



# Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Kassel

## 2. Fortschreibung



## Impressum

**Herausgeber:** Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV)  
Mainzer Straße 80  
65189 Wiesbaden  
[www.umwelt.hessen.de](http://www.umwelt.hessen.de)

**Redaktionelle Bearbeitung und Gestaltung:**  
HMUKLV, Abt. II, Referat 4

**Titelfoto:** Carroy ([CC BY-SA 3.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/))

**Druck:** HMUKLV

**Kartengrundlagen:** Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation  
[Openstreetmap](https://openstreetmap.org/), [ODbL1.0](https://www.odbl.org/)  
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: GeoBasis-DE / BKG 2018

**Stand:** Oktober 2019

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einführung</b>	<b>5</b>
Situation im Ballungsraum Kassel	5
Öffentlichkeitsbeteiligung	5
Rechtsgrundlagen	6
Gesundheitliche Wirkung von Stickstoffdioxid	7
<b>1 Region</b>	<b>9</b>
1.1 Ballungsraum Kassel	9
1.2 Messstandorte im Ballungsraum Kassel	10
1.2.1 Luftmessstationen	11
<b>2 Allgemeine Informationen</b>	<b>13</b>
2.1 Art des Gebietes	13
2.2 Betroffenes Gebiet	13
2.3 Topographie und Klima	14
2.3.1 Topographie des Ballungsraums	14
2.3.2 Klima des Ballungsraums	14
<b>3 Zuständige Behörden</b>	<b>16</b>
<b>4 Art und Beurteilung der Verschmutzung</b>	<b>17</b>
4.1 Entwicklung der Messwerte	17
4.1.1 Feinstaubbelastung (PM <sub>10</sub> und PM <sub>2,5</sub> )	17
4.1.2 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ) und Benzol	17
4.1.3 Ozon	18
4.1.4 Stickoxide (NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> )	18
4.1.5 Die Belastungssituation 2018	19
4.2 Beurteilung der Luftqualität mittels Modellrechnungen	19
4.2.1 Beiträge zur Gesamtbelastung	19
4.2.2 Modellrechnungen zur Ermittlung der Verursacheranteile	20
4.2.3 Berechnung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung durch Modellrechnung	20
<b>5 Ursprung der Verschmutzung</b>	<b>22</b>
5.1 Liste der wichtigsten Emissionsquellen	22
5.2 Industrieemissionen	22
5.3 Gebäudeheizungsemissionen	23
5.4 Verkehrsemissionen	24
5.4.1 Verkehrszählungen als Grundlage der Emissionsermittlung	24
5.4.2 Abgasgrenzwerte und Realemissionen von Fahrzeugen	24
5.4.3 Zusammensetzung der Kfz-Flotte	26

5.4.4	Verkehrsemissionen des Ballungsraums	27
5.5	NO <sub>x</sub> -Emissionen des Ballungsraums	27
5.6	Eintrag von Stickoxiden aus anderen Gebieten	27
<b>6</b>	<b>Analyse der Lage</b>	<b>28</b>
6.1	Ausbreitungsberechnungen zur Ermittlung der Verursacheranteile	28
6.2	Modellrechnungen zur Ermittlung der Zusatzbelastung durch den lokalen Verkehr	29
6.3	Untersuchung der Verursacheranteile des Straßenverkehrs	30
<b>7</b>	<b>Angaben zu bereits durchgeführten oder bestehenden Verbesserungsvorhaben</b>	<b>32</b>
7.1	Europaweite und nationale Maßnahmen	32
7.1.1	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Industrie	32
7.1.2	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Gebäudeheizung	33
7.1.3	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Kfz-Verkehr	33
7.2	Lokale Maßnahmen im Bereich des Ballungsraums Kassel	34
<b>8</b>	<b>Untersuchte und geplante Maßnahmen</b>	<b>35</b>
8.1	Einleitung	35
8.2	Sofortprogramm der Bundesregierung „Saubere Luft 2017 bis 2020“	36
8.3	Maßnahmenpaket Ballungsraum Kassel	36
8.3.1	Intelligente Verkehrssteuerung	36
8.3.2	Mobilitätsmanagement	38
8.3.3	Förderung stadtgerechter Mobilitätsformen	40
8.3.4	Förderung des Radverkehrs im Umland- und Binnenverkehr	42
8.3.5	Förderung des Schienengebundenen Personennahverkehrs (SPNV)	43
8.3.6	Umstellung der Fahrzeugflotte auf emissionsfreie/-arme Antriebstechnologie	44
8.3.7	Maßnahmenüberblick und Prognose	45
<b>9</b>	<b>Behandlung der Einwendungen</b>	<b>47</b>
9.1	Fokussierung nur auf Stickoxide	47
9.2	Fehlende Berücksichtigung geplanter Projekte	47
9.3	Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduzierungen auf die Schadstoffbelastung	48
9.4	Modellierung der Ysenburgstraße	48
<b>10</b>	<b>Quellen</b>	<b>49</b>
<b>11</b>	<b>Anhänge</b>	<b>51</b>
11.1	Begriffsbestimmungen	51
11.2	Abbildungsverzeichnis	52
11.3	Tabellenverzeichnis	53
11.4	Abkürzungsverzeichnis	53

### Einführung

Die Luftqualität hat einen entscheidenden Einfluss auf die Gesundheit der Menschen. Erhöhte Belastungen durch die verschiedenen Luftschadstoffe können dazu beitragen, diverse Erkrankungen nicht nur der Atemwege auszulösen oder zu verschlimmern, sondern im schlimmsten Fall sogar die Lebenszeit um Jahre verkürzen.

In einer Umwelt, in der es viele Quellen gibt, aus denen die gesundheitsschädlichen Luftschadstoffe emittiert werden, ist es von besonderer Bedeutung, Menschen, aber auch die Vegetation vor zu hohen Konzentrationen dieser Schadstoffe zu schützen.

Um einen entsprechenden Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt sicher zu stellen, hat die Europäische Union verbindliche Grenzwerte festgelegt. Zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzwerte, sind regelmäßige Messungen nach bestimmten vorgegebenen Kriterien durchzuführen. Zeigen die Messungen, dass Grenzwerte überschritten werden, sind Luftreinhaltepläne aufzustellen. Sie müssen Maßnahmen beinhalten, die geeignet sind den Zeitraum der Überschreitung so kurz wie möglich zu halten.

Sowohl der europäische Gerichtshof als auch nationale Gerichte messen dem Schutz der menschlichen Gesundheit einen hohen Stellenwert bei. Finanzielle oder wirtschaftliche Aspekte werden nicht als ausreichende Gründe angesehen, von wirksamen Maßnahmen absehen zu dürfen. Damit können sich mit Umsetzung der Maßnahmen u.U. finanzielle und/oder wirtschaftliche Beeinträchtigungen für Dritte ergeben, die jedoch hinter dem Allgemeinwohl zurückstehen müssen.

### Situation im Ballungsraum Kassel

Die Luftqualität im Ballungsraum Kassel hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert. Der Immissionsgrenzwert für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) wurde seit Aufnahme der Messungen lediglich einmal im Jahr 2005 überschritten. Selbst die deutlich länger anhaltende Überschreitung des Stickstoffdioxidgrenzwertes (NO<sub>2</sub>) konnte 2017 beendet werden.

Mit den Maßnahmen des im Jahr 2011 erstmalig fortgeschriebenen Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel konnte die Höhe der Stickstoffdioxidkonzentrationen so weit gesenkt werden, dass der Immissionsgrenzwert inzwischen knapp eingehalten werden konnte. Da die Einhaltung

aber auch von meteorologischen Bedingungen abhängig ist, soll mit weiteren Maßnahmen dieses fortgeschriebenen Luftreinhalteplans sichergestellt werden, dass auch unter widrigen Wetterlagen keine Überschreitungen mehr zu verzeichnen sind.

Die hier festgelegten Maßnahmen wurden in Zusammenarbeit mit Vertretern der Kommunen im Ballungsraum Kassel und dem hessischen Verkehrsministerium festgelegt. Zu den Maßnahmen im Verkehrsbereich liegt das Einvernehmen mit der obersten Verkehrsbehörde des Landes Hessen vor.

