgasstufe							Σ
	ohne	I	II	IIIA	IIIB	IV	unb.	
	35%	-	-	24%	35%	6%	-	
0-19 kW	35%	-	-	-	-	-	-	35%
19-37 kW	-	-	-	6%	-	-	-	6%
37-56 kW	-	-	-	3%	21%	-	-	24%
56-75 kW	-	-	-	15%	9%	3%	-	26%
75-130 kW	-	-	-	-	6%	3%	-	9%

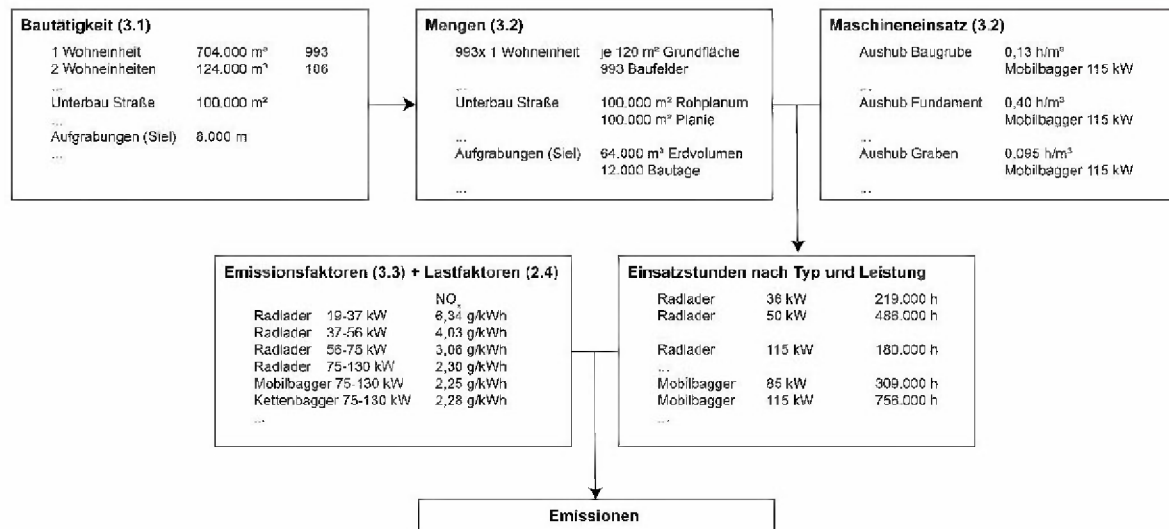
3.3.4 Zusammenfassung

Im Ergebnis der Datenerhebung wurden Aussagen zur Verteilung der Abgasstufen verschiedener Gerätetypen (Radlader, Mobilbagger,...) in den unterschiedlichen Leistungsklassen (z.B. „19-37 kW“) erzeugt. Die Zusammensetzung der Maschinen hinsichtlich der Verteilung der Abgasstufen pro Leistungsklasse wurde entsprechend der Ergebnisse in Tabelle 12 bis Tabelle 19, angesetzt.

Anhand dieser Verteilung wurde zusammen mit den Emissionsfaktoren (Kapitel 2.4.1) sowie den Faktoren für Dynamik und Verschleiß (Kapitel 2.4.3) jeweils pro Geräte- und Leistungsklasse ein mittlerer Emissionsfaktor gebildet, der später in die Berechnungen einging. Für den Verschleiß wurde davon ausgegangen, dass alle Geräte mit Abgasstufe I und II bereits ein Maschinenalter von 3.800 Betriebsstunden erreicht haben. Daher wurde der Alterungsfaktor für diese Geräte einheitlich mit 1,2 auf die Partikelemissionen angewendet. Die resultierenden Emissionsfaktoren sind in Anlage C für die betrachteten Maschinentypen dargestellt.

3.4 Berechnungen und Ergebnisse

3.4.1 Berechnungsverfahren



In den Berechnungen wurden die zuvor erhobenen Datengrundlagen verarbeitet, um die durchschnittlichen jährlichen Luftschadstoffemissionen sowohl für Stickstoffdioxid (NO_x) als auch Partikel (PM) zu berechnen. Die Emissionen ergeben sich aus den in Kapitel 3.3 erhobenen durchschnittlichen Emissionsfaktoren *EF*, kategorisiert nach Maschinentyp und Leistungsklasse, in Verbindung mit typischen Lastfaktoren *LF* (siehe Kapitel 2.4). Durch die Multiplikation mit der Maschinennennleistung *P* und den *Einsatzstunden* ergeben sich dann die Gesamtemissionen eines Luftschadstoffs.

$$Emission_S = \sum_{T,L} LF_T * EF_{T,L,S} * Einsatzstunden_{T,L} * P_L$$

EF: Emissionsfaktor (siehe 2.4.1 und 3.3.4)

LF: Lastfaktor (siehe 2.4.2)

P: Nennleistung

L: Leistungsklasse

T: Maschinentyp

S: Schadstoff

Die Einsatzstunden wurden pro Maschinentyp und Leistungsklasse über die aus den Bautätigkeiten ermittelten Mengen und den dazu angesetzten Arbeitsstunden berechnet. Das Vorgehen zur Ermittlung wird in Kapitel 3.2 beschrieben. Die jeweilige Menge der Tätigkeiten wurde anhand der Daten aus Kapitel 3.1 nach dem ebenfalls in Kapitel 3.2 beschriebenen Verfahren ermittelt.

Im ersten Berechnungsschritt ergibt sich somit eine Auflistung der Einsatzstunden, getrennt nach Maschinentyp und Leistungsklasse (siehe auch Anlage C). Aus dieser Matrix wurden dann durch Summierung der Multiplikation mit den Faktoren Leistung, Lastfaktor und Emissionsfaktor die tatsächlichen Emissionen ermittelt.

3.4.2 Zwischenergebnisse

Insgesamt wurden in den Berechnungen für die drei Kategorien Bagger (Mobil- und Kettenbagger), Minibagger sowie Radlader über 3 Mio. Betriebsstunden in verschiedenen Leistungsklassen berücksichtigt. Nach der Abschätzung in Kapitel 3.3.2 konnte davon ausgegangen werden, dass die drei Kategorien Bagger (Mobil- und Kettenbagger), Minibagger sowie Radlader rund 80 % der Arbeitsstunden abdecken.

Der Einsatz verschiedener Maschinen (Verdichtungsmaschinen, Fertiger, Planierraupen, Aggregate, Ramm- und Bohrgeräte usw.) wurde zudem mit einer zum Teil deutlich geringeren Detaillierung bezüglich des jeweils anzusetzenden Maschineneinsatzes modelliert (siehe auch Fehlerbetrachtung in Kapitel 3.4.2). In Summe wurden hiermit über 4 Mio. Einsatzstunden berücksichtigt.

Die Leistungsstunden (kWh) verteilen sich dabei wie in Abbildung 9 dargestellt. 67 % der Einsatzstunden entfallen demnach auf die Bagger, 17 % auf Radlader sowie 4 % auf Minibagger. Gegenüber der Vorabschätzung (siehe Kapitel 3.3.2) hatten somit die Mobil- und Kettenbagger einen höheren Anteil, die Radlader und Minibagger einen geringeren.

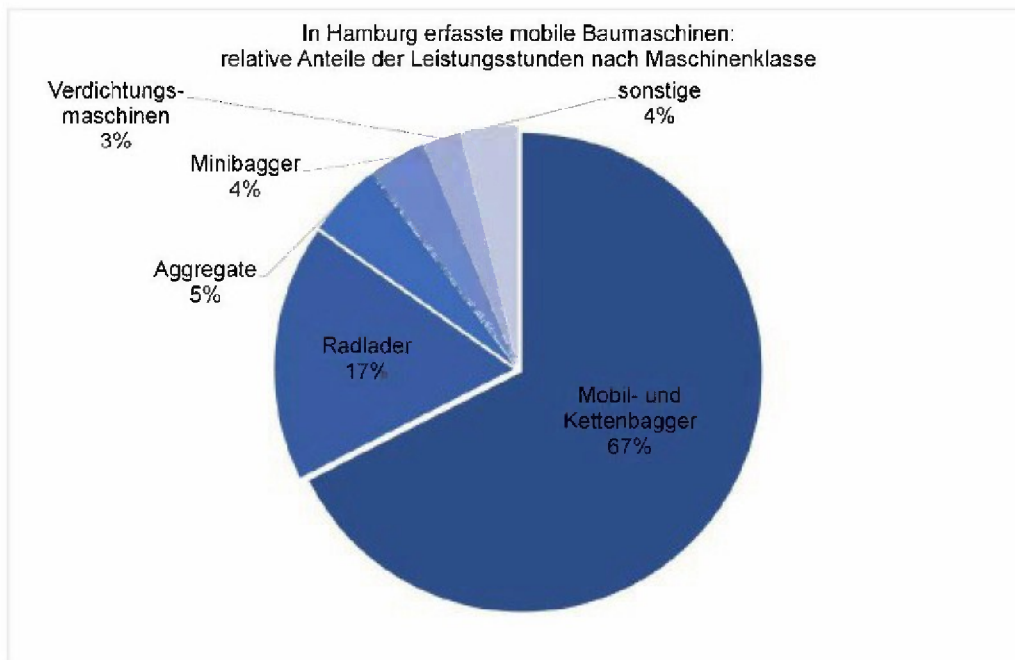


Abbildung 9: Relative Anteile der anfallenden Leistungsstunden in einem durchschnittlichen Jahr, ermittelt im Hamburger Stadtgebiet nach erfassten Gerätetypen

Die Modellierung der Emissionen erfolgte getrennt nach den zuvor genannten Teilgebieten Hoch- und Tiefbau, für den Tiefbau auch getrennt nach den Fachgebieten Kanal- und Leitungsbau, Straßen- und Wegebau sowie weiteren Tiefbauten. Die Verteilung der Einsatzstunden auf die Bereiche ist in Abbildung 10 dargestellt.

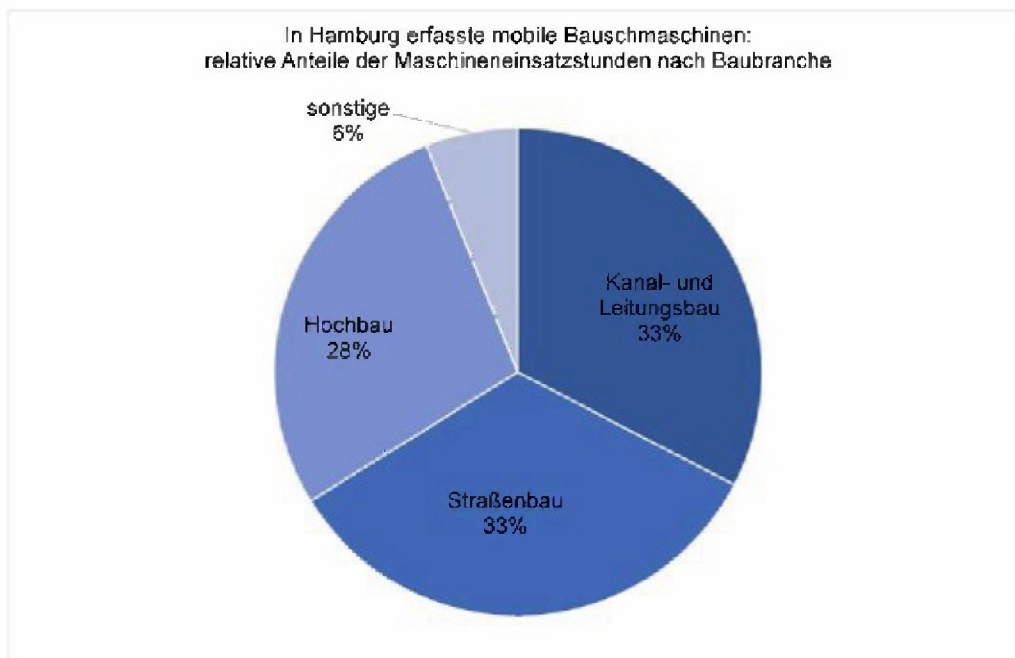


Abbildung 10: Relative Anteile der anfallenden Maschineneinsatzstunden in einem durchschnittlichen Jahr, ermittelt im Hamburger Stadtgebiet nach Einsatzgebiet

Unter Berücksichtigung der vom VDMA abgeschätzten Anteile der Geräte in den Anwenderbranchen erscheint die Verteilung grundsätzlich schlüssig. Den größten Anteil stellte der Straßen- sowie der Kanal- und Leitungsbau, gefolgt vom Hochbau.

3.4.3 Ergebnisse

In Summe wurden für die Bauwirtschaft **NO_x-Emissionen von rund 336 t** pro Jahr sowie **PM-Emissionen von rund 21 t pro Jahr** ermittelt. Bei der Betrachtung der Verteilung der NO_x- und PM-Emissionen auf die Einsatzgebiete (Abbildung 11 und Abbildung 12) zeigten sich geringe Abweichungen zum Anteil der Maschineneinsatzstunden. Die Abweichung erklärt sich durch die unterschiedliche Verteilung der Gerätetypen und Leistungsklassen zueinander.