Zum besseren Verständnis der Situation im Ballungsraum Kassel beschreibt der Luftreinhalteplan die Entwicklung der dortigen Luftschadstoffkonzentrationen, zeigt die Verursacher auf, legt die Maßnahmen zur Verminderung der Luftschadstoffe fest und gibt einen Ausblick auf die voraussichtliche Wirkung der Minderungsmaßnahmen auf die lufthygienische Situation. Diese Gliederung entspricht den rechtlichen Vorgaben (Anlage 13 der 39. BImSchV [1]).

### Öffentlichkeitsbeteiligung

Die Öffentlichkeit ist bei der Aufstellung oder Änderung von Luftreinhalteplänen zu beteiligen (§ 47 Abs. 5a BImSchG).

Die Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgte durch Ankündigung der Auslegung des Entwurfs der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel im Staatsanzeiger des Landes Hessen sowie durch Pressemeldungen. Der Planentwurf konnte in der Zeit vom 30. Juli 2019 bis einschließlich 29. August 2019 beim Magistrat der Kassel eingesehen werden. An den Offenlegungszeitraum schloss sich eine Frist von zwei Wochen bis einschließlich 12. September 2019 an, innerhalb derer ebenfalls noch Bedenken, Anregungen oder Einwände beim HMUKLV geltend gemacht werden konnten. Im Zeitraum der Öffentlichkeitsbeteiligung stand der Planentwurf auch auf den Internetseiten des Umweltministeriums zum Thema Luftreinhaltung (<https://umweltministerium.hessen.de/umwelt-natur/luft-laerme/luftreinhalteplanung>) sowie des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (<http://www.HLNUG.de/start/luft/luftreinhalteplaene/publizierte-luftreinhalteplaene-nach-eu-recht.html>) zur Einsichtnahme zur Verfügung.

Zum Planentwurf ging lediglich eine Einwendung ein. Auf ihre Anregungen bzw. Bedenken wird –

soweit sie nicht zu einer Ergänzung des Plans geführt haben – im Kapitel 9 eingegangen.

Mit Berücksichtigung der Einwendungen ist der Luftreinhalteplan abgeschlossen. Mit seiner Veröffentlichung im Hessischen Staatsanzeiger werden die darin enthaltenen Maßnahmen für alle Institutionen, die für ihre Umsetzung zuständig sind, verbindlich.

## Rechtsgrundlagen

Zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt hat die Europäische Union im Mai 2008 eine Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa [2] verabschiedet. Die Umsetzung in deutsches Recht erfolgte im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [3] und in der 39. Verordnung zum BImSchG (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) [1].

Luftschadstoff	Kenngröße	Einheit	Grenzwert		Schutzziel
			(Anzahl zulässiger Überschreitungen pro Jahr)	gültig seit	
<b>Benzol</b>	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	5	2010	Gesundheit
<b>Blei</b>	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	0,5	2005	Gesundheit
<b>Kohlenmonoxid (CO)</b>	max. 8-h-Mittel	mg/m <sup>3</sup>	10	2005	Gesundheit
<b>Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)</b>	1-h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	200 (18-mal)	2010	Gesundheit
	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	40	2010	Gesundheit
<b>Stickoxide (NO<sub>x</sub>)</b>	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	30	2001	Vegetation <sup>1)</sup>
<b>Feinstaub (PM<sub>10</sub>)</b>	24-h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	50 (35-mal)	2005	Gesundheit
	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	40	2005	Gesundheit
<b>Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>)</b>	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	25	2015	Gesundheit
<b>Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)</b>	1-h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	350 (24-mal)	2005	Gesundheit
	24-h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	125 (3-mal)	2005	Gesundheit
	Jahresmittel	µg/m <sup>3</sup>	20	2001	Ökosystem <sup>1)</sup>
	Wintermittel <sup>2)</sup>	µg/m <sup>3</sup>	20	2001	Ökosystem <sup>1)</sup>
			Zielwert		
<b>Arsen</b>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	6	2013	Gesundheit / Umwelt
<b>Benzo(a)pyren</b>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	1	2013	Gesundheit / Umwelt
<b>Kadmium</b>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	5	2013	Gesundheit / Umwelt
<b>Nickel</b>	Jahresmittel	ng/m <sup>3</sup>	20	2013	Gesundheit / Umwelt
Luftschadstoff	Kenngröße	Einheit	(Anzahl zulässiger Überschreitungen pro Jahr)	gültig seit	Schutzziel
<b>Ozon (O<sub>3</sub>)</b>	8-h-Mittel	µg/m <sup>3</sup>	120 (25)	2010	Gesundheit
	AOT40 <sup>3)</sup>	µg/m <sup>3</sup> ·h	18.000	2010	Vegetation <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> aufsummierte Belastung, die über einer Schwelle von 40 ppb liegt.

<sup>2)</sup> in der Zeit von Mai bis Juli.

<sup>3)</sup> Messung an einem emissionsfernen Standort (mehr als 20 km entfernt von Ballungsräumen oder 5 km Bebauung, Industrie oder Bundesfernstraßen).

<sup>4)</sup> in der Zeit vom 01. Oktober eines Jahres bis 31. März des Folgejahres.

Tab. 1: Immissionsgrenz- und Zielwerte nach der 39. BImSchV [1]

Von besonderer Bedeutung sind die in der Verordnung festgelegten Immissionsgrenzwerte, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit nicht überschritten werden dürfen. Darüber hinaus gibt es Immissionsgrenzwerte, die zum Schutz der Vegetation festgelegt wurden, die aber nur in bestimmten Abständen zu möglichen Emittenten gelten. In Hessen werden diese Abstände an keiner Stelle erreicht.

Während die Kenngröße „Jahresmittelwert“ für die Bewertung der Langzeitwirkung steht, wird die Kurzzeitwirkung durch 1- bis 24-Stunden-Mittelwerte mit jeweils höheren Konzentrationsschwellen charakterisiert, die je nach Komponente mit unterschiedlichen Häufigkeiten im Kalenderjahr überschritten werden dürfen (s. [1]). Wird für eine oder mehrere Komponenten der Immissionsgrenzwert überschritten, muss ein Luftreinhalteplan aufgestellt werden.

Für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) sind zwei Immissionsgrenzwerte festgelegt – ein Jahresmittelwert sowie ein Tagesmittelwert, der 35-mal im Jahr zulässigerweise überschritten werden darf. Während die Einhaltung des Jahresmittelwerts kaum Probleme verursacht, bereitet die Einhaltung des Kurzzeitgrenzwertes – höchstens 35 Überschreitungen des Tagesmittelwerts – deutlich häufiger Schwierigkeiten. Auch für Stickstoffdioxid existiert neben dem Jahresmittelwert als Langzeitgrenzwert noch ein Mittelwert über eine volle Stunde als Kurzzeitgrenzwert, der zulässigerweise 18-mal im Jahr überschritten werden darf.

Daneben existieren noch sogenannte Zielwerte, die zwar ebenfalls überwiegend zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt wurden, deren Überschreitung jedoch nicht zur Aufstellung eines Luftreinhalteplans führt.

### Gesundheitliche Wirkung von Stickstoffdioxid

Die Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch hohe Stickstoffdioxidkonzentrationen ist unbestritten. Nachdem der Immissionsgrenzwert für Stickstoffdioxid in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> jahrelang nicht in Frage gestellt wurde, entbrannte mit dem Dieselskandal und drohenden Fahrverboten eine Diskussion darüber, ab welcher Höhe der Belastung tatsächlich Gesundheitsgefahren zu befürchten sind. Immer wieder wird dabei auf die Unterschiede zwischen den Grenzwerten für die Außenluft und denen am Arbeitsplatz verwiesen. Während für die Außenluft ein Immissionsgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> festgelegt ist, gilt für NO<sub>2</sub> eine maximale Arbeitsplatzkonzentration von 950

µg/m<sup>3</sup>. Warum diese beiden Werte nicht miteinander verglichen werden können, erklärt das Umweltbundesamt folgendermaßen:

„Bei der Ableitung von Grenzwerten für Stickstoffdioxid in der Außenluft können nicht die gleichen Maßstäbe angelegt werden wie für Arbeitsplatzgrenzwerte (Ableitung aus der Maximalen Arbeitsplatz-Konzentration, MAK). Der MAK-Wert für NO<sub>2</sub> ist eine wissenschaftliche Empfehlung der ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft und entspricht in seiner Höhe ebenfalls dem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Arbeitsplatzgrenzwerte gelten nur für Arbeitende an Industriearbeitsplätzen und im Handwerk, bei denen aufgrund der Verwendung oder Erzeugung bestimmter Arbeitsstoffe eine erhöhte Stickstoffdioxid-Belastung zu erwarten ist. Stickstoffdioxid entsteht beispielsweise – bzw. wird verwendet – bei Schweißvorgängen, bei der Dynamit- und Nitrozelluloseherstellung oder bei der Benutzung von Dieselmotoren. Der Arbeitsplatzgrenzwert hat unter anderem einen anderen Zeit- und Personenbezug als der Grenzwert für die Außenluft: Der Wert gilt für gesunde Arbeitende an acht Stunden täglich und für maximal 40 Stunden in der Woche. Die Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer, die berufsbedingt Schadstoffen ausgesetzt sind, erhalten zusätzlich eine arbeitsmedizinische Betreuung und befinden sich somit unter einer strengeren Beobachtung als die Allgemeinbevölkerung.“

Während verschiedene Studien, u.a. des Umweltbundesamtes [4], auf erhebliche Gesundheitsgefahren durch Stickstoffdioxid verweisen, zweifelten andere Mediziner, z.B. Herr. Prof. Dr. Dieter Köhler, Lungenfacharzt, diese Bewertung an [5]. Allerdings wurde dieser kleinen Gruppe von Lungenfachärzten bereits durch nationale und internationale Fachgremien widersprochen. Darüber hinaus wurden Fehler in der Berechnung von Herrn Prof. Köhler gefunden.

Den aktuellen Stand der Diskussion in Bezug auf die Wirkung von Stickstoffdioxid auf die menschliche Gesundheit fasst Prof. Dr. Barbara Hoffmann, Umweltepidemiologin an der Universität Düsseldorf, in einem Interview mit dem WDR [6] so zusammen: „Stickstoffdioxid ist ein Reizgas und dringt tief in die Lunge ein. Es kann dort die Schleimhaut reizen und in der Bronchialschleimhaut und in den Lungenbläschen eine Entzündung auslösen. Das kann zu Husten und Luftnot führen und ist problematisch für Kinder, ältere Menschen und für Kranke - wie zum Beispiel Asthmatiker.“

Außerdem steigt durch Stickstoffdioxid das Risiko, dass sich bestehende Lungenkrankheiten verschlimmern. Expositionsstudien haben ergeben, dass NO<sub>2</sub> die Lungenfunktion verschlechtern kann. Für solche Studien wurden Menschen kontrolliert Stickoxid ausgesetzt. Wir wissen daher, dass es einen ursächlichen Zusammenhang gibt. Wir wissen auch, dass es bei den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die häufig in der Umwelt hier herrschen, kurzfristige gesundheitsschädigende Effekte gibt.

Wir wissen noch nicht genau, ab welchem Wert gesundheitliche Wirkungen von Luftschadstoffen nicht mehr nachweisbar sind und wie es mit Langzeitwirkungen von NO<sub>2</sub> bei heutigen Konzentrationen aussieht. Dazu braucht man große Kohorten-Studien mit Menschen, die man über viele Jahre beobachtet. Dann schaut man sich an, welche Krankheiten Menschen entwickeln, die stärker mit NO<sub>2</sub> belastet sind im Vergleich zu Menschen, die weniger belastet sind. Für Feinstaub ist die Datenlage deutlich besser.

Wir können aber auch heute schon relativ sicher sagen, dass auch langfristig NO<sub>2</sub> eine eigene gesundheitsschädigende Wirkung hat: Es gibt Hinweise auf Zusammenhänge mit Atemwegs-, Herz-Kreislauf- und Stoffwechselerkrankungen. Und deutliche Hinweise, dass Diabetes durch NO<sub>2</sub> ausgelöst werden kann.“

Ob die festgelegte Höhe der Immissionsgrenzwerte angemessen ist, wird durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) regelmäßig überprüft. Die letzte Überprüfung fand für die ursprünglich vorgesehene Novelle der Luftqualitätsrichtlinie 2013 statt. Der Zusammenfassung der Ergebnisse der dafür untersuchten Studien findet sich in den WHO-Berichten REVIHAAP (Review of evidence on health aspects of air pollution) [7] und HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) [8].

Derzeit findet wieder eine Überprüfung statt, deren Ergebnisse voraussichtlich im Jahr 2020 vorliegen werden.

Auch die Bundesregierung hat die wissenschaftliche Basis, auf der die europäische Grenzwertfestsetzung für Stickstoffdioxid beruht, von der Nationalen Akademie der Wissenschaften – Leopoldina – überprüfen lassen. In der im April 2019 veröffentlichten Stellungnahme [9] kommt sie zu dem Schluss, dass eine einfache Grenzziehung zwischen gefährlich und ungefährlich in der Umgebungsluft nicht möglich ist. Dabei sieht sie jedoch Feinstaub als den deutlich kritischeren Luftschadstoff an. Zu der Stellungnahme schreibt sie auf ihrer Internetseite:

„Die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina fordert zusätzliche Anstrengungen, um die Konzentration von Schadstoffen in der Luft weiter zu reduzieren. Dabei solle der Schwerpunkt mehr auf Feinstaub als auf Stickstoffoxiden liegen. Von kurzfristigen oder kleinräumigen Maßnahmen, etwa von Fahrverboten, sei keine wesentliche Entlastung zu erwarten. Vielmehr sei eine bundesweite ressortübergreifende Strategie zur Luftreinhaltung erforderlich, heißt es in der heute veröffentlichten Stellungnahme „Saubere Luft – Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen“. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weisen in dem Papier darauf hin, dass beim Verkehr vor allem der Ausstoß von Treibhausgasen problematisch ist. Sie rufen deshalb zu einer nachhaltigen Verkehrswende auf.“

Für die Luftreinhalteplanung ist diese Diskussion jedoch so lange unbeachtlich, wie ein Immissionsgrenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> im deutschen Recht festgelegt ist. Er ist als Maßstab für die Festlegung von Maßnahmen – unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit – heranzuziehen.

# 1 Region

## 1.1 Ballungsraum Kassel

Zur Beurteilung der Luftqualität ist Hessen in zwei Ballungsräume und drei Gebiete eingeteilt.

Der Ballungsraum Kassel ist in der nachfolgenden Abbildung durch die rot schraffierte Fläche kenntlich gemacht.



Abb. 1: Abgrenzung des Ballungsraums Kassel

Der Ballungsraum Kassel ist deutlich kleiner als der Ballungsraum Rhein-Main, erfüllt jedoch mit einer Einwohnerzahl von 306.321 Einwohnern (Stand 30.06.2019; [10]), einer Fläche von ca. 275 km<sup>2</sup> und einer Einwohnerdichte von 1.114 Einwohnern pro km<sup>2</sup> die Voraussetzungen für einen Ballungsraum nach § 1 Nr. 4 der 39. BImSchV. Der Ballungsraum besteht aus 8 Städten und Gemeinden, die in Tab. 2 aufgelistet sind.

	Einwohner	Fläche
Lohfelden	14.191	16,57
Niestetal	11.149	22,15
Vellmar	18.144	13,97

Tab. 2: Kommunen des Ballungsraums Kassel nach Einwohner und Fläche, Stand 30.06.2019; Quelle Stat. Landesamt Hessen

	Einwohner	Fläche
Baunatal	27.814	38,26
Fuldabrück	8.803	17,85
Fulda	12.268	33,68
Kassel	201.440	106,78
Kaufungen	12.512	26,13

Mit Ausnahme der Gemeinden Ahnatal, Calden und Schauenburg entspricht der Ballungsraum Kassel in seinen Abgrenzungen dem Zweckverband Raum Kassel. Der ZRK ist zusammengefasst für die gesamtkommunale Entwicklungs-, Flächennutzungs- und Landschaftsplanung im Verbandsgebiet zuständig.

## 1.2 Messstandorte im Ballungsraum Kassel

Die Luftqualität wird in Kassel bereits seit dem Jahr 1977 gemessen. Damals fanden Messungen vor allem im städtischen Hintergrund statt, um die allgemeine Belastung der Bevölkerung

durch Luftschadstoffe zu ermitteln. Dafür erfolgten diese Messungen i.d.R. an mehreren Hintergrundstationen gleichzeitig. Erst seit dem Jahr 1999 wurden auch die durch den Verkehr geprägte Schadstoffbelastung am Standort Kassel-Fünffensterstraße gemessen. Einen Überblick über die verschiedenen Messstandorte und die jeweiligen Messzeiträume gibt Abb. 2.