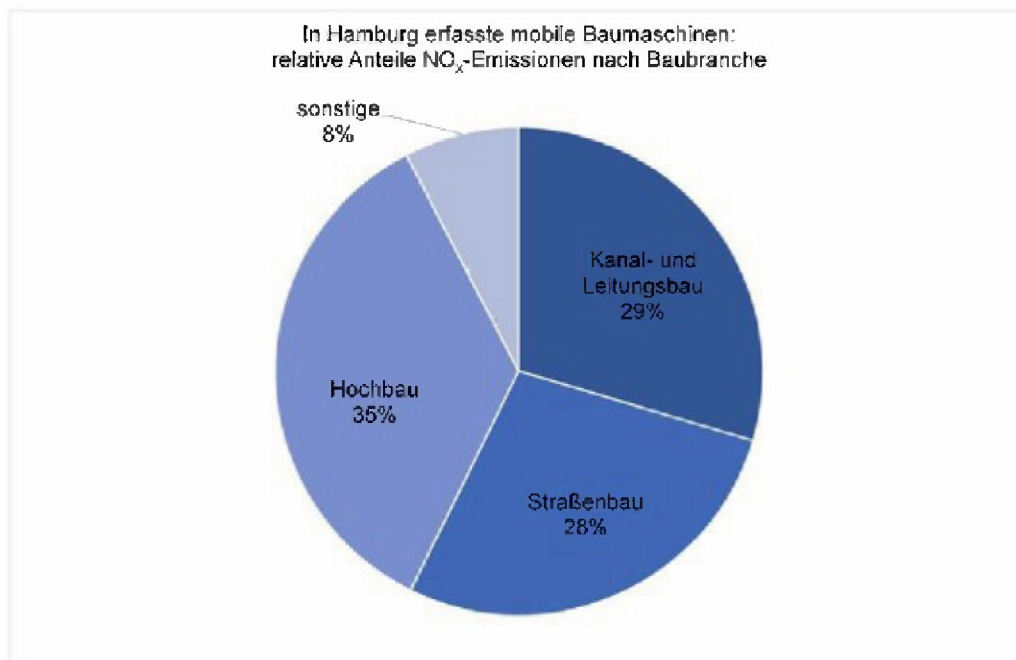


Abbildung 11: Relative Anteile der jeweiligen Tätigkeitsfelder der Bauwirtschaft an den anfallenden NO_x-Emissionen in einem durchschnittlichen Jahr, ermittelt im Hamburger Stadtgebiet

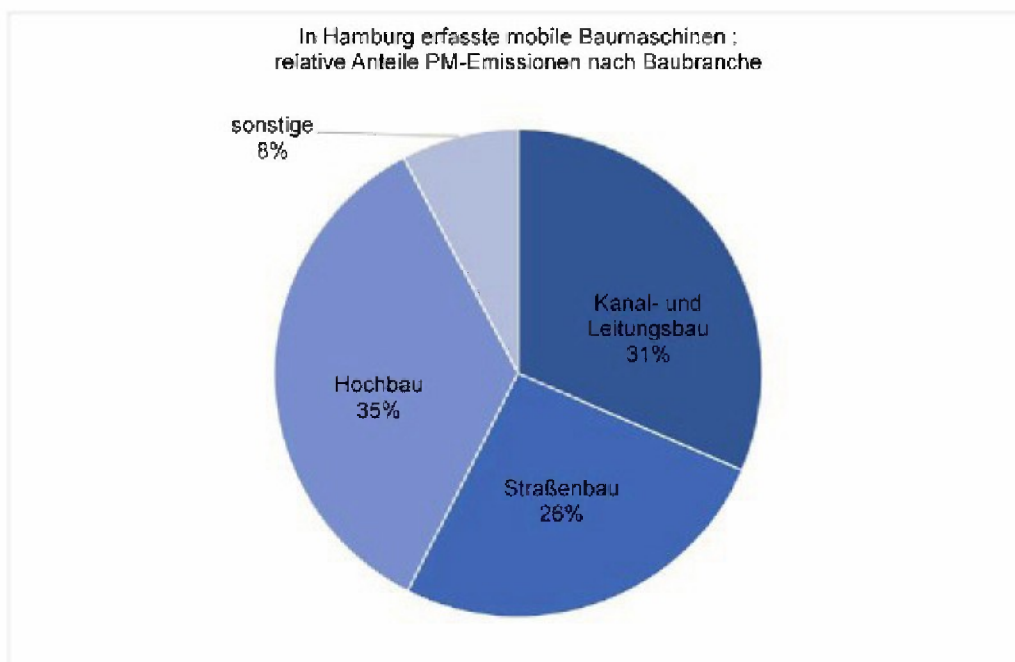


Abbildung 12: Relative Anteile der jeweiligen Tätigkeitsfelder der Bauwirtschaft an den anfallenden PM-Emissionen in einem durchschnittlichen Jahr, ermittelt im Hamburger Stadtgebiet

3.4.4 Fehlerbetrachtung

In die Berechnung gehen, wie zuvor beschrieben, verschiedene Faktoren ein, die unterschiedliche Fehlertoleranzen aufweisen. Durch das multiplikative Verfahren wirken sich die einzelnen Abweichungen gemeinsam aus. Dabei können sich die einzelnen Unsicherheiten gegenseitig verstärken, aber auch abschwächen.

In den Veröffentlichungen zu TREMOD-MM wird keine quantitative Fehlerabschätzung vorgenommen, sondern die Unsicherheiten werden qualitativ dargestellt. Auch im Rahmen dieser Fehlerbetrachtung sind aus gutachterlicher Sicht nicht alle Faktoren mit einer Unsicherheit zu quantifizieren. Trotzdem soll zumindest eine Abschätzung zu möglichen Unsicherheiten erfolgen.

Zu den Emissionsfaktoren wird in TREMOD-MM ausgeführt, dass diese im Unterschied zum Straßenverkehr nicht die gleiche Datengüte aufweisen. Im Straßenverkehr liegt mit dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.3 [58]) eine umfangreiche Datenbasis zum Emissionsverhalten unterschiedlicher Fahrzeugtypen bei realen Fahrzyklen vor. Die Emissionsdaten zu mobilen Maschinen hingegen sind aus den Typprüfdaten aus stationären Zyklen abgeleitet. Den Daten liegen teilweise auch (ältere) Studien zugrunde, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die veröffentlichten Emissionsfaktoren zu mobilen Maschinen grundsätzlich in ihrer Ausprägung ausreichend genau sind.

Zusätzlicher Einflussfaktor bei der Berechnung der Emissionen ist auch der Lastfaktor. Hier liegen auch in TREMOD-MM sowie der EMPA-Datenbank verschiedene Literaturwerte zu Grunde, die unterschiedlich stark variieren. Es kann trotzdem von einer guten Übereinstimmung ausgegangen werden, die in ihrer Größenordnung auch durch Erfahrungen von mehreren am Bau Beteiligten bestätigt wurden.

Bei der Ermittlung des gesamten Baumaschineneinsatzes unter Berücksichtigung der Leistung (kWh) sind sowohl die klassifizierte Leistungen, die angesetzten Maschineneinsätze pro Bezugsgröße/Menge (m^2 Baufläche, m^3 bewegtes Erdvolumen) sowie die ermittelten Bezugsgrößen von Relevanz.

Bei der Ermittlung der Baustellenhäufigkeiten wurde größtenteils auf veröffentlichte Statistiken und umfassende Erhebungen zurückgegriffen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese Angaben besonders beim Hochbau aber auch beim Straßentiefbau grundsätzlich in ihrem Volumen präzise vorliegen. Die größten Abweichungen werden für den Kanal- und Leitungsbau erwartet, da hier für viele Bauträger keine Daten vorliegen.

Bei den klassifizierten Leistungen wird von typischen Maschinenleistungsklassen ausgegangen. Die Klassifizierung erfolgte in Anlehnung an tatsächliche Maschinentypen verschiedener Hersteller. Die Leistungsklasse ergibt sich aus den Ansätzen zu Einsatzstunden aus der Literatur. Sie orientierte sich allgemein an der Obergrenze der jeweiligen Leistungsklasse (z.B. Radlader bis einschließlich 56 kW).

Die Abweichungen, die bei den angesetzten Leistungen im Vergleich zu real eingesetzten Maschinen auftreten können, werden jedoch durch die Ansätze zu den Einsatzstunden pro Bezugsgröße kompensiert. Die Literaturquellen gehen meist von einer Einsatzdauer bei einer gewissen Leistung aus. Sofern die Leistung der Maschine höher ist, werden in der Regel geringere Arbeitszeiten benötigt. In der Kombination von angesetzter Leistung und angesetzter Arbeitszeit pro Bezugsgröße gehen wir daher davon aus, dass nur geringe Abweichungen auftreten.

Die angesetzten Maschinenarbeitszeiten basieren auf verschiedenen Literaturquellen, die in ihren Größenordnungen vergleichbare Werte aufweisen. Bei der Differenzierung verschiedener Tätigkeiten sowie unterschiedlicher Rahmenbedingungen (Bodenbeschaffenheit, Baustellengröße) unterscheiden sich die Literaturwerte. Zwischen den einzelnen Quellen gibt es Abweichungen, die jedoch sehr deutlich auf systematische Unterschiede zurückzuführen sind. Je nach Detaillierung sind Arbeitsschritte getrennt oder zusammengefasst (z.B. „Aushub Graben“ oder vollständiger Arbeitsprozess „Grabenarbeiten“ einschließlich Verfüllen und ggf. Zwischenlagerung). Insgesamt decken sich die ermittelten Arbeitszeiten für exemplarische Tätigkeiten mit Erfahrungswerten aus Baustellenbegehungen. Auch bei Auswertungen von Bauablaufplänen und Bauabläufen konnten die Ansätze in der jeweiligen Größenordnung verifiziert werden.

Die größten Unsicherheiten ergeben sich in den Berechnungen bei der Quantifizierung des Einsatzes von Aggregaten, d.h. Pumpen, Kompressoren und Stromerzeugern. Hierzu liegen in der Literatur keine Werte zu typischen Einsatzstunden vor. Die genannten Maschinen werden auf vielen Baustellen zudem als „Hilfsgeräte“ regelmäßig aber nicht sicher quantifizierbar eingesetzt. Selbst beim Einsatz von Pumpen zur Wasserhaltung auf Baustellen liegen keine verlässlichen Daten vor, um eine Einsatzhäufigkeit verlässlich abschätzen zu können.

Für die Berechnung der tatsächlichen Emissionen wurden einmal lediglich die größten Emittentengruppen, Bagger (Mobil- und Kettenbagger), Minibagger sowie Radlader, und einmal sämtliche Maschinen in den Berechnungen berücksichtigt. Nach der Abschätzung in Kapitel 3.3.2 konnte davon ausgegangen werden, dass die drei Kategorien rund 80 % der Arbeitsstunden abdecken. Es soll daher überschlägig geprüft werden, ob eine Korrektur der kleineren Maschinenauswahl um rund 25 % (Faktor 1,25) die Ergebnisse bestätigt.

Bei den Einsatzstunden wurden 3 Mio. Stunden gegenüber 4 Mio. Stunden ermittelt. Dies ist durch den Faktor 1,25 bestätigt. Bei den Emissionen ergeben sich für das Hamburger Stadtgebiet für die Bagger und Lader NO_x -Emissionen von rund 267 t pro Jahr sowie PM-Emissionen von rund 14 t pro Jahr. Mit einem Faktor 1,25 multipliziert liegen diese Werte geringfügig (NO_x) bzw. deutlich (PM) unter den Berechnungsergebnissen.

Nach dem Vergleich der Berechnungsergebnisse ergab sich, dass trotz der besseren Datenbasis der Verteilung der Abgasstufen für Radlader, Bagger und Minibagger sowie

der verlässlicheren Angaben zu Einsatzstunden eine Berücksichtigung der übrigen Maschinen zu einem vergleichbaren Ergebnis führte. Um auch Maßnahmen an diesen Maschinen prüfen zu können, wurde der vollständige Berechnungsansatz beibehalten.

3.4.5 Bewertung der Ergebnisse

Die Berechnungsergebnisse bestätigen, dass die Bauwirtschaft einen relevanten Beitrag zu den Emissionen durch mobile Maschinen beiträgt. Diese sind dabei wesentlich geprägt von den Emissionen aus vier Maschinentypen: Radladern, Ketten-, Mobil- und Minibaggern. Diese Maschinen weisen auch den höchsten Bestand auf. Neben den Aggregaten (Pumpen, Kompressoren, Stromerzeuger) tragen alle weiteren Maschinentypen jeweils nur untergeordnet, in der Summe zu rund 20 % zu den Gesamtemissionen bei. Im Rahmen möglicher Emissionsminderungsszenarien ist dies zu berücksichtigen: Maßnahmen sollten bevorzugt auf die Masse der Maschinen wirken, um einen relevanten Effekt zu erzeugen.

In der zweiten Fortschreibung des Luftreinhalteplans Hamburg [1] wurden für den Straßenverkehr jährliche Gesamtemissionen für NO_x in Höhe von 5.949 t berechnet. Der Straßenverkehr steht damit nach dem Schiffsverkehr (7.944 t NO_x p.a.) an zweiter Stelle der relevanten NO_x -Emittenten im Hamburger Stadtgebiet. Insgesamt gibt der Luftreinhalteplan eine jährliche NO_x -Emission von 20.471 t (einschließlich des Offroad-Verkehrs) im Hamburger Stadtgebiet an.

Die im vorliegenden Gutachten berechneten 336 t NO_x jährlich, die durch die gesamten Hamburger Bauwirtschaft emittiert werden, entsprechen somit einem Anteil von unter 6 % der Emissionen des Straßenverkehrs. Im Bezug zur Gesamtemissionen von NO_x trägt die Bauwirtschaft nach den Berechnungen im vorliegenden Gutachten lediglich einen Anteil von unter 2% bei. Die Emissionen der Bauwirtschaft spielen daher in Bezug auf die NO_x -Emissionen im Hamburger Stadtgebiet eine nur untergeordnete Rolle.

4 Städtische Maschinen

Die Abfrage der mobilen Maschinen, die sich im Besitz von öffentlichen Unternehmen, Behörden, Bezirken und Landesbetrieben der Freien und Hansestadt Hamburg befinden, erfolgte durch die Behörde für Umwelt und Energie bei den jeweils zuständigen Stellen [7].

4.1 Bestand an Fahrzeugen und Kategorisierung

Um die Datenbasis der Schweizer „Non-Road-Datenbank“ [4] für eine Emissionsberechnung zu nutzen, wurden die gemeldeten Maschinen einer von 84 möglichen Maschinenkategorien der Datenbank zugewiesen. Insgesamt konnten die Maschinen in 27 unterschiedliche Kategorien kategorisiert werden. Rund 80% der gemeldeten Maschinen konnten dabei eindeutig einer Kategorie zugewiesen werden, für rund 20 % enthält die EMPA-Datenbank [4] keine passende Kategorie. Dabei handelte es sich vor allem um Schleifmaschinen, Trennschleifer sowie Bohrmaschinen verschiedener Typen. Diese wurden als „sonstige Maschinen“ den einzelnen Kategorien (Bau, Gartenpflege,...) zugewiesen.

Eine Verteilung der zugewiesenen Geräte ist in der folgenden Abbildung 13 dargestellt. Es zeigt sich dabei, dass die rund 67 % aller Maschinen den fünf häufigsten Kategorien zuzuordnen sind. Von den gemeldeten Maschinen entfallen rund 93% der Einträge auf typischerweise benzinbetriebene Geräte und nur rund 7% auf Dieselmotoren. Die dieselmotorenbetriebenen Maschinen haben dabei jedoch im Mittel eine deutlich höhere Leistung, sodass der Anteil an den Emissionen höher ausfällt.

Für die wichtigsten Kategorien wurde ein Vergleich zwischen den in der EMPA-Datenbank [4] angegebenen spezifischen Betriebsstunden pro Jahr sowie dem Mittelwert der gemeldeten Geräte durchgeführt. In der Regel lagen die Meldungen unter den gemäß EMPA-Datenbank zu erwartenden jährlichen Betriebsstunden.

Die Datenbasis weist für rund 2 % der Meldungen ausreichende Angaben zur Ermittlung einer Abgasstufe aus. Aus diesem Grund wurden direkt die Emissionsfaktoren der EMPA-Datenbank [4] verwendet. Für jede Kategorie lagen die mittleren Emissionsfaktoren pro Betriebsstunde für unterschiedliche Bezugsjahre (in 5-Jahres-Intervallen) vor. Da zwischen den Jahren die Anteile an Abgasstufen linear interpoliert werden und im Jahr 2020 bereits erste Geräte nach der Stufe V in Betrieb sein werden, wurde zur sicheren Seite das Bezugsjahr 2015 gewählt. Nach Einschätzung des Gutachters war die Wahl des Bezugsjahres angebracht, da lediglich fünf Meldungen vorlagen, die Geräte mit einem Baujahr jünger als 2015 nennen.

Einzig für die gemeldeten Traktoren sowie die Kehr- und Reinigungsmaschinen wurde eine Anpassung vorgenommen. Bei den Traktoren wurden in der EMPA-Datenbank deutlich ältere Geräte mit früheren Abgasstufen angesetzt. Die Verteilung wurde an die gemeldeten Geräte angepasst. Bei den Kehr- und Reinigungsmaschinen lagen Mel-

dungen zu lediglich zwei Gerätetypen mit jeweils größerer Anzahl vor. Diese wurden aufgrund des später ermittelten Beitrags zu den Emissionen (siehe Kapitel 4.3) mit ihren gemeldeten Abgasstufen berücksichtigt.

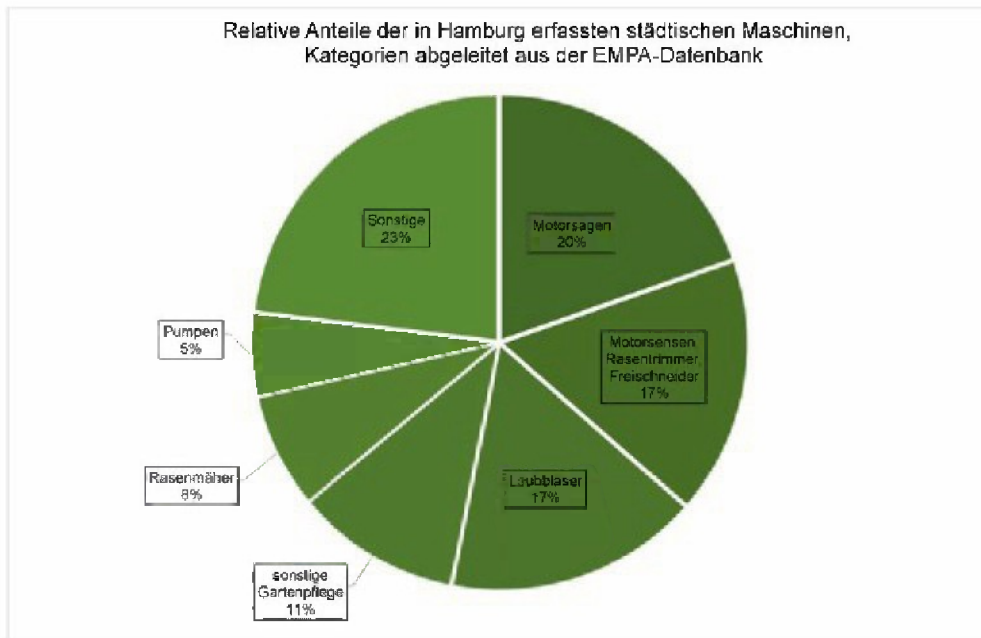
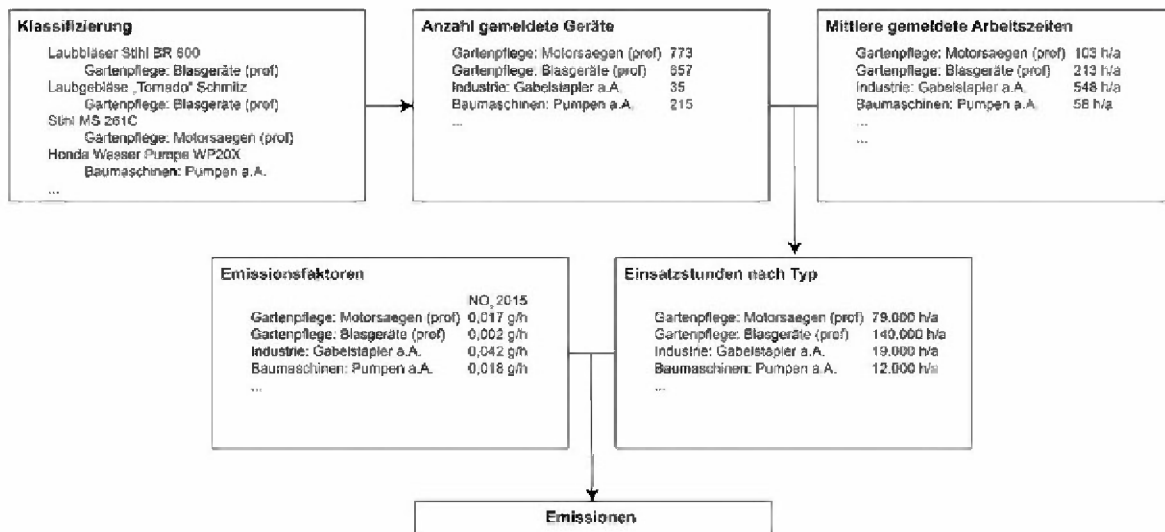


Abbildung 13: Relative Anteile der erfassten mobilen Maschinen der städtischen Betriebe der Freien und Hansestadt Hamburg aus [7] nach Kategorien der „Non-Road-Datenbank“ der EMPA [4]

4.2 Berechnungen



Im Gegensatz zu den Berechnungen der Bauwirtschaft gehen in die Berechnungen zu den Luftschadstoffemissionen städtischer Maschinen im Wesentlichen die mittleren Emissionsfaktoren der jeweiligen Maschinenkategorien aus der EMPA-Datenbank ein (Ausnahme: Traktoren sowie Kehrmaschinen, siehe Kapitel 4.1). Diese berücksichtigen ein mittleres Alter und somit ein mittleres Emissionsverhalten, berücksichtigen aber auch Lastfaktoren und weitere Anpassungsfaktoren.

Die mittleren Einsatzstunden pro Gerätekategorie wurden, sofern ausreichend Daten vorlagen, aus den Meldungen übernommen. Einzig bei Gerätekategorien, bei denen keine ausreichende Datenbasis vorlag, wurde auf die Standardwerte der EMPA-Datenbank zurückgegriffen.

Die Luftschadstoffemissionen ergeben sich somit aus der Multiplikation der mittleren Einsatzstunden pro Gerätekategorie, der Anzahl der eingesetzten Maschinen (somit der Gesamteinsatzstunden) und dem Emissionsfaktor der Maschinenkategorie.

4.3 Ergebnisse

Für die zuvor gewählten Ansätze ergeben sich für städtische Maschinen in der Freien und Hansestadt Hamburg durchschnittliche **Emissionen von rund 16 t NO_x pro Jahr** sowie **0,4 t PM pro Jahr**. Den größten Anteil an den NO_x-Emissionen haben dabei mit zusammen 27 % eher typische Baugeräte (Lader und Bagger), gefolgt von einer gemeldeten Rangierlokomotive mit 13 % sowie Kehrmaschinen mit 11 %. Von den Kleingeräten tragen die Motorsägen mit einem Anteil von rund 8 % zu den Emissionen bei (vgl. Abbildung 14).

Bei den PM-Emissionen sind einzig die dieselbetriebenen Geräte relevant, für die benzinbetriebenen Geräte ist die Emission nicht relevant und auch nicht über einen Emissionsfaktor abgebildet. Der größte Beitrag wird mit rund 35% durch Kehrmaschinen beigesteuert. Einen großen Beitrag leisten, besonders bezogen auf eine geringe Anzahl von gemeldeten Maschinen, Traktoren, Lader sowie Arbeitsboote. Auch bei Betrachtung der weiteren Emittenten wird deutlich, dass relevante Partikelemissionen vor allem durch wenige Großgeräte verursacht werden (vgl. Abbildung 15).

4.4 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Emissionen der städtischen Maschinen im Vergleich zu den gesamtstädtischen Emissionen als untergeordnet gelten können (siehe 3.4.5). Der Anteil liegt, bezogen auf die NO_x-Gesamtemissionen deutlich unter 0,1 %. Hauptverursacher der PM-Emissionen bei städtischen Maschinen sind die dieselbetriebenen Geräte. Bei den NO_x-Emissionen zeigt sich, dass einerseits wenige Großgeräte (Lader sowie eine gemeldete Rangierlokomotive) aufgrund der hohen Motorleistung und jährlichen Einsatzstunden einen hohen Anteil an den Emissionen aufweisen. Andererseits zeigt sich bei den Anteilen der Motorsägen, dass auch Geräte mit geringerer Leistung einen relevanten Anteil an den NO_x-Emissionen erreichen können.

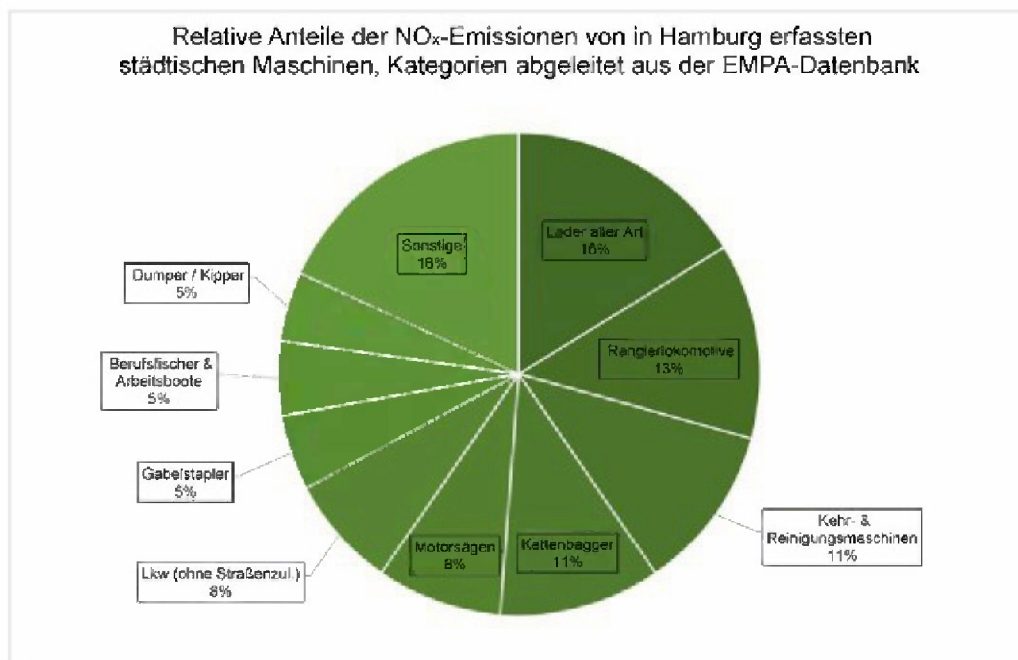


Abbildung 14: Relative Anteile an den NO_x-Emissionen im Hamburger Stadtgebiet verursacht durch mobile Maschinen der städtischen Betriebe der Freien und Hansestadt Hamburg

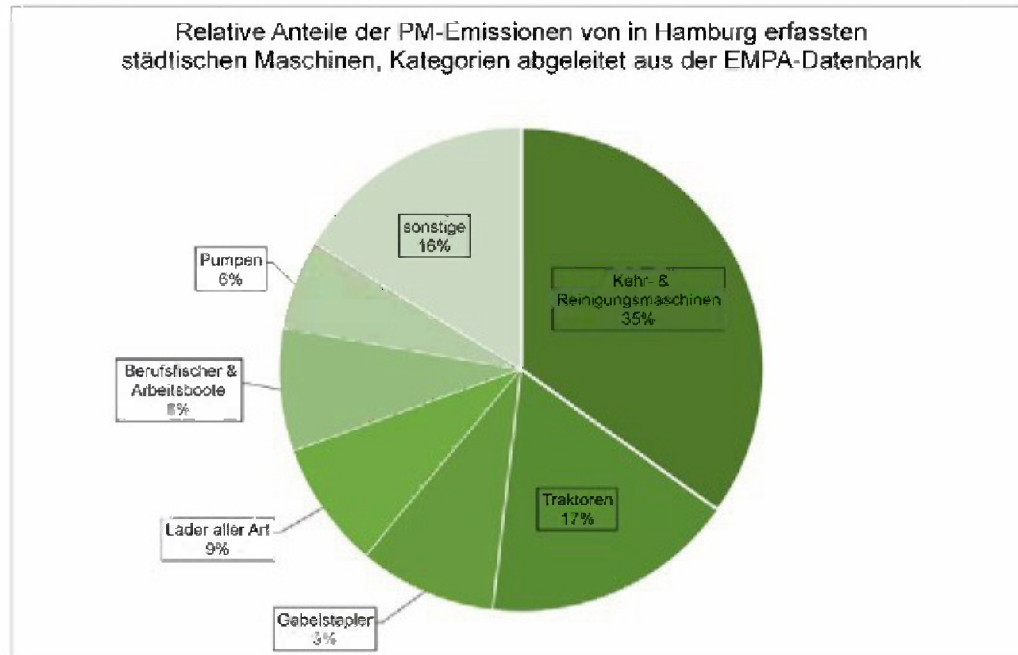


Abbildung 15: Relative Anteile an den PM-Emissionen im Hamburger Stadtgebiet verursacht durch mobile Maschinen der städtischen Betriebe der Freien und Hansestadt Hamburg

5 Emissionsminderung

5.1 Grundlagen

Der in diesem Gutachten berechnete Ausstoß von Partikeln (PM) und Stickoxiden (NO_x) ausgehend vom Einsatz mobiler Maschinen im Hamburger Stadtgebiet weist zusätzliches Minderungspotential auf. Die Daten der Flottenzusammensetzung zeigen zwar, dass der überwiegende Teil (ca. 95%) der Maschinen mit Baujahren nach der ersten Einführung der EU-Abgasstufen im Einsatz sind (vgl. Abbildung 6). Jedoch unterliegen die eingesetzten Maschinen abhängig von Ihrer Leistungsklasse unterschiedlichen Abgasstufen mit jeweils unterschiedlichen Grenzwerten zu PM und NO_x .

Über verschiedene technische Anpassungen kann eine Reduzierung der Emissionen auch bei Bestandsmaschinen erreicht werden. Allen voran gilt hier die Nachrüstung von Partikelfiltern als kostengünstigste Variante für Maschinen, die mindestens der Abgasstufe II entsprechen [2]. Für ältere Maschinen ist eine Nachrüstung nicht mehr kosteneffizient, so dass hier eine vorzeitige Neuanschaffung einer vergleichbaren Maschine mit aktueller Abgasstufe die bessere Variante darstellt. Eine theoretische Betrachtung zu städtischen Maschinen in Kapitel 5.4.1 zeigt das mögliche Potenzial, das dem entsprechenden Aufwand entgegengestellt werden müsste.

Maschinen der höheren/neueren Abgasstufen sowie Neumaschinen erreichen bessere Abgaswerte durch innermotorische Maßnahmen. Dazu zählen u.a. die Optimierung der Motoreneinstellung, eine verbesserte Abgasrückführung sowie Oxidationskatalysatoren. Im Bereich der Dieselantriebe ist die Verwendung von SCR-Katalysatoren das aktuell beste Konzept, um Stickoxide in den Abgasen signifikant zu reduzieren (bis zu 90% Reduktion). Die technisch aufwendige Nachrüstung von Systemen zur Reduzierung von NO_x -Emissionen ist allerdings im Bestand nicht kosteneffizient durchzuführen und daher keine Option [2].