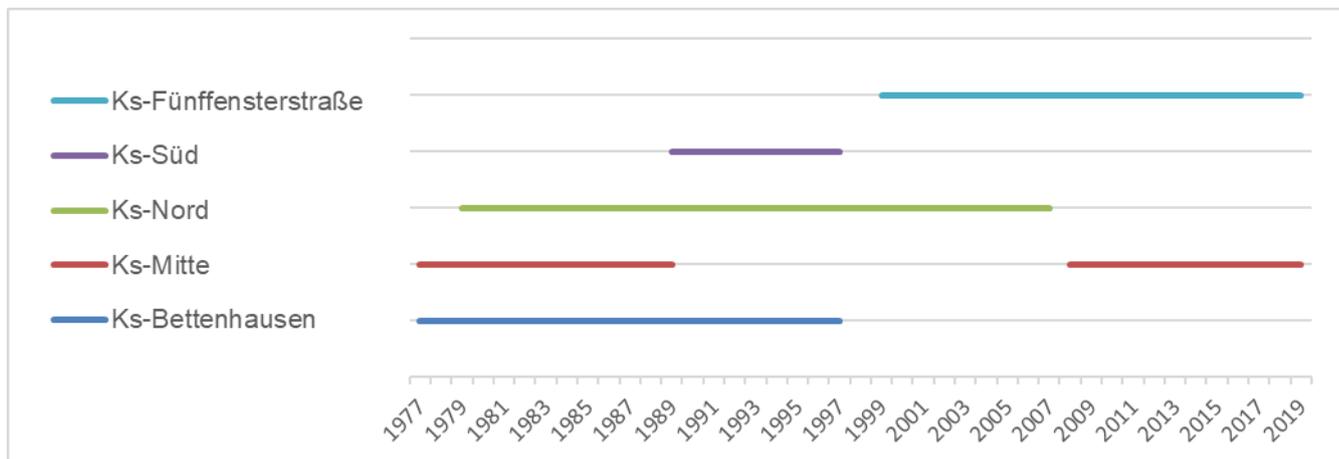


Abb. 2: Messstandorte und -zeiträume in Kassel

In den letzten Jahren erfolgte die Beurteilung der Luftqualität an den Standorten Kassel-Mitte als Bereich, der für die allgemeine Belastung der Bevölkerung repräsentativ ist und Kassel-Fünffensterstraße als verkehrsbezogenem Standort, d.h. für einen Bereich, in dem die höchsten Werte auftreten.

Nach Anlage 3 B. der 39. BImSchV ist der Ort der Probenahmestellen, an denen Messungen zum Schutz der menschlichen Gesundheit vorgenommen werden, so zu wählen, dass folgende Daten gewonnen werden:

- Daten über Bereiche innerhalb von Gebieten und Ballungsräumen, in denen die höchsten Werte auftreten, denen die Bevölkerung wahrscheinlich direkt oder indirekt über einen Zeitraum ausgesetzt sein werden, der im Vergleich zum Mittelungszeitraum der betreffenden Immissionsgrenzwerte signifikant ist;
- Daten zu Werden in anderen Bereichen innerhalb von Gebieten und Ballungsräumen, die für die Exposition der Bevölkerung allgemein repräsentativ sind.



- ▲ verkehrsnahe Luftmessstation Fünffensterstraße,
- Luftmessstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte
- ▲ temporäre Messung mit NO<sub>2</sub>-Passivsammler, verkehrsnah

Abb. 3: Messstandorte in Kassel

Die Messwerte der ortsfesten Luftmessstationen werden stündlich aktualisiert und auf der Homepage des HLNUG veröffentlicht. Die qualitätsgesicherten Ergebnisse des hessischen Luftmessnetzes werden in den Lufthygienischen Monats- und Jahresberichten des HLNUG zusammengefasst und mit ergänzenden Informationen zu Luftschadstoffen veröffentlicht.

## 1.2.1 Luftmessstationen

### 1.2.1.1 Kassel Fünffensterstraße

Die Messstation an der Fünffensterstraße wurde bereits im Jahr 1999 eingerichtet, d.h. noch bevor die 1. Tochterrichtlinie zur Luftqualitätsrahmenrichtlinie [11] im Jahr 1999 die Standortkriterien für Messstationen im heutigen Sinne konkretisierte. Dennoch entspricht der Standort den Kriterien der 39. BImSchV.



© Stadt Kassel

Abb. 4: Verkehrsnahe Luftmessstation Kassel Fünffensterstraße

Die genaue Charakterisierung der Station ist in Tab. 3 dargelegt.

Beschreibung	
Ballungsraum:	Kassel
Standortcharakter:	Straßenschlucht
EU-Code:	DEHE049
Gemeinde:	Kassel
Straße:	Fünffensterstraße
Rechtswert:	3534316
Hochwert:	5686479
Längengrad	9°29'28,04"
Breitengrad	51°18'43,48"
Höhe über NN:	179 m
Lage:	Städtisches Gebiet, Verkehr
Kohlenmonoxid	seit 1999

Beschreibung	
Stickstoffmonoxid	seit 1999
Stickstoffdioxid	seit 1999
Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	seit 2000
Benzol	seit 1999

Tab. 3: Charakterisierung des verkehrsnahen Messstandortes Kassel-Fünffensterstraße

### 1.2.1.2 Luftmessstation Kassel-Mitte

Im Jahr 2008 wurde der Standort Kassel-Mitte wieder in Betrieb genommen, an dem bereits zwischen 1977 und 1989 Messungen vorgenommen wurden.



© Stadt Kassel

Abb. 5: Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte

Beschreibung	
Ballungsraum:	Kassel
Standortcharakter:	städtisches Gebiet, Hintergrund
EU-Code:	DEHE013
Gemeinde:	Kassel
Straße:	Hinter der Komödie
Rechtswert:	3533776
Hochwert:	5686717
Längengrad	9°29'0,24"

Beschreibung	
Breitengrad	51°18'51,29"
Höhe über NN:	181 m
Abstand vom Fahr- bahnrand	20 m
Schwefeldioxid	seit 2008
Stickstoffmonoxid	seit 2008
Stickstoffdioxid	seit 2008
Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	seit 2008
Feinstaub (PM <sub>2,5</sub> )	seit 2008
Ozon	seit 2008
Windrichtung	seit 2008
Windgeschwindig- keit	seit 2008
Temperatur	seit 2008
Relative Feuchte	seit 2008
Luftdruck	seit 2008
Globalstrahlung	seit 2008

Tab. 4: Charakterisierung der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte

### 1.2.1.3 Temporäre Messungen mittels NO<sub>2</sub>-Passivsammler

Zur Klärung der konkreten NO<sub>2</sub>-Belastungssituation wurden

- in der Schönfelder Straße 52 und
- in der Ysenburgstraße 25

temporär verkehrsnaher Messungen vorgenommen. Die Messergebnisse sind in Kapitel 4.1.5 dargestellt.

Nachdem im Jahresmittel an der Schönfelder Straße keine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes festgestellt werden konnte, wurden die Messungen Anfang 2019 wieder eingestellt. Die Messungen an der Ysenburgstraße waren im April 2018 aufgenommen worden und wurden zur Ermittlung eines kompletten Jahresmittelwertes Ende April 2019 ebenfalls wieder eingestellt, nachdem der Messwert deutlich unterhalb des Immissionsgrenzwertes lag.

## 2 Allgemeine Informationen

### 2.1 Art des Gebietes

Ein Ballungsraum ist nach § 1 Nr. 4 der 39. BImSchV [1] ein Gebiet mit mindestens 250.000 Einwohnern, einer Einwohnerdichte von 1.000 Einwohnern und mehr je Quadratkilometer (km<sup>2</sup>) und geht über eine Fläche von mindestens 100 km<sup>2</sup>.

Der Ballungsraum Kassel ist wirtschaftliches, kulturelles und soziales Oberzentrum der Region Nordhessen in der Mitte Deutschlands. Er ist Sitz zahlreicher Verwaltungsbehörden, einer Universität und großer Industriebetriebe. Die Verteilung der Erwerbstätigen am Arbeitsort auf die verschiedenen Wirtschaftsbereiche ist in Tab. 5 aufgelistet.