Das Umweltbundesamt zeigt in einer Studie [2], wie sich die flächendeckende Regulierung der Abgaswerte im Verkehrssektor auf die stetige Reduktion der Emissionen in diesem Bereich auswirkt. Die stetige Weiterentwicklung der Emissionsgrenzwerte für mobile Maschinen führt zukünftig zu einer strengeren Gesetzgebung bei Neumaschinen. Dadurch fallen ab 2019 alle Neumaschinen und erstmals auch die Maschinen der Leistungsklasse <19 kW unter die Abgasstufe V mit strengen Grenzwerten für PM und NO_x . Letztere Maschinen machen ca. 50% der gesamten Flottenzusammensetzung aus (vgl. auch Ergebnisse in Tabelle 11). Bis heute erfolgt die Regulierung der Abgasgrenzwerte leistungsabhängig in unterschiedlichen Abgasstufen (vgl. Abbildung 3). Entsprechend ist mit Einführung der Abgasstufe V mit einer deutlichen Verminderung der Emissionen bei mobilen Maschinen zu rechnen. Eine Prognose hierzu ist für die Bauwirtschaft in Kapitel 5.3.1 dargestellt. Für die städtischen Maschinen wurde ebenfalls eine Prognose zur Flottenerneuerung (hier für das Jahr 2025) in Kapitel 5.4.1 untersucht.

5.2 Erstabschätzung

Vor der Entwicklung von Emissionsminderungsszenarien wurde aus den vorliegenden Ermittlungen eine grundsätzliche Analyse der Ansatzpunkte und eine Vorabschätzung der daraus resultierenden möglichen Minderungen durchgeführt.

Aus dem Berechnungsverfahren wurden verschiedene Ansatzpunkte der Emissionsminderung abgeleitet und jeweils eine Erstabschätzung zur möglichen Wirkung durchgeführt. Hierzu zählen unter anderem:

- Einsatz alternativer Antriebstechnologien oder Kraftstoffe
- Erneuerung des Maschinenparks
(ggf. resultierend aus einer Beschränkung)
- Nachrüstung des Maschinenparks
(Filter für NO_x oder PM)

Bei der Beurteilung der Wirkung und des Nutzens der Maßnahmen sollte immer auch ein Vergleich zu anderen Emittenten von Luftschadstoffen erfolgen. Bei einer Kosten-Nutzen-Entscheidung sind die grundsätzlich im Rahmen der Bauwirtschaft und städtischen Maschinen denkbaren Minderungsszenarien mit Minderungsszenarien unter anderem im Verkehrssektor zu vergleichen.

5.2.1 Einsatz alternativer Antriebstechnologien oder Kraftstoffe

In verschiedenen Recherchen und in Gesprächen mit Maschinenherstellern wurden für einige Maschinentypen alternative Antriebsformen ermittelt, die eine Reduzierung der Luftschadstoffemissionen, besonders der Partikelemissionen, erwarten lassen. Zu den auf dem Markt verfügbaren Geräten gehören:

- Verdichtungsmaschinen (handgeführt) mit Elektroantrieb
- Verdichtungsmaschinen (handgeführt) mit Gas-Antrieb
- Minibagger und Minilader mit Elektroantrieb

Aufgrund der vorherigen Ergebnisse (Abbildung 9) und Abschätzungen (Abbildung 4) ist zu erwarten, dass Minibagger einen Anteil von rund 4 % an den Leistungsstunden, handgeführte Verdichtungsmaschinen (Rüttelplatten, Vibrationsstampfer) einen Anteil von unter 3 % haben (letztere beinhalten auch Walzen und Walzenzüge). Selbst eine vollständige Umrüstung auf elektrische Antriebe würde somit in einer Emissionsminderung von höchstens 10 % resultieren.

Erste Motorenhersteller haben zudem angekündigt, aktuelle Motoren bis Abgasstufe IV sowie ältere Motoren, die über keine Abgasnachbehandlung verfügen, für den Einsatz von paraffinischen Dieselkraftstoffen und Biodiesel freizugeben [59]. Neben einer Reduktion der CO₂-Emissionen werden auch Effekte auf die PM- und NO_x-Emissionen beschrieben. Für Partikel wird eine Minderung von bis zu 20-30 % genannt.

Eine Berechnung der möglichen Wirkung auf die gesamtstädtischen Emissionen, die bei Einsatz von Biodiesel in den freigegebenen Motoren zu erwarten ist, konnte aufgrund der derzeit noch nicht ausreichenden Datenbasis nicht durchgeführt werden.

Unter der Annahme, dass die Hälfte der Maschinen mit Biodiesel betrieben werden kann, wäre unter den veröffentlichten Annahmen eine Reduktion der PM-Emissionen von bis zu 10-15 % zu erwarten. Die Minderung der NO_x-Emissionen wird wahrscheinlich darunter liegen.

5.2.2 Erneuerung des Maschinenparks (Bauwirtschaft)

Um die Auswirkungen einer Erneuerung des Maschinenparks der Bauwirtschaft auf die notwendigen Neubeschaffungen zu ermitteln, fand eine Auswertung der durchschnittlichen Baujahre nach Leistungsklasse und für die jeweiligen Abgasstufen statt (siehe Anlage D, Tabelle 31 bis Tabelle 34).

Es zeigt sich, dass für Radlader, Minibagger und Kettenbagger die durchschnittlichen Baujahre der Maschinen im Bereich zwischen 2012 und 2016 lagen. Diese Werte variieren zwischen Maschinen- und Leistungsklassen. Im Gegensatz dazu wiesen die zurückgemeldeten Mobilbagger im Durchschnitt ältere Baujahre zwischen 2007 und 2014 auf. Auch hier waren die durchschnittlichen Baujahre zwischen den verschiedenen Leistungsstufen variabel.

Abbildung 17 zeigt die Verteilung der Baujahre der aus der Unternehmensbefragung zurückgemeldeten Minibagger. Es zeigt sich, dass Minibagger auf Grund hoher Beanspruchungen gerade im Erd-/Tiefbau nur eine begrenzte Lebensdauer in den Unternehmen aufweisen. Daher ist die Masse der gemeldeten Minibagger den Baujahren nach 2013 zuzuweisen.

Kompressoren und Stromerzeuger weisen hingegen einen weit weniger starken Trend zur Erneuerung auf, als andere mobile Maschinen (Abbildung 18). Hier setzen die befragten Unternehmen zum Teil noch Maschinen aus den Baujahren ab 1985 im Hamburger Stadtgebiet ein. Grundsätzlich ist aber festzustellen, dass auch diese Maschinen einer steten Erneuerung unterliegen und jüngere Baujahre den höchsten Anteil in der Flottenzusammensetzung der befragten Unternehmen einnahmen.

Bei den Verdichtungsmaschinen handelt es sich um die Zusammenfassung von Vibrationsstampfern und Rüttelplatten. Hier findet eine kontinuierliche Erneuerung des Maschinenparks statt, so dass die meisten Verdichtungsmaschinen Baujahre nach 2012 aufwiesen (Abbildung 19).

Insgesamt scheint eine Erneuerung der Maschinen aufgrund der ermittelten mittleren Baujahre nicht grundsätzlich angebracht: Im Bereich der am meisten beitragenden Maschinentypen, Radlader und Bagger, beträgt das mittlere Alter meist weniger als 4 Jahre. Eine Erneuerung dieser Maschinen steht somit nicht in Kürze an.

Einzig bei den Kompressoren und Stromerzeugern zeigt sich, dass auch ältere Geräte noch umfangreich eingesetzt werden. Auch die Berechnungsergebnisse zeigten auf dieser Grundlage, dass die angenommene Altersverteilung zu deutlich höheren Partikelemissionen im Vergleich zu den übrigen Maschinentypen führt. Eine Erneuerung dieser Aggregate könnte zu einer Minderung der Partikelemissionen führen.

5.2.3 Nachrüstungen des Maschinenparks (Filter)

Für mobile Maschinen bieten verschiedene Hersteller umfangreiche Nachrüstmöglichkeiten mit Filtern sowohl für NO_x- als auch PM-Emissionen an. Eine genauere Auswertung der Emissionsfaktoren zeigt, dass bereits Stufe IIIB und Stufe IV identische Partikelemissionen ansetzen.

Eine Ausrüstung von Partikelfiltern wäre somit nur für Maschinen bis einschließlich Stufe IIIA wirkungsvoll (neuere Maschinen sind in der Regel bereits zur Einhaltung der Grenzwerte mit Filtern ausgestattet).

Vor allem bei den Radladern und Kettenbaggern fallen relevante Anteile an Maschinen in die Stufe IIIA, hierbei handelt es sich vorwiegend um Maschinen mit weniger als 37 kW Leistung, für die stellt diese Stufe bis zur Einführung der Stufe V die aktuellste Abgasnorm dar. Es handelt sich damit nicht nur um ältere, sondern zum Teil auch aktuell noch im Verkauf befindliche Maschinen.

Eine serienmäßige Ausrüstung von Maschinen mit NO_x-Filtern ist erst ab der Abgasstufe IV zu erwarten. Eine Nachrüstung von Maschinen mit NO_x-Filtern ist zwar nach Herstellerangaben grundsätzlich möglich, aber nach Studienergebnissen nicht kosteneffizient umzusetzen [2].

Die Kosten für Partikelfilternachrüstungen bewegen sich maschinenabhängig im Bereich von 5.000 bis 10.000 Euro pro Nachrüstung [59]. Dabei können nach Auskünften bei Filterherstellern die Preise bei kleineren Maschinen (Minibagger) deutlich darunter, bei großen Maschinen (Asphaltfräsen) über der genannten Spanne liegen.

5.3 Minderungsszenarien Bauwirtschaft

Auf Grundlage der in Kapitel 5.2 erarbeiteten Grundlagen wurden mögliche Emissionsminderungsszenarien für den Sektor Bauwirtschaft entwickelt, berechnet und diskutiert. Grundlage zum Vergleich der Wirksamkeit bildet auch eine Prognose zur laufenden Erneuerung, die in den kommenden Jahren nach Einführung der Abgasstufe V zu erwarten ist.

5.3.1 Prognose Flottenerneuerung

Der Bestand an Baumaschinen unterliegt einer stetigen Erneuerung, deren mögliche Auswirkungen nicht als Maßnahme, sondern als Prognose berechnet werden sollen. Bereits ab dem Jahr 2019 werden Maschinen mit der Abgasstufe V in den Handel kommen. Allerdings ist davon auszugehen, dass Abverkäufe älterer Maschinen weiterhin stattfinden. Dennoch sollten die Emissionen absehbar vor allem bei den Partikelemissionen sinken (vgl. Tabelle 23). Für eine Prognose der möglichen Minderung wurden die in Tabelle 12 bis Tabelle 19 ermittelten Anteile an den Abgasstufen modifiziert.

In einer ersten Variante wurde davon ausgegangen, dass alle Maschinen >19 kW mit Abgasstufen bis Stufe II durch Maschinen der Stufe V ersetzt werden. Hiermit würden in der Regel Maschinen erfasst, die bereits ein Alter von 10 Jahren überschritten haben. Da besonders Aggregate und kleinere Verdichtungsmaschinen über einen längeren Zeitraum eingesetzt werden (siehe Anlage D), werden zuerst lediglich die Änderungen in den Kategorien der Bagger und Lader in der Berechnung berücksichtigt. Anhand der erhobenen Daten (siehe Tabelle 12 bis Tabelle 19) konnte abgeleitet werden, dass dies lediglich 2 % der Radlader, 2 % der Kettenbagger sowie 1 % der Mobilbagger betrifft.

Mit dieser Maßnahme sinken die Emissionen von 336 t NO_x pro Jahr auf 322 t pro Jahr sowie von 21 t PM pro Jahr auf 20 t. Die Reduktion beträgt somit rund 4 % für NO_x und rund 5 % für PM10.

In einer zweiten Variante wurden darüber hinaus auch 50 % der Maschinen ab 37 kW mit einer Abgasstufe bis Stufe IIIA durch Maschinen der Stufe V ersetzt. Hiermit würden auch deutlich jüngere Maschinen (Stufe IIIB wurde ab 2012 bzw. 2013 eingeführt, Stufe IIIA galt ab 2007 bzw. 2008) erfasst. Hiervon wären jeweils rund 10 % der Radlader und Kettenbagger und rund 6 % der Mobilbagger betroffen.

Mit dieser Maßnahme sinken die Emissionen von 336 t NO_x pro Jahr auf 301 t pro Jahr sowie von 21 t PM10 pro Jahr auf 18 t. Die Reduktion beträgt somit rund 10 % für NO_x und rund 14 % für PM10.

In der dritten Variante wurde zusätzlich zu den Ansätzen der zweiten Variante auch für Aggregate und Verdichtungsmaschinen angenommen, dass jeweils rund 10 % der Geräte, die ältesten Geräte mit den höchsten Emissionen, durch neuere Geräte ersetzt werden.

Mit dieser Maßnahme sinken die Emissionen von 336 t NO_x pro Jahr auf 289 t pro Jahr sowie von 21 t PM₁₀ pro Jahr auf 15 t. Die Reduktion beträgt somit rund 14 % für NO_x und rund 29 % für PM₁₀.

Auch wenn die Prognoseberechnung keine eigentliche Maßnahme darstellt, zeigt das Ergebnis in welcher Größenordnung eine Reduzierung der Emissionen mittelfristig durch die Erneuerung von Maschinen zu erwarten wäre.

5.3.2 Beschränkung des Einsatzes bei öffentlichen Vergaben

Seit Oktober 2016 gibt das Bauhandbuch [60] für die Vergaben der öffentlichen Hand in der Freien und Hansestadt Hamburg Vorgaben an den Einsatz von Maschinen. Maschinen von 19-37 kW sollen mindestens Stufe IIIA, Maschinen mit 37-560 kW mindestens Stufe IIIB der Richtlinie 97/68/EG [8] einhalten. Alternativ können Partikelminderungssysteme auch zum Einsatz kommen. Grundlage ist eine Empfehlung der Umweltministerkonferenz aus dem Jahr 2014 [61].

Aus den Berechnungsergebnissen ging hervor, dass 35 % der Emissionen vom Hochbau verursacht werden (siehe Abbildung 11 und Abbildung 12). Es war davon auszugehen, dass der Bereich Straßenbau (mit 26 %) sowie sonstige Tätigkeiten (Ingenieurbau, Baufeldvorbereitungen etc.) vollständig diesen Beschränkungen unterliegt. Auch beim Kanal- und Leitungsbau war zu erwarten, dass diese zum Teil von städtische Betrieben vergeben werden, die den Vorgaben des Bauhandbuchs unterliegen.

Für die Berechnungen wurde eine über die Anforderungen des Bauhandbuchs hinausgehende Beschränkung geprüft. Hierbei wurden für Maschinen ab 56 kW als Anforderung die Abgasstufe IV gestellt. Bei den Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass bereits im Bauhandbuch alternativ zu den Anforderungen an die Abgasstufe auch eine Ausrüstung der Maschine mit einem Dieselpartikelfilter zur Einhaltung der Anforderungen ausreicht. Es wurde davon ausgegangen, dass mit einem Partikelfilter die Partikelemissionen den Emissionsgrenzwert der jeweils genannten Stufen (IIIA/IIIB/IV) einhalten. Minderungen der NO_x-Emissionen sind bei Erneuerungen zu erwarten, im Falle einer Nachrüstung mit einem Dieselpartikelfilter jedoch nicht gegeben. Für den Kanal- und Leitungsbau wurden 50 % des Maschineneinsatzes mit den höheren Anforderungen berücksichtigt.

Unter den gewählten Ansätzen sinken die PM₁₀-Emissionen von 21 t PM pro Jahr auf 18 t. Dies entspricht einer Reduktion um rund 14 %.

Sofern davon ausgegangen wird, dass eine Nachrüstung mit Dieselpartikelfiltern nicht stattfindet, sondern sich der Fahrzeugpark bis zur Einführung erneuert bzw. gezielt zulässige Maschinen eingesetzt werden, ist auch ein relevanter Effekt auf die NO_x-Emissionen zu erwarten. Unter der Annahme, dass sämtliche Maschinen statt einer Nachrüstung mit Dieselpartikelfiltern sich auch bezüglich der NO_x-Emissionen verbessern, wären NO_x-Emissionen von 274 t PM pro Jahr zu erwarten. Dies entspricht einer möglichen Reduktion von rund 18 %.

5.3.3 Bewertung der Maßnahmen

In der Bauwirtschaft ist eine laufende Erneuerung des Maschinenbestandes in den letzten Jahren zu beobachten. Besonders bei großen Unternehmen sowie Verleihern sind die Maschinen in der Regel nur wenige Jahre im Einsatz, sodass nach Einführung der Abgasstufe V zum 1. Januar 2019 davon ausgegangen werden kann, dass neuere Maschinen dieser Abgasstufe bald im Markt eintreten werden. Eine Illustration der EMPA zeigt, wie dies in der EMPA-Datenbank am Beispiel der Straßenfertiger erwartet wird (siehe Abbildung 16).

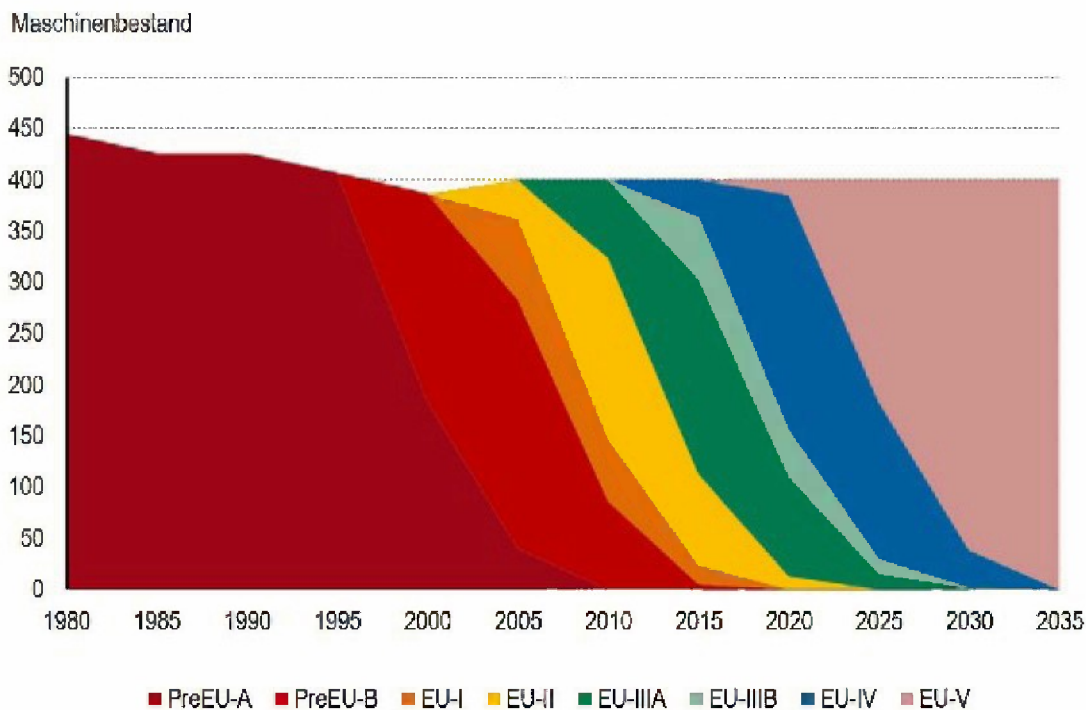


Abbildung 16: Illustration der Emissionsstufen für Straßenfertiger (Baumaschinen) - exemplarische Darstellung zum Maschinenbestand in der Schweiz (aus [5])

Prognoseberechnungen zeigen, dass bereits bei Erneuerung der ältesten 2 % der Radlader und Bagger Emissionsminderungen von rund 5 % sowohl für NO_x als auch Partikel zu erwarten sind. Mittelfristig, bei einer Erneuerung von etwa 10 % der jeweiligen Maschinen, sind Minderungen von rund 10 % der Emissionen zu erwarten. Besonders ein Ersatz alter Aggregate lässt eine Minderung der jährlichen Partikelemissionen von über 20 % erwarten.

Als Maßnahme wurde eine Fortschreibung der im Bauhandbuch gestellten Anforderungen an Baumaschinen im Rahmen der Vergabe geprüft. Bei vollständiger Umsetzung für die von der Freien und Hansestadt zu vergebenden Leistungen könnten Minderungen von etwas über 10 % für Partikelemissionen erreicht werden. Da eine Ausrüstung mit Dieselpartikelfiltern zur Einhaltung der Anforderungen ausreicht, wäre eine Minderung der NO_x -Emissionen nicht zu erwarten. Es könnten (bei Ersatz der Maschinen statt Nachrüstungen) Minderungen in gleicher Größenordnung erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigten, dass allein durch die zu erwartende Erneuerung des Maschinenparks bei den Unternehmen eine relevante Emissionsminderung in den kommenden Jahren eintreten wird.

5.4 Minderungsszenarien städtische Maschinen

Nach Analyse der Verursacheranteile in Kapitel 4.3 und 4.4 sollen auf Grundlage der in Kapitel 5.2 erarbeiteten Grundlagen mögliche Emissionsminderungsszenarien für städtische Maschinen entwickelt, berechnet und diskutiert werden. Grundlage zum Vergleich der Wirksamkeit bildet auch eine Prognose zur laufenden Erneuerung, die zum Jahr 2025 zu erwarten ist.

5.4.1 Prognose 2025

Da die Datengrundlage bereits rund 1 Jahr alt ist und auch die Emissionsgrundlage mit Bezugsjahr 2015 im Schnitt von Geräten mit schlechterem Emissionsverhalten ausgeht, erfolgte eine Betrachtung der möglichen Entwicklung, um die erreichbare Emissionsminderung zu ermitteln.

Als Emissionsgrundlage wurde hierzu das Jahr 2025 gewählt. Bis zu diesem Zeitpunkt können bereits umfangreichere Flottenerneuerungen in den Bestandsdaten erwartet werden, durch die auch (Diesel-)Geräte nach Abgasnorm Stufe V in die Berechnung einfließen werden. Für die Kehrmaschinen sowie Traktoren wurde dabei keine Erneuerung angesetzt, diese werden in den Maßnahmen separat betrachtet.

Mit dem Prognosejahr 2025 werden Emissionen von rund **9,8 t/a NO_x pro Jahr** sowie **0,3 t/a PM pro Jahr** berechnet. Dies bedeutet einen Rückgang von rund 39 % für NO_x und 31 % für PM10.

5.4.2 Umweltgerechte Beschaffung

Auch wenn die Prognoseberechnung keine eigentliche Maßnahme darstellt, zeigt das Ergebnis, in welcher Größenordnung die Emissionsminderungen in den kommenden Jahren durch die natürliche Erneuerung des Maschinenbestandes außerhalb der Kehrmaschinen und Traktoren zu erwarten sind. Aufgrund der deutlichen Abnahme durch die Erneuerung könnte eine verstärkte Neubeschaffung nach Einführung strengerer Abgasnormen zum früheren Erreichen dieses Emissionsniveaus führen. Ein Leitfaden zur umweltfreundlichen Beschaffung von Baumaschinen wurde auch vom Umweltbundesamt veröffentlicht [62].

5.4.3 Partikelfilter

Bei den Partikeln (PM) tragen wenige Maschinen einen großen Anteil zu den Emissionen bei. Dies sind vor allem die Kehrmaschinen (35 %), von denen lediglich 37 Maschinen gemeldet wurden. Nach Datenblättern des Herstellers halten diese die Abgasstufe

IIIA bzw. IIIB ein. Lediglich die Maschinen nach Abgasstufe IIIB verfügen über einen Dieselpartikelfilter, mengenmäßig überwiegen jedoch die älteren Geräte ohne Filter.

Zudem tragen wenige Traktoren ebenfalls deutlich zu den Partikelemissionen (17 %) bei. Auch bei diesen Maschinen ist aufgrund des Baujahrs zu erwarten, dass kein Dieselpartikelfilter vorhanden ist.

Unter der Annahme, dass die genannten Fahrzeuge mit Dieselpartikelfilter nachgerüstet werden bzw. durch Fahrzeuge ersetzt werden, die über einen Filter verfügen, reduzieren sich die PM-Emission auf **0,2 t pro Jahr**. Dies ist ein Rückgang von rund 48 %.

Es zeigt sich, dass deutliche Emissionsminderungen für Partikel durch den Einsatz von Filtern möglich sind. Insgesamt lassen sich die Emissionen durch Maßnahmen an wenigen Maschinengruppen mit überschaubaren Maschinenanzahlen somit deutlich senken.

5.4.4 Bewertung der Maßnahmen

Bereits durch die laufende Erneuerung des Maschinenbestandes ist in den kommenden Jahren eine deutliche Reduzierung der Emissionen zu erwarten. Durch eine verstärkte umweltgerechte Neubeschaffung kann dieser Effekt vorgezogen werden. Aufgrund der Anzahl der Maschinen wäre eine solche Maßnahme aber eventuell mit deutlichen Kosten verbunden, besonders wenn es sich um relativ neue Geräte handelt. Ein UBA-Leitfaden gibt, am Beispiel der Baumaschinen, eine Orientierung zur umweltfreundlichen Beschaffung [62].

Eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Partikelemissionen stellt eine Nachrüstung mit Dieselpartikelfiltern dar. Diese Nachrüstung ist mit Kosten von rund 5.000 bis 10.000 € verbunden (siehe Kapitel 5.2.3). Es bietet sich nach den Untersuchungen an, die Emittenten mit den höchsten Beiträgen zu betrachten. Hierzu gehören die Kehrmaschinen sowie wenige Traktoren im städtischen Besitz.

Für Maschinen, die nicht mit einem Partikelfilter ausgerüstet sind oder werden, könnte der Einsatz von Biodiesel bei Freigabe des Herstellers zu Emissionsminderungen führen (siehe Kapitel 5.2.1). Hiermit wäre besonders über die dieselbetriebenen Großgeräte eine Minderung der Partikelemissionen mit vergleichbar geringem Aufwand umzusetzen.

6 Zusammenfassung

Im vorliegenden Gutachten „Emissionsreduzierung bei mobilen Maschinen als Beitrag zur Luftreinhaltung in Hamburg“ wurden die Schadstoffemissionen hinsichtlich Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM) für mobile Maschinen der Sektoren Bauwirtschaft und städtische Maschinen in der Freien und Hansestadt Hamburg detailliert ermittelt. Die Basis bildeten in Hamburg erhobene Daten zum Bestand und den Betriebsstunden von mobilen Maschinen. Berücksichtigt als mobile Maschinen wurden dabei transportable Ausrüstungen oder Fahrzeuge mit oder ohne Aufbau oder Räder, die nicht zur Beförderung von Personen oder Gütern auf der Straße bestimmt sind.

6.1 Bauwirtschaft

Für die Bauwirtschaft wurden typische emissionsrelevante Tätigkeiten im Rahmen der betrachteten Baustellensituationen modelliert. Zusammen mit den jährlichen Häufigkeiten der unterschiedlichen Baustellensituationen wurden die jährlichen Betriebsstunden einzelner Maschinensegmente (klassifiziert nach Typ und Leistung) ermittelt. Der Bestand an Baumaschinen hinsichtlich der Zusammensetzung von Maschinenleistung sowie Abgasstufen wurde im Rahmen einer Befragung von Bauunternehmen erhoben.

Im Ergebnis zeigt sich, dass im Hamburger Stadtgebiet eingesetzte mobile Baumaschinen jährlich ca. 336 t Stickoxide (NO_x) und 21 t Feinstaub (PM) ausstoßen. Die Emissionen der Bauwirtschaft stammen dabei hauptsächlich aus dem Einsatz von Radladern, Ketten- und Mobilbagger sowie Minibaggern. Die Emissionen der Bauwirtschaft im Hamburger Stadtgebiet werden zudem überwiegend (rund 57%) von mobilen Maschinen verursacht, die im Tiefbau tätig sind, gefolgt von mobilen Maschinen des Hochbaus (35%).

In der Bauwirtschaft war für die Erhebung in Hamburg bereits ein Maschinenbestand mit einem geringen mittleren Alter besonders bei den am häufigsten eingesetzten mobilen Maschinen (Bagger, Lader, Minibagger) zu verzeichnen. Besonders bei großen Unternehmen sowie Verleihern sind die Maschinen in der Regel nur wenige Jahre im Einsatz. Mit Einführung der Abgasstufe V zum 1. Januar 2019 kann davon ausgegangen werden, dass neuere Maschinen dieser Abgasstufe bald im Markt eintreten. Prognoseberechnungen zeigen, dass bereits bei Erneuerung der ältesten 2 % der Radlader und Bagger Emissionsminderungen von rund 5 % sowohl für NO_x als auch Partikel zu erwarten sind. Mittelfristig sind Minderungen von rund 10 % der Emissionen möglich. Besonders ein Ersatz alter Aggregate lässt eine Minderung der jährlichen Partikelemissionen von über 20 % erwarten.

Als die Bauwirtschaft betreffende Maßnahme wurde eine Fortschreibung der im Bauhandbuch gestellten Anforderungen an Baumaschinen im Rahmen der Vergabe geprüft, wodurch für das Hamburger Stadtgebiet eine Minderung von etwas über 10 % für Partikelemissionen erreicht werden kann.

6.2 Städtische Maschinen

Für die städtischen Betriebe stand eine Bestandserhebung der mobilen Maschinen mit Abschätzungen zu den Einsatzstunden zur Verfügung. Die Geräte wurden in Anlehnung an die Schweizer Non-Road-Datenbank klassifiziert. Zusammen mit Emissions- und Lastfaktoren für die einzelnen Geräteklassen wurden die Daten zur Ermittlung der Emissionen herangezogen.

Bei den städtischen Maschinen verursachen die mobilen Maschinen jährlich ca. 16 t Stickoxide (NO_x) und 0,4 t Feinstaub (PM). Für die NO_x-Emissionen der städtischen mobilen Maschinen im Hamburger Stadtgebiet sind überwiegend typische Baugeräte wie Lader und Bagger verantwortlich, gefolgt von einer einzelnen Rangierlokomotive sowie Kehrmaschinen und Motorsägen. Die hauptsächlichen PM-Emissionen werden hingegen durch Kehrmaschinen, gefolgt von Traktoren, Ladern und Arbeitsbooten, verursacht.

Auch für die städtischen Maschinen ist durch die laufende Erneuerung des Maschinenbestandes in den kommenden Jahren eine deutliche Reduzierung der Emissionen zu erwarten.

Eine wirksame Maßnahme zur Reduzierung der Partikelemissionen stellt eine Nachrüstung mit Dieselpartikelfiltern dar. Es bietet sich nach den Untersuchungen an, die Emittenten mit den höchsten Beiträgen zu betrachten. Hierzu gehören die Kehrmaschinen sowie wenige Traktoren im städtischen Besitz.