Beschäftigte nach Wirtschaftsbe- reich	Anteil [%]
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	0,6
Produzierendes Gewerbe ohne Bau	20,3
Baugewerbe	4,2
Handel, Verkehr und Gastgewerbe	23,9
Unternehmensdienstleistungen	16,8
Öffentliche und private Dienstleistun- gen	34,3

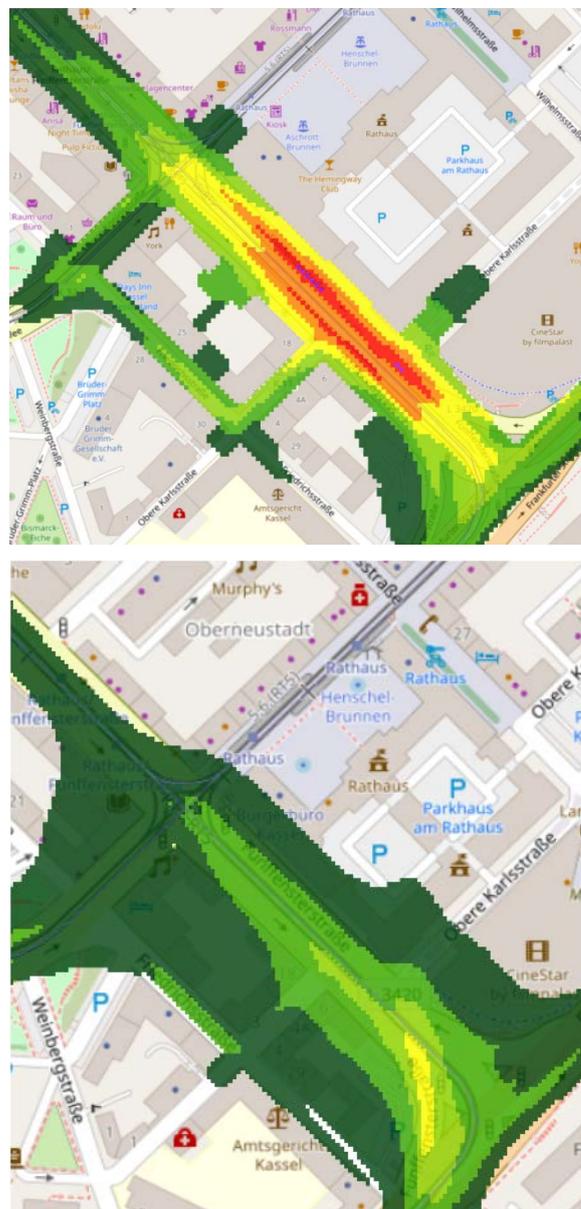
Tab. 5: Erwerbstätige am Arbeitsort in Kassel, Stadt und Land und deren Verteilung auf die verschiedenen Wirtschaftsbereiche; Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt, Stand 2017 [10]

### 2.2 Betroffenes Gebiet

Aufgrund der zwischenzeitlich erzielten Einhaltung des Immissionsgrenzwertes ist der Ballungsraum Kassel nicht mehr von Grenzwertüberschreitungen betroffen. Da der gemessene Jahresmittelwert den Immissionsgrenzwert für NO<sub>2</sub> nur knapp unterschreitet, soll durch weitere Maßnahmen die Grenzwerteinhaltung sichergestellt werden.

Für die Belastungssituation ist die räumliche Verteilung bzw. Ausbreitung der Luftschadstoffe relevant. Während die Belastung mit Feinstaub eher großflächig wirkt, ist sie bei Stickstoffdioxid vergleichsweise räumlich eng begrenzt. Eine große Rolle für die Höhe der Belastung spielt

neben der Quellstärke auch die Durchlüftungssituation vor Ort.



Openstreetmap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), ODbL 1.0

Legende   
 [µg/m<sup>3</sup>] > 10 > 9 > 8 > 7 > 6 > 5 > 4 > 3 > 2 > 1

Abb. 6: Darstellung der durch den lokalen, d.h. straßenbezogenen Fahrzeugverkehr verursachten räumlichen Zusatzbelastung von NO<sub>2</sub> am Beispiel Fünffensterstraße; MIS-KAM-Berechnung [vgl. 4.2.3] mit Bebauung (obere Abbildung) und ohne Bebauung (untere Abbildung)

Während gut durchlüftete Bereiche bei gleicher Quellstärke häufig keine Überschreitungen aufweisen, kommt es bei eingeschränkter Durchlüftung, wie sie in Straßenschluchten der Regelfall

ist, zu einer Anreicherung der Schadstoffe und damit leichter zu Grenzwertüberschreitungen. Dabei werden hohe Schadstoffkonzentrationen direkt an den Häuserfronten gefunden, während die Konzentrationen in den hinter den Häusern liegenden Bereiche deutlich bereits deutlich geringer sind.

Was die obere Darstellung in Abb. 6 auch verdeutlicht ist die Begrenzung der Belastung auf einen vergleichsweise kurzen Straßenabschnitt.

### 2.3 Topographie und Klima

Topographie und Klima spielen für die Luftqualität des Ballungsraums eine wesentliche Rolle.

#### 2.3.1 Topographie des Ballungsraums

Das Kasseler Becken wird aus naturräumlicher Sicht der Westhessischen Senke zugeordnet, einer von Süden nach Norden verlaufenden Folge von Senken und flachen Schwellen. Die Fritzlarer Börde und die Gudensberger Kuppenschwelle im Süden sowie die Hofgeismarer Rotsenke im Norden schließen im Verlauf der Westhessischen Senke an das Kasseler Becken an.

Das Kasseler Becken selbst ist ein weites, im Innern hügelig zerschnittenes Becken zwischen 140 und 300 m über NN zwischen dem Steilabfall des Habichtswaldes im Westen und der sanfteren Abdachung von Kaufunger Wald und Söhre im Osten. Im Norden endet das Kasseler Becken ohne ausgeprägte Grenzen an der Basaltkuppe des Staufenberges und den Ausläufern des Reinhardswaldes, während es im Süden durch die Gudensberger Kuppenschwelle abgegrenzt wird, die zwischen Kaufunger Wald im Westen und Söhre im Osten verläuft.

Die Fulda durchfließt das Kasseler Becken von Süden nach Norden. Die Fuldaauen bilden mit einer Höhe von 135 bis 140 m über NN den Grund des Beckens. Die Durchbrüche der Fulda im Süden und Norden sind für die Belüftung von Kassel durch die Randhöhen des Kasseler Beckens nur von beschränkter Bedeutung, da diese Täler eng und gewunden sind.

Der Ballungsraum Kassel umfasst das gesamte Kasseler Becken bis zu seinen Randhöhen. Die Lage von Kassel in diesem Becken und die daraus resultierende Häufigkeit niedriger Windgeschwindigkeiten und ungünstiger Austauschbedingungen hat zur Folge, dass Fragen des Luft-

austausches und die klimatologischen Verhältnisse für die lufthygienische Situation in Kassel von grundsätzlicher Bedeutung sind.

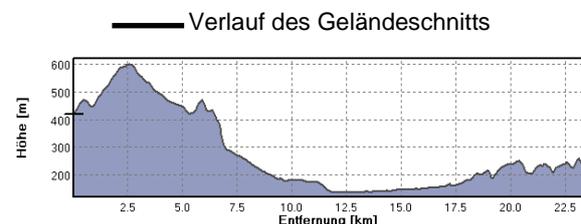


Abb. 7: Geländeschnitt durch den Ballungsraum Kassel

Der Höhenverlauf in Abb. 7 und das Höhenprofil in Abb. 8 versuchen diese ausgeprägte Struktur des Kasseler Beckens anschaulich zu machen. Die Kasseler Innenstadt liegt hierbei auf einer flachen Kuppe, die zur Fuldaaue steil abfällt, etwa in der Mitte des Kasseler Beckens.



Abb. 8: Höhenprofil des Kasseler Beckens mit dem Verlauf der Autobahnen

#### 2.3.2 Klima des Ballungsraums

Die Stadt Kassel und ihre Umgebung gehören zur warmgemäßigten Klimazone. Die Kessellage von Kassel und der Großstadtcharakter führen zu einem typischen Lokalklima, das je nach Wetterlage mehr oder weniger zur Geltung kommt.

Durch die Kessellage ist in Kassel der Luftaustausch im Vergleich zu Standorten außerhalb des Kasseler Beckens oft schlechter. Deshalb kommt es häufiger zu Austauschverhältnissen, die zu einer Anreicherung der Schadstoffe führen, wenn diese Wettersituation länger als 24 Stunden anhält.

Städte weisen im Allgemeinen höhere Temperaturen als ihre Umgebung auf. Ursache ist neben der Wärmeabgabe der Gebäude die durch die Luftverschmutzung entstehende Dunstglocke über dem Stadtgebiet, die die langwellige Ausstrahlung herabsetzt. Je ausgeprägter diese innerstädtische Wärmeinsel sich ausbildet, desto mehr ist die Durchlüftung dieses Stadtquartiers eingeschränkt.

Abb. 9 zeigt die Windrichtungsverteilung wie sie an der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte im Zeitraum 01. Januar 2016 bis 31. Dezember 2018 gemessen wurde.

Die kritische Windgeschwindigkeit von 1,5 m/s wurde in 39% des Zeitraums unterschritten. in gut

23% der Zeit lag sie sogar unterhalb von 1,0 m/s, was zu einer schnellen Anreicherung von Schadstoffen führt.

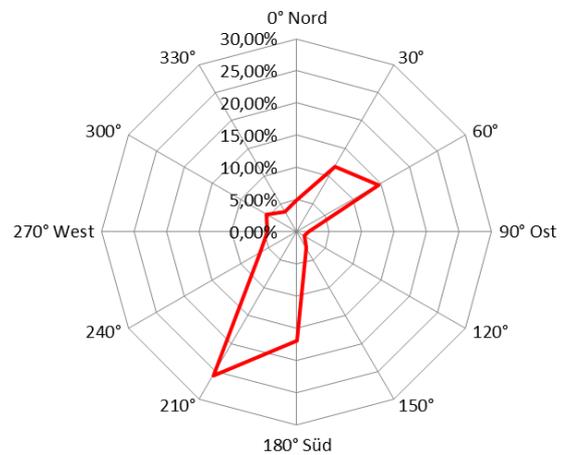


Abb. 9: Windverteilung an der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte im Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2018

### 3 Zuständige Behörden

In Hessen ist das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) zuständige Behörde für die Aufstellung und Fortschreibung von Luftreinhalteplänen (§ 2 ImSchZuV [12]).

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
Mainzer Straße 80  
65189 Wiesbaden

Grundlage der Luftreinhalteplanung ist die regelmäßige Untersuchung der Luftqualität, über die auch die Öffentlichkeit zu unterrichten ist. Diese Aufgaben liegen in der Zuständigkeit des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (§ 3 ImSchZuV).

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt  
und Geologie  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

Für Maßnahmen im Straßenverkehr ist das Einvernehmen mit den zuständigen Straßenbau- und Straßenverkehrsbehörden erforderlich (§ 47 Abs. 4 BImSchG). Das Einvernehmen wird durch die oberste Straßenbau- und Straßenverkehrsbehörde, das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung erteilt.

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Landesentwicklung  
Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden

Die Maßnahmen in Luftreinhalteplänen sind durch Anordnung oder sonstige Entscheidung der zuständigen Träger öffentlicher Verwaltung durchzusetzen (§ 47 Abs. 6 BImSchG). In erster Linie sind das die Behörden der jeweils betroffenen Kommunen.

Magistrat der Stadt Kassel  
Rathaus / Obere Königsstraße 8  
34117 Kassel

Stadt Baunatal  
Marktplatz 14  
34225 Baunatal

Gemeinde Fuldabrück  
Glockenhofsweg 3  
34277 Fuldabrück

Gemeinde Fuldata  
Am Rathaus 9  
34233 Fuldata

Gemeinde Kaufungen  
Leipziger Straße 463  
34260 Kaufungen

Gemeinde Lohfelden  
Lange Straße 20  
34253 Lohfelden

Gemeinde Niestetal  
Heiligenröder Str. 70  
34266 Niestetal

Stadt Vellmar  
Rathausplatz 1  
34246 Vellmar

## 4 Art und Beurteilung der Verschmutzung

Zur Überwachung der Luftqualität in Hessen führt das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) regelmäßig Messungen der verschiedenen Luftschadstoffe durch, für die in der 39. BImSchV Ziel- oder Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt wurden. Die Verordnung macht dabei konkrete Vorgaben, ab welchen Schadstoffkonzentrationen ortsfeste Messungen vorzunehmen sind sowie zu deren Anzahl, Standorten und Methode der Probenahme.

Da nicht an allen Standorten gemessen werden kann, werden darüber hinaus Modellrechnungen zur Ermittlung der Belastungssituation im Stadtgebiet vorgenommen.

### 4.1 Entwicklung der Messwerte

#### 4.1.1 Feinstaubbelastung (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>)

Hohe Feinstaubkonzentrationen (PM<sub>10</sub>) stellten eine Zeit lang das gravierendste Gesundheitsproblem durch Luftschadstoffe dar.

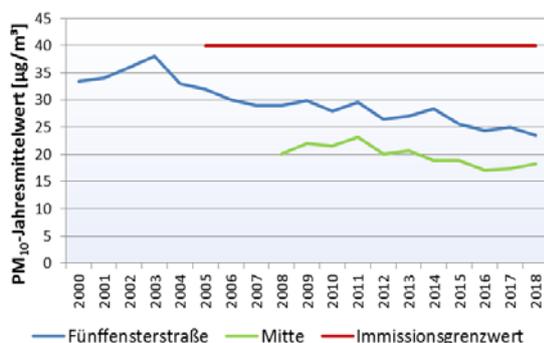


Abb. 10: Entwicklung der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte Kassel

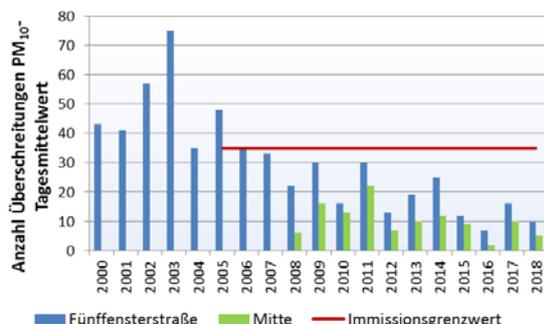


Abb. 11: Entwicklung der Anzahl an Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwertes

Die Immissionsgrenzwerte sowohl für das Jahresmittel als auch für die zulässige Anzahl an Überschreitungen des Tagesmittelwertes gelten seit dem Jahr 2005. 2005 war auch das letzte Jahr, in dem der Kurzzeitgrenzwert in Kassel überschritten wurde.

Seit 2008 erfolgen an ausgewählten Stationen des städtischen Hintergrunds und seit 2010 auch verkehrsnah Messungen der kleineren Feinstaubfraktion PM<sub>2,5</sub>. In Kassel wird PM<sub>2,5</sub> nur im städtischen Hintergrund gemessen. Der dafür seit 2015 geltende Immissionsgrenzwert in Höhe von 25 µg/m<sup>3</sup> wurde in Kassel und auch an keiner anderen Stelle in Hessen jemals seit Aufnahme der Messungen überschritten.

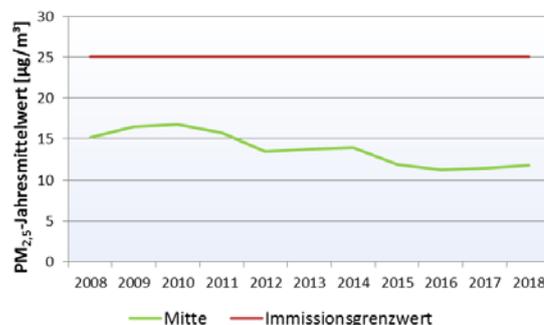


Abb. 12: Entwicklung der PM<sub>2,5</sub>-Belastung in Kassel

#### 4.1.2 Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Benzol

Schwefeldioxid gehörte in den 80er Jahren zu den Hauptverursachern der berüchtigten Wintersmogepisoden. Durch den Einbau von Entschwefelungsanlagen insbesondere bei den Industriebetrieben konnte die Immissionsbelastung soweit reduziert werden, dass nicht nur der Grenzwert seit langem sicher eingehalten, sondern bereits so weit unterschritten wird, dass sich Messungen vieler Orts inzwischen erübrigen. Die zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegten Immissionsgrenzwerte für Schwefeldioxid betragen 350 µg/m<sup>3</sup> pro Stunde bei 24 zulässigen Überschreitungen pro Jahr bzw. 125 µg/m<sup>3</sup> pro Tag bei zulässigen drei Überschreitungen pro Jahr. Schwefeldioxid wurde nur an den Messstationen im ländlichen Raum sowie im städtischen Hintergrund gemessen. Wie sich die Schwefeldioxidbelastung an der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte entwickelt hat, zeigt Abb. 13.