Für Maschinen, die nicht mit einem Partikelfilter ausgerüstet sind oder werden, könnte der Einsatz von Biodiesel bei Freigabe des Herstellers zu Emissionsminderungen führen. Hiermit wäre besonders über die dieselbetriebenen Großgeräte eine Minderung der Partikelemissionen mit vergleichbar geringem Aufwand umzusetzen.

6.3 Fazit

Sowohl die Bauwirtschaft als auch die städtischen Maschinen tragen nur zu geringem Anteil zu den gesamten NO_x-Emissionen im Hamburger Stadtgebiet bei. Für die Bauwirtschaft liegt der Anteil bei unter 2 %, die städtischen Maschinen liegen unter 0,1 %. Diese geringen Anteile und die damit verbundene geringe Auswirkung von Emissionsminderungen auf die gesamtstädtischen Luftschadstoffemissionen sind bei der Planung von Maßnahmen zu berücksichtigen.

Anlage A: Emissionsfaktoren

Unterschiede TREMOD-MM und EMPA-Datenbank

Für die Emissionsfaktoren unterschiedlicher Kraftstoffe liegen in der Literatur Werte vor, die die Emissionen eines Schadstoffs in g/kWh angeben. Die Emissionsfaktoren sind dabei in der Regel aus den Emissionsgrenzwerten (die sich auf stationäre Testzyklen beziehen) abgeleitet und basieren nur zum Teil auf Messergebnissen im realen Betrieb.

Sowohl TREMOD-MM [2], [63] als auch die EMPA-Datenbank [4], [5] veröffentlichen die verwendeten Emissionsfaktoren der einzelnen Motorentypen. Die beiden Ansätze unterscheiden sich dabei hinsichtlich der Ansätze zu dieselbetriebenen Maschinen geringfügig. Die wesentlichen Unterschiede sind eher systematischer Natur:

So wird in TREMOD-MM die Leistungsklasse 37-75 kW zusammengefasst betrachtet wird. In dieser Leistungsklasse werden jedoch unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Grenzwerte gestellt:

- Für Maschinen mit 37-56 kW gilt die Stufe IIIB ab Inverkehrbringen 2013.
- Für Maschinen mit 56-75 kW gilt die Stufe IIIB ab Inverkehrbringen 2012, ab 2015 bereits Stufe IV.
- Die kommende Stufe V tritt ebenfalls in unterschiedlichen Jahren in Kraft.

Während TREMOD-MM hierzu eine Abschätzung trifft, wie der Anteil der Maschinen auf die Abgasstufen zu verteilen ist, liegen in der Schweizer Datenbank die Emissionsfaktoren in entsprechender Detaillierung vor. Die Unterschiede in der Systematik sind auch in den folgenden Tabellen dargestellt, die Datenquelle bezieht sich auf [63]. Der Vergleich konzentriert sich auf die Abweichungen ab Abgasstufe IIIB. Auch in den neueren Veröffentlichungen [2] zu TREMOD-MM sind keine Emissionsfaktoren zur Stufe V genannt. Auch Emissionsfaktoren zu Maschinen mit weniger als 19 kW sowie mehr als 560 kW wurden nicht veröffentlicht.

Tabelle 20: Vergleich der NO_x-Emissionsfaktoren EMPA [5] und TREMOD-MM [2]

Leistungs- klasse	Stufe IIIB		Stufe IV	
	EMPA	TREMOD- MM	EMPA	TREMOD- MM
< 19 kW	5,95	-	5,95	-
19-37 kW	6,34	6,1	6,34	6,1
37-56 kW	3,9	3,4	3,9	2,1
56-75 kW	3,3		0,4	
75-130 kW	3,3	3,0	0,4	0,4
130-560 kW	2,0	1,8	0,4	0,4
> 560 kW	5,66	-	5,66	-

Tabelle 21: Vergleich der PM-Emissionsfaktoren EMPA [5] und TREMOD-MM [2]

Leistungs- klasse	Stufe IIIB		Stufe IV	
	EMPA	TREMOD- MM	EMPA	TREMOD- MM
< 19 kW	0,6	-	0,6	-
19-37 kW	0,54	0,54	0,54	0,54
37-56 kW	0,03	0,025	0,03	0,025
56-75 kW	0,03		0,03	
75-130 kW	0,03	0,025	0,03	0,025
130-560 kW	0,03	0,025	0,03	0,025
> 560 kW	0,16	-	0,16	-

Da in TREMOD-MM eine detaillierte Unterscheidung der Maschinen zwischen 37 und 75 kW nicht möglich ist, die Abgasstufe V nicht berücksichtigt wurde sowie für die Leistungsklassen < 19 kW sowie > 560 kW keine Emissionsfaktoren angegeben werden, bietet die EMPA-Datenbank eine größere und aktuellere Datenbasis. Die Wahl fiel somit auf die EMPA-Datenbank, da diese auch für die zu beurteilenden städtischen Maschinen umfangreiche Emissionsfaktoren für die einzelnen Gerätekategorien bereitstellt. Diese wurden direkt aus der Datenbank [4] abgerufen.

Verwendete Emissionsfaktoren für die Bauwirtschaft

Aus der Schweizer Veröffentlichung [5] wurden für die Berechnungen zur Bauwirtschaft die folgenden Emissionsfaktoren übernommen. Je nach Flottenzusammensetzung bleiben einzelne Abgasstufen dabei später unberücksichtigt. Die als PreEU-A und PreEU-B bezeichneten Emissionen beruhen nicht auf Grenzwerten, sondern auf Annahmen der EMPA [5].

Tabelle 22: Emissionsfaktoren (g/kWh) Dieselmotoren - NO_x (aus [5])

Leistungs- klasse	Pre EU-A	Pre EU-B	Stufe I	Stufe II	Stufe IIIA	Stufe IIIB	Stufe IV	Stufe V
< 19 kW	10,31	8,2	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
19-37 kW	10,31	8,2	6,34	6,34	6,34	6,34	6,34	6,34
37-56 kW	12,4	9,87	8,95	6,56	3,9	3,9	3,9	3,9
56-75 kW	12,4	9,87	8,95	6,56	3,9	3,3	0,4	0,4
75-130 kW	12,52	9,96	8,44	5,67	3,32	3,3	0,4	0,4
130-560 kW	12,52	9,96	8,19	5,66	3,38	2,0	0,4	0,4
> 560 kW	12,52	9,96	8,19	5,66	5,66	5,66	5,66	3,5

Tabelle 23: Emissionsfaktoren (g/kWh) Dieselmotoren - PM (aus [5])

Leistungs- klasse	Pre EU-A	Pre EU-B	Stufe I	Stufe II	Stufe IIIA	Stufe IIIB	Stufe IV	Stufe V
< 19 kW	1,51	1,18	1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,4
19-37 kW	1,2	0,94	0,74	0,6	0,54	0,54	0,54	0,01
37-56 kW	1,09	0,85	0,47	0,32	0,32	0,03	0,03	0,01
56-75 kW	1,09	0,85	0,47	0,32	0,32	0,03	0,03	0,01
75-130 kW	0,61	0,47	0,35	0,24	0,24	0,03	0,03	0,01
130-560 kW	0,61	0,47	0,22	0,16	0,16	0,03	0,03	0,01
> 560 kW	0,61	0,47	0,22	0,16	0,16	0,16	0,16	0,05

Ergänzend sollen an dieser Stelle die Emissionsfaktoren flüssiggasbetriebener Maschinen aufgeführt werden. Diese werden im Rahmen der Minderungsszenarien betrachtet.

Tabelle 24: Emissionsfaktoren (g/kWh) flüssiggasbetriebener Maschinen (aus [5])

	Ohne Nach- behandlung	Mit Oxidationskat.	50% mit 3-Wegekat.	100% mit 3-Wegekat.
NO _x	10	10	6	2
PM	0,02	0,01	0,01	0,01
Annahme bezüglich Inkraftsetzung der Emissionsstufen				
		1980	1994	2000

Anlage B: Relevanzanalyse zu Maschinentypen der Bauwirtschaft

Um die Relevanz der einzelnen Maschinentypen bei den Luftschadstoffemissionen zu beurteilen, wurde auf Grundlage von deutschlandweit verfügbaren Daten eine erste Berechnung der Maschineneinsatzstunden erstellt.

Zur Abschätzung der Relevanz einzelner Maschinentypen wurde die Datenbasis der Maschinenanzahl aus den Meldungen des VDMA, ergänzt um darin fehlende Kategorien aus einer UBA-Studie [2], ermittelt (siehe folgender Abschnitt Bestandsdaten). Anhand von Abschätzungen zu den Anwenderbranchen der vier häufigsten Maschinentypen wurde ermittelt, welcher Anteil der Maschinen der Bauwirtschaft zuzurechnen ist (siehe folgender Abschnitt Anwenderbranchen). Zusammen mit typischen Leistungsdaten und Einsatzstunden der Maschinentypen (aus der UBA-Studie [2]) wurde eine gutachterliche Abschätzung des Anteils an den jährlichen Maschinenleistungsstunden pro Jahr (kWh/a) erstellt. Die Ergebnisse werden in Kapitel 3.3.2 dargestellt.

Bestandsdaten

Über den VDMA wurden deutschlandweite Bestandszahlen zu insgesamt 14 Produktklassen geliefert [64]. Datengrundlage sind hier jeweils Studien der Off-Highway Research aus verschiedenen Jahren (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Baumaschinenpopulation in Deutschland, Quelle: Off-Highway Research über VDMA

Produkt	Anzahl	Jahr
Radlader	100.000	2015
Minibagger	90.000	2014
Mobilbagger	48.000	2014
Kettenbagger	35.000	2014
Teleskoplader	12.000	2015
Planiertrauen	6.000	2015
Mobilkrane	5.950	2015
Kompaktlader	5.500	2015
Baggerlader	5.000	2006
Straßenfertiger	3.000	2010
knickgelenkte Muldenkipper	2.500	2016
Laderaupen	1.000	2015
Starre Muldenkipper	1.000	2016
Grader	800	2015

Vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) wurden ebenfalls Statistiken zum Absatz von Baumaschinen in Deutschland für das Jahr 2016 zur Verfügung gestellt /65/. Hierbei wurden lediglich die sieben häufigsten Kategorien gelistet (vgl. Tabelle 26). Die Zahlen zeigen, dass die im Bestand häufigsten Maschinentypen auch im Absatz deutlich führend vertreten sind.

Tabelle 26: Baumaschinenabsätze in Deutschland 2016, Quelle: VDMA

Maschinentyp	Anzahl
Minibagger	14.000
Radlader	10.000
Kettenbagger	4.000
Mobilbagger	2.500
Kompaktlader	500
Muldenkipper	500
Planiertrauben	500

Anwenderbranchen

Für die einzelnen Maschinentypen wurden auch Abschätzungen für die jeweiligen Anwenderbranchen ermittelt (vgl. Tabelle 27 bis Tabelle 30) /66/. Hieraus wurde der tatsächlich relevante Anteil der Maschinen für die Bauwirtschaft ermittelt. Kursiv sind jeweils die für die Bauwirtschaft nicht relevanten Anteile markiert. Die mobilen Maschinen, die an vermietende Unternehmen verkauft wurden (Art der Verwendung: Vermietung), wurden zur sicheren Seite vollständig der Bauwirtschaft zugeschlagen.

Tabelle 27: Anwenderbranchen Radlader

Anteil am Gesamtbestand	Art der Verwendung
25%	Vermietung
20%	Straßenbau
10%	Tiefbau, Kanal- und Wasserbau
10%	Hochbau
<i>10%</i>	<i>Galabau</i>
<i>5%</i>	<i>Abfall und Recycling</i>
<i>5%</i>	<i>Gewinnung und Bergbau</i>
<i>5%</i>	<i>Landwirtschaft</i>
<i>5%</i>	<i>Industrie</i>
<i>5%</i>	<i>Andere (Forstwirtschaft, Abbruch)</i>

Tabelle 28: Anwenderbranchen Minibagger

Anteil am Gesamtbestand	Art der Verwendung
40%	Vermietung
20%	Hochbau
15%	<i>Galabau</i>
10%	Straßenbau
10%	Tiefbau, Kanal- und Wasserbau
5%	<i>Andere (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Industrie, Abbruch, Abfall und Recycling)</i>

Tabelle 29: Anwenderbranchen Kettenbagger

Anteil am Gesamtbestand	Art der Verwendung
30%	Vermietung
20%	Straßenbau
20%	Tiefbau, Kanal- und Wasserbau
10%	<i>Abbruch</i>
10%	Hochbau
5%	<i>Gewinnung und Bergbau</i>
5%	<i>Andere (Galabau, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Abfall und Recycling, Industrie)</i>

Tabelle 30: Anwenderbranchen Mobilbagger

Anteil am Gesamtbestand	Art der Verwendung
30%	Vermietung
25%	Straßenbau
25%	Tiefbau, Kanal- und Wasserbau
10%	Hochbau
5%	<i>Abfall und Recycling</i>
5%	<i>Andere (Galabau, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Industrie, Abbruch)</i>

Anlage C: Berechnungsgrundlagen

Arbeitsschritte zu einzelnen Bautätigkeiten

Hochbau

- **Ausheben Baugrube und Material verladen** (nach Gebäudetyp)
Abgeleitet: aus einer mittleren Gebäudegrundfläche
Menge: Aushub in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Aushub
Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger
- **Ausheben Fundamente**
Abgeleitet: aus einer mittleren Gebäudegrundfläche
Menge: Aushub in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Aushub
Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger
- **Verdichten der Baugrube**
Abgeleitet: aus einer mittleren Gebäudegrundfläche
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Baugrubenfläche
Relevante Maschinen: Rüttelplatte, Vibrationswalze
- **Grabenarbeiten, Arbeiten an Gräben Ver- und Entsorgungsleitungen**
Abgeleitet: aus einer mittleren Grabenlänge und -tiefe pro Gebäude
Menge: Aushub in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Aushub
Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger
- **Herstellung des Baugrubenverbau**
Abgeleitet: aus einer mittleren Gebäudegrundfläche und Tiefe der Baugrube
Menge: Verbau in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Verbau
Relevante Maschinen: Radlader, Bagger, Bohr- und Rammgerät
- **Herstellen von Nebenflächen und Zufahrten**
(Untergrund, Deckschicht, Kantsteine etc.)
Abgeleitet: aus mittlerer Nebenfläche pro Gebäude
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Verbau
Relevante Maschinen: Radlader, Vibrationswalze, Rüttelplatte, Minibagger, Bagger

- **Herstellung Baufeld/Baustelle (klein/groß)**
 - Abgeleitet: Pauschaler Ansatz
 - Menge: Anzahl Baustellen
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Baustelle
 - Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger, Radlader, Stromaggregat, Pumpe