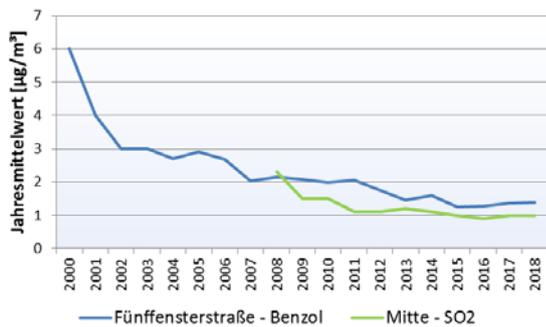


Abb. 13: Entwicklung der Schwefeldioxid-(SO<sub>2</sub>) und Benzolbelastung in Kassel

Während Schwefeldioxid nur an Hintergrundmessstationen gemessen wird, erfolgt die Messung von Benzol praktisch ausschließlich verkehrsnah. Benzol wurde bis Ende der 90er Jahre dem Kraftstoff zur Erhöhung der Klopfbarkeit zugesetzt und mit den Abgasen emittiert. Aufgrund seiner krebserregenden Eigenschaften wurde ab dem Jahr 2000 die Konzentration von Benzol im Kraftstoff begrenzt.

#### 4.1.3 Ozon

Die Konzentration von bodennahem Ozon wird im Wesentlichen durch die Intensität der Sonneneinstrahlung bedingt. Im Gegensatz zu stratosphärischem Ozon, das in großen Höhen ein Schutzschild gegen UV-Strahlung bildet, beeinträchtigt bodennahes Ozon die physische Leistungsfähigkeit und kann zu Atemwegsproblemen führen. Für Ozon existieren bisher lediglich Zielwerte.



Abb. 14: Entwicklung der Ozonbelastung in Kassel

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit vor Ozon beträgt 120 µg/m<sup>3</sup> als höchster Achtstundenmittelwert bei zulässigen 25 Überschreitungen pro Jahr. Da Ozon durch Stickoxide aus dem Verkehr teilweise zerstört wird, wird Ozon nicht verkehrsnah gemessen. Hohe Ozonkonzentrationen findet man aus diesem Grund am ehesten in ländlichen Regionen.

#### 4.1.4 Stickoxide (NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>)

Stickoxide, d.h. Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) entstehen im Wesentlichen bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Direkt nach der Verbrennungseinrichtung werden die Stickoxide überwiegend in Form von NO emittiert und nur in geringem Anteil direkt in Form von NO<sub>2</sub>. Das NO wird an der Luft relativ schnell zu NO<sub>2</sub> oxidiert, weshalb vor allem an emissionsfernen Standorten, wie den Luftmessstationen des ländlichen Raums, fast nur noch NO<sub>2</sub> gemessen wird.

Um die Gesamtemissionen der Stickoxide besser einschätzen zu können, wird die gemessene Konzentration des Stickstoffmonoxids so umgerechnet, als wenn es sich bereits zu Stickstoffdioxid umgewandelt hätte. Zusammen mit der gemessenen Konzentration von Stickstoffdioxid erhält man eine Gesamtstickoxidkonzentration (NO<sub>x</sub>). Diese Gesamtstickstoffoxidkonzentration ist auch deshalb von Bedeutung, weil z.B. Emissionsgrenzwerte bei Fahrzeugen und Industrieanlagen ausschließlich auf NO<sub>x</sub> bezogen sind.

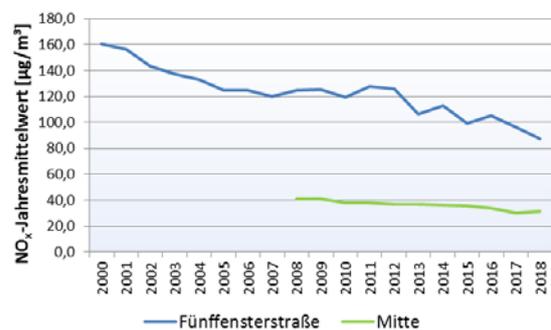


Abb. 15: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Konzentration in Kassel

Die Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Konzentration ist erfreulich, zeigt sie doch, dass emissionsmindernde Maßnahmen greifen.

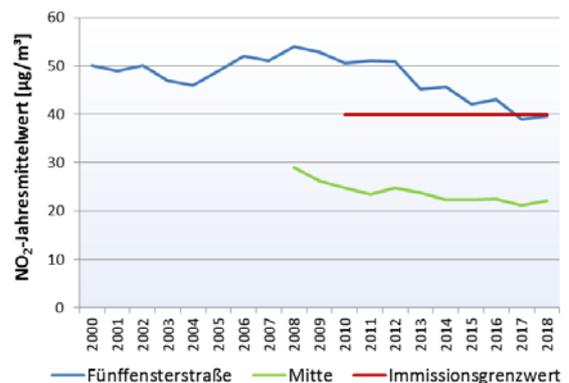


Abb. 16: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in Kassel

Nicht im gleichen Maß wie die Gesamtheit der Stickoxide (NO<sub>x</sub>), aber doch zur Grenzwerteinhaltung gerade ausreichend, konnte die Stickstoffdioxidbelastung in Kassel verringert werden.

Der Kurzzeitgrenzwert für NO<sub>2</sub> in Höhe von 200 µg/m<sup>3</sup> als Stundenmittelwert, der zulässigerweise bis zu 18 Mal im Jahr überschritten wer-

den darf, wurde in Kassel bisher immer eingehalten.

#### 4.1.5 Die Belastungssituation 2018

In Tab. 6 werden die Messwerte für das Jahr 2018 dargestellt.

Komponente	PM <sub>2,5</sub>		PM <sub>10</sub>		NO <sub>2</sub>		SO <sub>2</sub>			C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
	JM	24-h	JM	1-h	JM	1-h	24-h	JM	JM	
Grenzwert	25	50	40	200	40	350	125	20	5	
zulässige Überschreitungen / a		35		18		24	3			
Einheit	µg/m <sup>3</sup>	Anz.	µg/m <sup>3</sup>	Anz.	µg/m <sup>3</sup>	Anz.	Anz.	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	
Fünffensterstraße	-	10	23,5	0	39,6	-	-	-	1,38	
Mitte		5	18,2	0	22,1	0	0	1,0	-	
Schönfelder Straße 52*	-	-	-	-	37,7	-	-	-	-	
Ysenburgstraße 25*	-	-	-	-	35,9 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	

\* Messung mittels NO<sub>2</sub>-Passivsammler

<sup>1)</sup> Mittelwert April-Dezember 2018

Tab. 6: Messergebnisse des Jahres 2018

Die orientierenden Messungen an den Standorten Schönfelder Straße und Ysenburgstraße belegen die Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Immissionsgrenzwertes auch an anderen, verkehrlich hoch belasteten Standorten. Da die Messungen an der Ysenburgstraße noch kein volles Jahr umfassen, werden sie noch weitergeführt.

tionen registriert. Die dort gemessene Luftschadstoffbelastung (Gesamtbelastung) setzt sich aus verschiedenen Beiträgen zusammen, die nicht separat gemessen werden können. Wie sich diese Gesamtbelastung zusammensetzt wird in Kap. 6.1 dargestellt.

#### 4.2 Beurteilung der Luftqualität mittels Modellrechnungen

Die Luftqualität eines Gebiets oder Ballungsraums kann entweder durch ortsfeste Messungen, Modellrechnungen oder eine Kombination aus beiden erfolgen. Die Entwicklung der Schadstoffbelastung nach den Messergebnissen wurde in Kap. 4.1 dargestellt.

Da nicht überall Messungen erfolgen können, werden für die Beurteilung auch anderer Bereiche des Ballungsraums zusätzlich Modellrechnungen vorgenommen.