Straßentiefbau

- **Herstellung Untergrund (Pflaster)**
 - Abgeleitet: aus Oberflächen Wege
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Quadratmeter Weg
 - Relevante Maschinen: Vibrationswalze, Rüttelplatte, Radlader
Minibagger, Bagger
- **Herstellung Deckschichten (Pflaster)**
 - Abgeleitet: aus Oberflächen Wege
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Weg
 - Relevante Maschinen: Rüttelplatte, Radlader
- **Fräsen Deckschichten**
(getrennt für Bundesautobahnen, Hauptverkehrsstraßen, Nebenstraßen, Aufgrabungen)
 - Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (Deckschichten)
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
 - Relevante Maschinen: Fräse
- **Herstellung Unterbau und Planum**
(getrennt für Bundesautobahnen, Hauptverkehrsstraßen, Nebenstraßen)
 - Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund)
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
 - Relevante Maschinen: Bagger, Planieraupe, Walzenzüge, Rüttelplatten, Radlader
- **Herstellung Trag- und Binderschichten**
(getrennt für Bundesautobahnen, Hauptverkehrsstraßen, Nebenstraßen, Aufgrabungen)
 - Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund)
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
 - Relevante Maschinen: Fertiger, Radlader, Walzenzüge

- **Herstellung Deckschichten (Asphalt)**
(getrennt für Bundesautobahnen, Hauptverkehrsstraßen, Nebenstraßen, Aufgrabungen)
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (Deckschichten)
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
Relevante Maschinen: Fertiger, Radlader, Walzenzüge
- **Herstellung Bankett (Bundesautobahnen)**
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund) und mittlere Straßenbreite
Menge: Länge der Bankett in m
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro laufender Meter Bankett
Relevante Maschinen: Bagger, Walzenzüge, Planiertrauben
- **Herstellung von Kantsteinen und Entwässerung**
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (Deckschichten)
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Meter Kantstein und Anzahl Schächte, ermittelt aus der Fläche
Relevante Maschinen: Planiertraube, Walzenzüge
- **Verladen von Material**
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund) und mittlere Tiefe
Menge: Aushub in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Aushub
Relevante Maschinen: Bagger
- **Herstellung Baufeld/Baustelle**
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund)
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro 1.000 m²
Relevante Maschinen: Bagger, Radlader
- **Maschineneinsatz Baustelle (Materialbewegung etc.)**
Abgeleitet: aus Fahrbahnoberflächen (mit Untergrund)
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro 1.000 m²
Relevante Maschinen: Bagger, Radlader, Aggregate

Straßentiefbau (A7-Baustellen)

- Bohrpfähle Gründung Tunnelbauwerke und Brücke

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Anzahl Bohrpfähle
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Bohrpfahl
Relevante Maschinen: Bohr-/Rammgerät, Radlader, Bagger

- Bohrpfähle Verbau

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Anzahl Bohrpfähle
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Bohrpfahl
Relevante Maschinen: Bohr-/Rammgerät, Radlader, Bagger

- Aus- und Einbau Erdvolumen

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Volumen in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³
Relevante Maschinen: Bagger, Planierdraupe, Walzenzüge

- Verladen von Material

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Volumen in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³
Relevante Maschinen: Bagger

- Unterbau / Unterbau Bauzeit

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Volumen in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³
Relevante Maschinen: Bagger, Planierdraupe, Walzenzüge, Rüttelplatte

- Herstellung des Verbaus

Abgeleitet: Länge und Tiefe des Verbaus
Menge: Verbau in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Verbau
Relevante Maschinen: Radlader, Bagger

- Herstellung Böschungen

Abgeleitet: direkte Meldung/Leistungsverzeichnis
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Böschung
Relevante Maschinen: Bagger, Planierdraupe, Walzenzüge

Kanal- und Leitungstiefbau

- **Herstellung Graben** (unterschiedliche Grabentypen)
 - Abgeleitet: Grabenlänge sowie typische Tiefe und Breite
 - Menge: Volumen in m³
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Grabenherstellung
 - Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger
- **Herstellung Verbau** (gestellt/Dielen)
 - Abgeleitet: Grabenlänge sowie typische Tiefe
 - Menge: Fläche in m²
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Verbau
 - Relevante Maschinen: Bagger, Radlader
- **Verfüllen Graben** (unterschiedliche Grabentypen)
 - Abgeleitet: Grabenlänge sowie typische Tiefe und Breite
 - Menge: Volumen in m³
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Grabenverfüllung
 - Relevante Maschinen: Bagger, Stampfer, Rüttelplatte
- **Verladen von Material**
 - Abgeleitet: Grabenlänge sowie typische Tiefe und Breite
 - Menge: Aushub in m³
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Aushub
 - Relevante Maschinen: Minibagger, Bagger
- **Herstellung Startgrube**
(klein/groß)
 - Abgeleitet: direkte Meldung
 - Menge: Anzahl Gruben
 - Maschinenansatz: Einsatzstunden pro Baugrube
 - Relevante Maschinen: Bohr-/Rammgerät, Radlader, Bagger
- **Herstellung Baufeld/Baustelle**
 - Abgeleitet: Pauschaler Ansatz
 - Menge: Anzahl Baustellen
 - Maschinenansatz: Einsatzstunden pro Baufeld
 - Relevante Maschinen: Bagger, Radlader
- **Maschineneinsatz Baustelle (Materialbewegung etc.)**
 - Abgeleitet: aus Bautagen pro Meter Grabenlänge
 - Menge: Tage
 - Maschinenansatz: Einsatzzeit pro Bautag
 - Relevante Maschinen: Radlader, Aggregate

Großbaustellen

- **Herstellung Unterbau und Planum**

Abgeleitet: aus Flächen Verkehrswege in Bebauungsplänen
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
Relevante Maschinen: Bagger, Planierraupe, Walzenzüge, Rüttelplatten, Radlader

- **Herstellung Trag- und Binderschichten**

Abgeleitet: aus Flächen Verkehrswege in Bebauungsplänen
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
Relevante Maschinen: Fertiger, Radlader, Walzenzüge

- **Herstellung Deckschichten (Asphalt)**

Abgeleitet: aus Flächen Verkehrswege in Bebauungsplänen
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m² Fahrbahn
Relevante Maschinen: Fertiger, Radlader, Walzenzüge

- **Material Auf- und Abtrag**

Abgeleitet: aus Flächen Baufeldvorbereitung und typischen Grabetiefen
Menge: Material in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³ Material
Relevante Maschinen: Bagger, Radlader

- **Verdichten von Böden**

Abgeleitet: aus Flächen Baufeldvorbereitung
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m²
Relevante Maschinen: Bagger, Walzenzüge, Planierraupen

- **Anlegen von Böden**

Abgeleitet: aus Flächen Baufeldvorbereitung
Menge: Fläche in m²
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m²
Relevante Maschinen: Bagger

- **Dammbau**

Abgeleitet: aus Meldungen und typischen Querschnitten
Menge: Volumen in m³
Maschinenansatz: Einsatzzeit pro m³
Relevante Maschinen: Bagger, Planierraupen, Walzenzüge

Ingenieurbauwerke, Gleisbau

- Herstellung Brücke

Abgeleitet:	-
Menge:	Anzahl Brücken
Maschinenansatz:	typische Einsatzzeit pro Brücke (Auswertungen)
Relevante Maschinen:	Bohr-/Rammgerät, Radlader, Bagger, Walzenzüge

- Sanierung Tunnel

Abgeleitet:	-
Menge:	Anzahl Tunnelsanierung
Maschinenansatz:	typische Einsatzzeit Tunnelsanierung (Auswertungen)
Relevante Maschinen:	Bagger, Minibagger, Aggregate

- Herstellung Spundwand

Abgeleitet:	-
Menge:	Länge Spundwand in m
Maschinenansatz:	Einsatzzeit pro laufendem Meter Spundwand (Auswertungen)
Relevante Maschinen:	Bohr-/Rammgerät, Radlader, Bagger

- Gleisbau

Abgeleitet:	-
Menge:	Gleislänge in m
Maschinenansatz:	Einsatzzeit pro m (Auswertungen)
Relevante Maschinen:	Bagger (Zwei-Wege), Radlader, Aggregate

- Weichentausch

Abgeleitet:	-
Menge:	Anzahl Weichen
Maschinenansatz:	Einsatzzeit pro Weiche (Auswertungen)
Relevante Maschinen:	Bagger (Zwei-Wege), Radlader, Aggregate

Maschinentypen mit Gesamteinsatzzeit

Maschinentyp	Mittlere Nennleistung [h]	Mittlere jährliche Einsatzstunden [h]
Aggregat: Beleuchtung	10	71.000
Aggregat: Kompressor	35	146.000
Aggregat: Pumpe	30	39.000
Aggregat: Strom	40	209.000
Bohr-/Rammgerät	230	3.000
Bohr-/Rammgerät	430	19.000
Fertiger	55	4.000
Fertiger	75	4.000
Fertiger	130	1.000
Fräse	50	1.000
Fräse	500	1.000
Kettenbagger	115	275.000
Kettenbagger	135	90.000
Kettenbagger	210	233.000
Kettenbagger	450	3.000
Minibagger	10	331.000
Minibagger	17	55.000
Minibagger	37	207.000
Mobilbagger	85	309.000
Mobilbagger	115	756.000
Planierraupe	100	11.000
Planierraupe	230	2.000
Radlader	36	219.000
Radlader	50	486.000
Radlader	115	180.000
Rüttelplatte	5	241.000
Rüttelplatte	15	72.000
Stampfer	3	80.000
Walze, Kombi	35	4.000
Walze, Pneu	95	8.000
Walze, Vibration	24	3.000
Walze, Vibration	55	3.000
Walze, Vibration	57	32.000
Walze, Vibration	85	27.000

Emissionsfaktoren nach Maschinentyp und Leistungsklasse

Die in der folgenden Tabelle dargestellten Emissionsfaktoren wurden aus den Flottenzusammensetzungen in Tabelle 12 bis Tabelle 19 zusammen mit den Emissionsfaktoren sowie weiteren Faktoren (siehe Kapitel 2.4) ermittelt. Nicht verwendete Emissionsfaktoren sind nicht dargestellt. Bei den Stromaggregaten wurde als mittlerer Emissionsfaktor der Wert für Aggregate mit 37-56 kW gewählt.

Leistungsklasse	Radlader	Rüttelplatte	Minibagger	Kettenbagger	Mobilbagger	Kompressoren	Stromerzeuger	Walzen(zug)	Fertiger
Emissionsfaktoren PM [g/kWh]									
0-19 kW	-	0,60	0,96	-	-	1,45	1,45	1,45	-
19-37 kW	0,79	-	0,79	-	-	0,88	0,79	0,79	-
37-56 kW	0,14	-	-	-	-	-	0,72	0,09	-
56-75 kW	-	-	-	-	-	-	1,05	0,27	-
75-130 kW	0,10	-	-	0,09	0,09	-	0,24	0,03	0,03
130-560 kW	-	-	-	0,10	-	-	-	-	0,03
Emissionsfaktoren NO _x [g/kWh], Lastfaktor < 0,35									
0-19 kW	-	5,95	5,95	-	-	8,20	8,20	8,20	-
19-37 kW	6,34	-	6,34	-	-	6,82	6,34	6,34	-
37-56 kW	4,03	-	-	-	-	-	8,22	3,90	-
56-75 kW	-	-	-	-	-	-	9,87	3,33	-
75-130 kW	2,34	-	-	2,30	2,34	-	3,62	2,40	0,60
130-560 kW	-	-	-	2,45	-	-	-	-	0,60
Emissionsfaktoren NO _x [g/kWh], Lastfaktor > 0,35									
0-19 kW	-	5,95	5,95	-	-	8,20	8,20	8,20	-
19-37 kW	6,34	-	6,34	-	-	6,82	6,34	6,34	-
37-56 kW	4,03	-	-	-	-	-	8,22	3,90	-
56-75 kW	-	-	-	-	-	-	9,87	3,32	-
75-130 kW	2,30	-	-	2,25	2,28	-	3,57	2,36	0,48
130-560 kW	-	-	-	2,43	-	-	-	-	0,48

Anlage D: Auswertung Maschinenalter

Aus den Erhebungen, die in Kapitel 3.3.3 beschrieben wurden, wurden auch die folgenden Daten zum mittleren Baujahr erfasst.

Tabelle 31: Mittlere Baujahre von erfassten Radladern in Hamburg getrennt nach Leistungsklassen

Radlader	EU-Abgasstufen und Mittelwert von Baujahr					
Leistungsklasse	ohne	II	IIIA	IIIB	IV	Ø
19-37			2015			2015
37-56		2006	2010	2015		2014
56-75			2010	2015	2016	2013
75-130	1993		2010	2015	2017	2014
130-560			2008	2013	2017	2015
Ø	1993	2006	2013	2015	2017	2014

Tabelle 32: Mittlere Baujahre von erfassten Minibaggern in Hamburg getrennt nach Leistungsklassen

Minibagger	EU-Abgasstufen und Mittelwert von Baujahr			
Leistungsklasse	ohne	IIIA	IIIB	Ø
0-19	2015			2015
19-37		2015		2015
37-56			2016	2016
56-75			2012	2012
Ø	2015	2015	2014	2015

Hinweis: Einzelne Fahrzeuge mit einer Leistung von >37 kW wurden in den Datensätzen als Minibagger übermittelt. De facto handelt es sich in diesen Einzelfällen aber um Ketten-/Mobilbagger

Tabelle 33: Mittlere Baujahre von erfassten Kettenbaggern in Hamburg getrennt nach Leistungsklassen

Kettenbagger	EU-Abgasstufen und Mittelwert von Baujahr					
Leistungsklasse	ohne	II	IIIA	IIIB	IV	Ø
19-37			2016			2016
37-56				2016		2016
56-75			2011		2017	2012
75-130	1998	2004	2010	2014	2017	2014
130-560		2005	2009	2015	2016	2012
Ø	1998	2005	2014	2015	2017	2014

Tabelle 34: Mittlere Baujahre von erfassten Mobilbaggern in Hamburg getrennt nach Leistungsklassen

Mobilbagger	EU-Abgasstufen und Mittelwert von Baujahr					
	ohne	II	IIIA	IIIB	IV	Ø
19-37	1997		2016			2007
37-56		2006	2012	2016		2014
56-75	1994			2014	2016	2012
75-130	1992		2010	2014	2016	2014
130-560			2011			2011
Ø	1993	2006	2011	2014	2016	2013

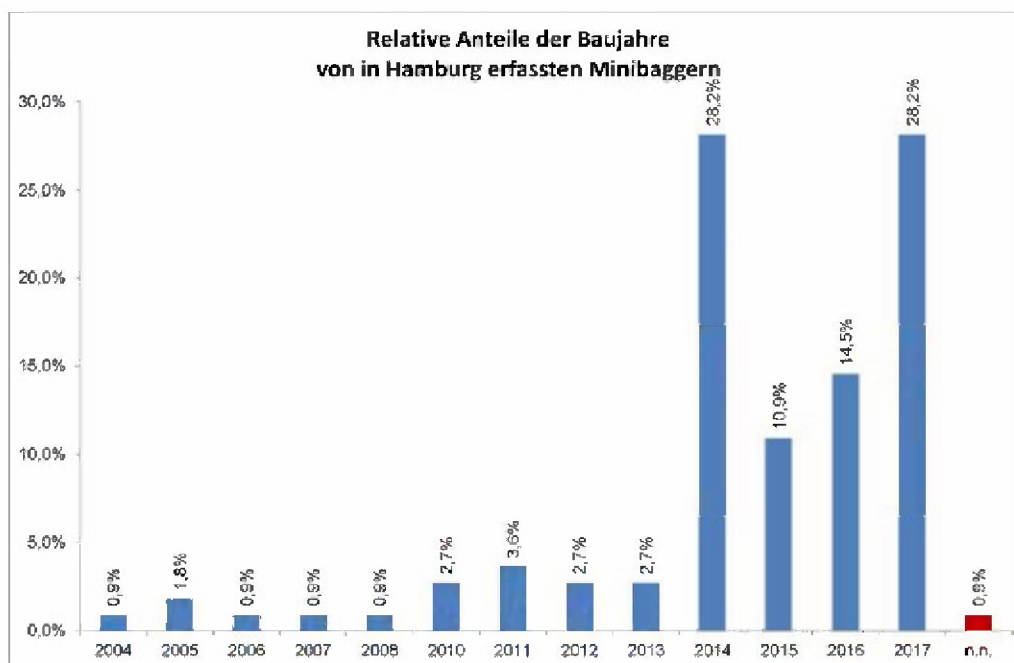


Abbildung 17: Relative Anteile der Baujahre von erfassten Minibaggern im Hamburger Stadtgebiet

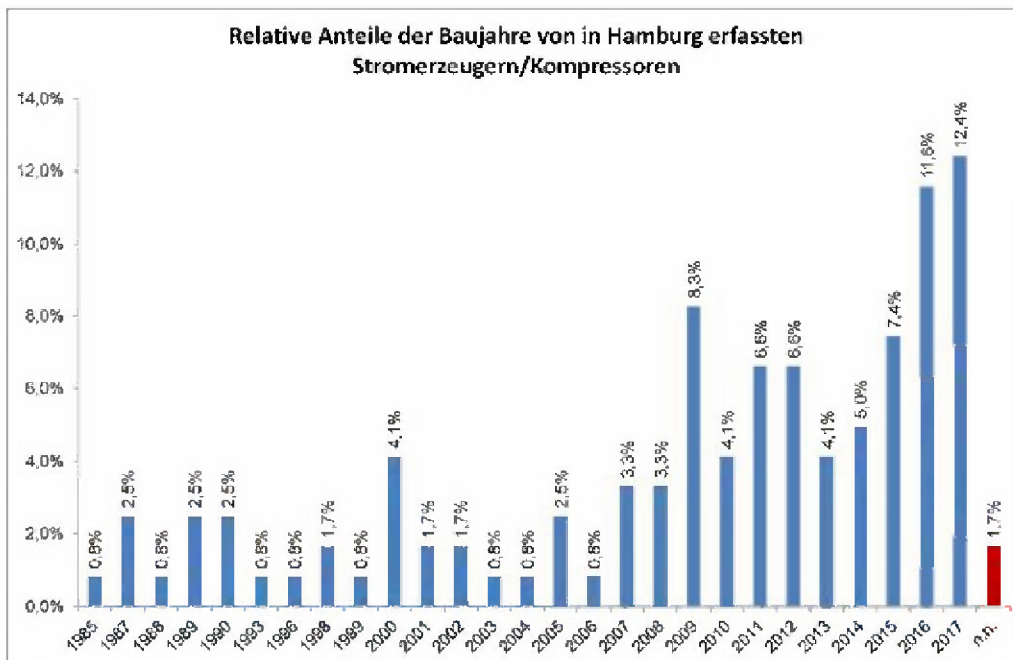


Abbildung 18: Relative Anteile der Baujahre von erfassten Stromerzeugern/Kompressoren im Hamburger Stadtgebiet

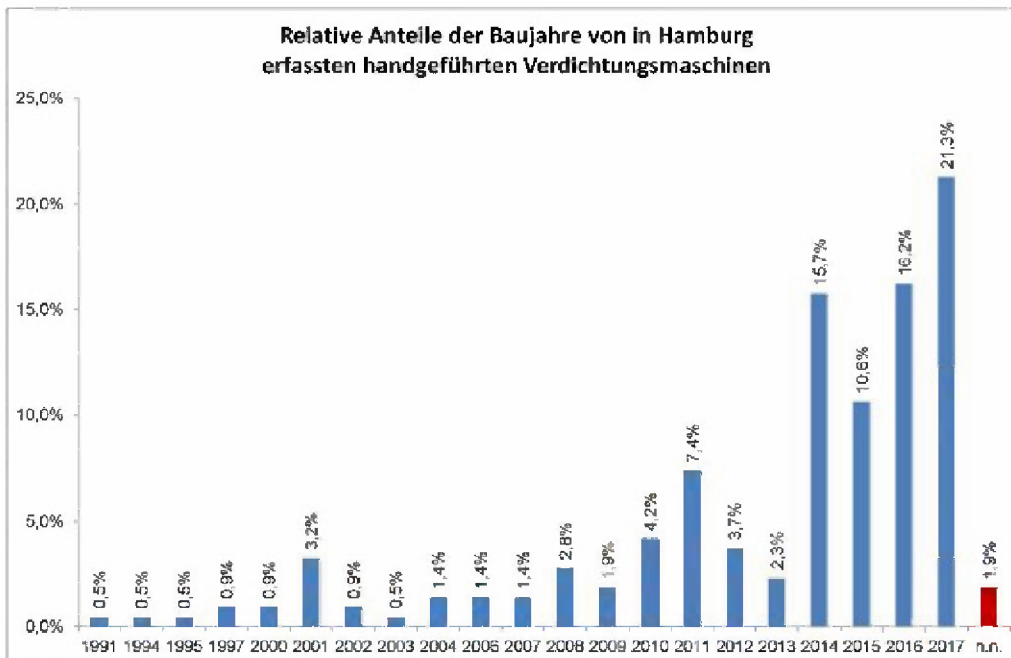


Abbildung 19: Relative Anteile der Baujahre von erfassten Verdichtungsmaschinen (Vibrationsstamper/Rüttelplatten) im Hamburger Stadtgebiet

Quellenverzeichnis

- [1] **Luftreinhaltungsplan für Hamburg (2. Fortschreibung)**
Aufgestellt am 30. Juni 2017
- [2] **Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung aus NRMM (non road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand.** ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg. 2014
- [3] **Berechnung der Schadstoffemissionen, die im Hamburger Landesgebiet aus Hausbrand und Kleingewerbe entstehen**
IVU Umwelt GmbH, 2011
- [4] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/non-road-datenbank.html>
- [5] **Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road-Sektors.** Studie für die Jahre 1980-2050, Bundesamt für Umwelt BAFU, Schweiz, 2015
- [6] **Ermittlung des Baumaschinenbestandes in Deutschland.** Schriftenreihe der Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e. V., Juli 2015
- [7] NRMM-Bestand der Freien und Hansestadt Hamburg. Datenabfrage der Behörde für Umwelt und Energie, 05.12.2017
- [8] **RICHTLINIE 97/68/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES** vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte
- [9] **VERORDNUNG (EU) 2016/1628 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES** vom 14. September 2016 über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG
- [10] **Bauvorhabensdaten aus Mitteilungen, Baubeginnanzeigen und Vorankündigungen.** Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie, 01.12.2017
- [11] **Statistik F 00 IV 03 Baufertigstellungen** für Wohn- und Nichtwohngebäude nach Zahl der Vollgeschosse - Neubau insgesamt, Jahr 2015, Hamburg
Statistik Nord

-
- [12] **Statistik F 00 IV 03 Baufertigstellungen** für Wohn- und Nichtwohngebäude nach Zahl der Vollgeschosse - Neubau insgesamt, Jahr 2016, Hamburg
Statistik Nord
 - [13] **Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA)**. Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 7/2009, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
 - [14] **Drucksache 21/9891** der Freien und Hansestadt Hamburg: Fortschritte bei der Sanierung der Hamburger Straßen vom 04.08.2017
 - [15] **Fahrstreifensanierung und -ausbau in Hamburg**. DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH, 08.12.2017
 - [16] **Meldung des LSBG, F3, Baumaßnahmen der Jahre 2014 bis 2017**. 12.10.2017, 05.12.2017
 - [17] **Baustelleninformationen zum A7-Ausbau in Schnelsen**. ARGE A7 Hamburg-Bordesholm, 18.12.2017
 - [18] **Meldungen Straßen- und Radwegebau des Bezirksamts Eimsbüttel**. Fachamt Management des öffentlichen Raums
10.07.2017, 12.07.2017, 14.07.2017
 - [19] **Meldung Straßen- und Wegebau des Bezirksamts Harburg 2017**
Fachamt Management des öffentlichen Raums
14.07.2017
 - [20] **Straßenbau in Hamburg – ein Erfahrungsbericht**. Schröder, Christoph F.-J., Wummel, Dr.-Ing. Kai, Straße und Autobahn 6.2017, Seite 423-438
 - [21] **Asphaltproduktion in Deutschland**. Deutscher Asphaltverband, Stand August 2017
 - [22] **Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen (RStO 12)**, Ausgabe 2012
 - [23] **Drucksache 21/8240** der Freien und Hansestadt Hamburg: Störungen und Pannen im Hamburger Schienennetz vom 31.03.2017
 - [24] <https://www.hamburg-port-authority.de/de/schiene/>
 - [25] **Hafen Hamburg – mehr Freiraum schaffen**. In: Hansa, Heft 2/2011, S. 63/64, Hamburg 2011
 - [26] **Meldung zu Baumaßnahmen und Bestand, Schienennetz der DB**. DB Netze, Produktionsdurchführung Hamburg, 07.11.2017, 06.12.2017
 - [27] **Infrastrukturzustands- und -entwicklungsbericht 2016**. Deutsche Bahn AG, September 2017

-
- [28] **Meldung zu Baumaßnahmen, Schienennetz der Hochbahn.** Hamburger Hochbahn AG, 19.12.2017
- [29] **Meldung des LSBG, K3, Baumaßnahmen.** 25.07.2017
- [30] **Drucksache 20/14001** der Freien und Hansestadt Hamburg: Hafenfinanzierung (IV) vom 30.12.2014
- [31] **Drucksache 20/5561** der Freien und Hansestadt Hamburg: Hochwasserschutz für Hamburg vom 16.10.2012
- [32] **Drucksache 20/10597** der Freien und Hansestadt Hamburg: Hochwasserschutz vom 18.02.2014
- [33] **Drucksache 20/3499** der Freien und Hansestadt Hamburg: Hochwasserschutz in Hamburg vom 05.04.2012
- [34] **Meldung des LSBG, G3, Informationen zu laufenden und abgeschlossenen Baumaßnahmen.** 18.07.2017
- [35] **Drucksache 21/7484** der Freien und Hansestadt Hamburg: Berichtswesen Bau-Monitoring 2016 vom 10.01.2017
- [36] **Online Ressourcen:**
<https://www.stromnetz.hamburg/presse/baustelleninformationen/>
<https://www.hamburg.de/behoerdenfinder/hamburg/11321298/>
<https://www.hamburgwasser.de/fr/privatkunden/unser-wasser/der-weg-des-wassers/>
<https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/unser-wasser/der-weg-des-wassers/abwasserableitung/>
<http://www.fernwaerme-gemeinschaft.de/anschluss-und-netz/netzkarte/>
- [37] **Zustand der kommunalen Straßeninfrastruktur.** Steinauer, Kemper, RWTH Aachen, im Auftrag des ACE Auto Club Europa, IG Bauen-Agrar-Umwelt
- [38] **Wiederherstellungen von Verkehrsflächen nach Aufgrabungen durch die Stadtwerke München GmbH – Erfahrungsbericht.** Bekanntgabe in der Sitzung des Bauausschusses vom 10.07.2001
- [39] <https://www.stromnetz.hamburg/presse/baustelleninformationen/>
- [40] <https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/baustellen/>
- [41] <https://www.hamburgwasser.de/privatkunden/baustellen/baustellentagebuch-transportsiel-wallring/>
- [42] **Presseinformation „Vattenfall baut das Fernwärmenetz weiter aus“.** Vattenfall GmbH, 30.11.2015
- [43] <https://blog.vattenfall.de/klar-zur-waermewende/>

-
- [44] Begründung zum Bebauungsplan Neugraben-Fischbek 65.** Freie und Hansestadt Hamburg, Bezirk Harburg, Mai 2016

 - [45] Begründung zum Bebauungsplan Neugraben-Fischbek 66.** Freie und Hansestadt Hamburg, Bezirk Harburg, Oktober 2017

 - [46] Begründung zum Bebauungsplan HafenCity 14.** Freie und Hansestadt Hamburg, Bezirk Hamburg-Mitte, September 2015

 - [47] Drucksache 20/10043** der Freien und Hansestadt Hamburg: Drehkreis Westerweiterung und Anpassung der Einfahrt zum Vorhafen vom 29.11.2013

 - [48] Drucksache 21/2286** der Freien und Hansestadt Hamburg: Stand der Hafeninfrastukturmaßnahmen „Ausbau innerer Hafen – Anpassung Einfahrt Vorhafen“ vom 24.11.2015

 - [49] Standardanalysen SBV 2017.** Schweizerischer Baumeisterverband

 - [50] ARH Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen – Erdarbeiten.** Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Industriegewerkschaft Bauen-Agrar-Umwelt, Zeittechnik-Verlag

 - [51] ART Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen – Pflaster- und Steinsetzarbeiten.** Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Zeittechnik-Verlag, 1998

 - [52] ART Arbeitszeit-Richtwerte Tabellen – Verbauarbeiten.** Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V., Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Zeittechnik-Verlag, 3. Auflage

 - [53] Maschinen im Baubetrieb – Grundlagen und Anwendung.** Hrsg. Horst König. 4. Auflage. Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

 - [54] Preisermittlung für Bauarbeiten.** Plümecke. 27., aktualisierte Auflage 2012. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH&Co. KG

 - [55] Kalkulation von Baupreisen – Hochbau, Tiefbau, schlüsselfertiges Bauen.** Drees, Paul. 12. Auflage 2014, Beuth Verlag GmbH

 - [56] DWA-A 139 „Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen“.** DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Dezember 2009

 - [57] Liste der Firmen die im Bereich der FHH auf öffentlichem Grund mit Wiederherstellungsarbeiten nach Aufgrabungen in Fahrbahnflächen und Nebenflächen beauftragt werden dürfen.** Stand 11.08.2017. Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation, Amt für Verkehr und Straßenwesen, Grundlagen des Straßenwesens -VI 1 -

-
- [58] Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA), Version 3.3 (April 2017)**
UBA - Umweltbundesamt Deutschland] BUWAL - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Schweiz
 - [59] B_I Baumagazin, Fachzeitschrift für Hochbau, Tiefbau und Straßenbau**
Nr. 1, Februar 2018
 - [60] Bauhandbuch Hamburg**
Verwaltungsvorschriften über die Durchführung von Bauaufgaben der Freien und Hansestadt Hamburg (VV-Bau) vom 15. Dezember 1994, Stand 03/2018
 - [61] Beschluss der 83. Umweltministerkonferenz, 2014**
 - [62] Leitfaden zur umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung – Baumaschinen**
Umweltbundesamt, Oktober 2017
 - [63] Aktualisierung des Modells TREMOD – Mobile Machinery (TREMOM-MM)**
UBA-Texte 28/2010, ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung, 2010
 - [64] Statistik zum deutschlandweiten Maschinenbestand.** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.(VDMA)
 - [65] Statistik zum deutschlandweiten Maschinenabsatz.** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.(VDMA)
 - [66] Verteilung der deutschlandweiten Maschinenabsätze nach Anwenderbranchen.** Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.(VDMA)