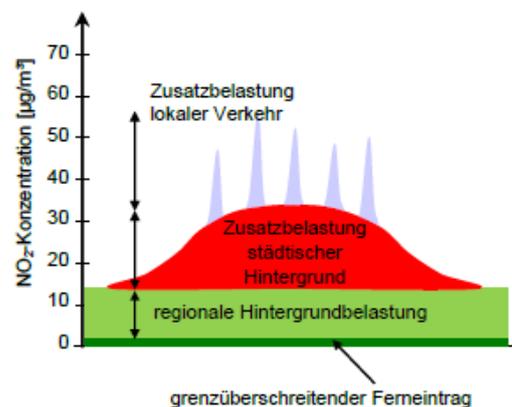


Abb. 17: Zusammensetzung der Einzelbeiträge zur Schadstoffbelastung

Die Gesamtbelastung in einem Straßenzug setzt sich zusammen aus:

- Dem grenzüberschreitenden Ferneintrag, d.h. der Luftschadstoffkonzentration, die durch Emissionen außerhalb von Hessen

#### 4.2.1 Beiträge zur Gesamtbelastung

Die höchsten Immissionskonzentrationen werden regelmäßig an den verkehrsbezogenen Messsta-

verursacht wurde und mit der freien Luftströmung eingetragen wird.

- Der regionalen Hintergrundbelastung, d.h. der Luftschadstoffkonzentration wie sie abseits größerer Emissionsquellen wie Industrieanlagen, Städten oder Straßen gemessen wird. Hier kommen vermehrt auch andere Schadstoffquellen wie Emissionen aus der Landwirtschaft oder aus natürlichen Quellen zum Tragen. Die regionale Hintergrundbelastung wird zusammen mit dem Ferneintrag an den Messstationen im ländlichen Raum gemessen.
- Der Zusatzbelastung städtischer Hintergrund, d.h. der Luftschadstoffkonzentration, die durch die Emissionen aus Industrieanlagen, Gewerbebetrieben, Verkehr und Gebäudeheizung innerhalb einer Kommune verursacht wird. Die gesamte städtische Hintergrundbelastung wird zusammen mit der regionalen Hintergrundbelastung an den Messstationen des städtischen Hintergrunds gemessen.
- Der Zusatzbelastung aus dem lokalen Verkehr, d.h. der Luftschadstoffkonzentration, die durch den lokalen Verkehr in einer Straße verursacht wird. Zusammen mit der städtischen Hintergrundbelastung addiert sich die verkehrsbedingte Zusatzbelastung zur Gesamtbelastung. Diese wird an den verkehrsbezogenen Messstationen registriert.

### 4.2.2 Modellrechnungen zur Ermittlung der Verursacheranteile

Zur Ermittlung der Verursacheranteile wurden Ausbreitungsrechnungen [13] beauftragt. Mit Hilfe solcher Modellberechnungen kann eine Aussage z.B. über den Ferneintrag von Luftschadstoffen mit der in den Ballungsraum einströmenden Luft als auch über die Immissionsanteile aus der Industrie, den Gebäudeheizungen und dem Kfz-Verkehr getroffen werden. Die Modellrechnungen wurden dabei für Hauptbelastungspunkte in den Städten durchgeführt.

Die rechnerische Bestimmung der Beiträge von bestimmten Emittentengruppen erfordert die Anwendung eines chemischen Transportmodells, da Stickstoffdioxid überwiegend über chemische Prozesse gebildet wird. Zur Anwendung kam das chemische Transportmodell REM-CALGRID (RCG), das an der FU Berlin entwickelt wurde. Das RCG-Modell berechnet die Konzentration von Schadstoffen an einem Ort in Abhängigkeit

von der Emission, von physikalischen und chemischen Prozessen während des Transportvorgangs in der Atmosphäre sowie von meteorologischen und topographischen Einflüssen.

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen sind für die Stadt Kassel im Kap. 6.1 dargestellt.

### 4.2.3 Berechnung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung durch Modellrechnung

Da nur an einzelnen Stellen im Ballungsraum Kassel die Schadstoffbelastung konkret durch Messungen ermittelt wird, erfolgt die Beurteilung der Luftqualität im übrigen Ballungsraum anhand von Modellrechnungen.

Erfahrungsgemäß treten Grenzwertüberschreitungen dort auf, wo ein hohes Verkehrsaufkommen mit einer ungünstigen Bebauungssituation zusammentrifft. In diesen Straßenschluchten können sich durch die eingeschränkte Durchlüftung die von den Fahrzeugen emittierten Abgase schnell anreichern.

Zur Ermittlung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung wurden zunächst alle Hauptverkehrsstraßen im Ballungsraum Kassel untersucht, die ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen von mehr als 8.000 Fahrzeugen aufweisen.

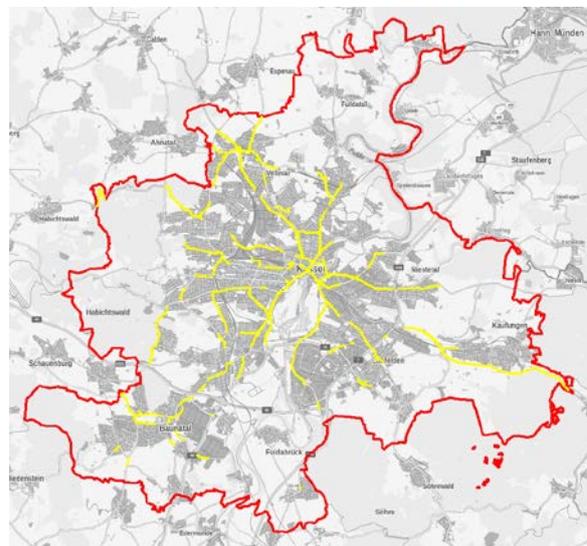


Abb. 18: Hauptverkehrsstraßennetz (gelbe Markierung) ohne Autobahnen im Ballungsraum Kassel (rote Umrandung)

Danach wurde anhand der Bebauungssituation untersucht, wo Straßenschluchteffekte zum Tragen kommen könnten.

Als Berechnungsmodelle kamen die Programme IMMIS<sup>em/luft</sup> [14] sowie ODEN [15][15] zum Einsatz. IMMIS<sup>em/luft</sup> berechnet die durch Kraftfahrzeuge erzeugten Emissionen und modelliert die Ausbreitung der Immissionen von Luftschadstoffen im Straßenraum. Es beruht auf dem CPB-Modell [16] für Straßenschluchten und einem Box-Modell für offene Bebauungen. Als Modell-Input werden eine 10 Jahres-Klimatologie des Deutschen Wetterdienstes sowie straßenspezifische Daten zur Verkehrszusammensetzung und -stärke verwendet.

ODEN (On Demand Environmental Analysis) ist eine webbasierte Softwareplattform für Umweltanalysen mittels Simulationsrechnungen im Bereich der Schall- oder Luftschadstoffausbreitung sowie der Solareinstrahlung.

Eingebunden in ODEN, kommt für die Ausbreitungsrechnungen zudem MISKAM (Mikroskaliges Klima- und Ausbreitungsmodell) [17] zum Einsatz. Dieses dreidimensionale, nicht-hydrostatische Strömungs- und Ausbreitungsmodell

ermöglicht die kleinräumige Prognose von Windverteilung und Konzentrationen in der Umgebung von Einzelgebäuden sowie in Straßen bis hin zu Stadtteilen.

Mit ihrer Hilfe kann die verkehrsbedingte Zusatzbelastung in einer Straße anhand der Faktoren Verkehrsmenge, Anteile der Fahrzeugtypen (Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Busse), Qualität des Verkehrsflusses, Höhe der Abgasemissionen der verschiedenen Fahrzeugtypen unter den verschiedenen Bedingungen, Steigungen, Bebauungssituation (Höhe und Porosität der Bebauung, Breite der Straßen) sowie Lage der Straße zur Hauptwindrichtung berechnet werden. Zusammen mit der städtischen Vorbelastung, die sich aus den Messungen der Messstation des städtischen Hintergrunds ergeben, kann dann die Gesamtbelastung in einem Straßenzug ermittelt werden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Kap. 6.2 dargestellt.

## 5 Ursprung der Verschmutzung

### 5.1 Liste der wichtigsten Emissionsquellen

Luftschadstoffe sind sowohl anthropogenen (vom Menschen geschaffen) als auch biogenen (von Lebewesen geschaffen) oder geogenen (von der Erde geschaffen) Ursprungs. Dies trifft insbesondere für Feinstaub zu, der in manchen Teilen Europas in nicht unerheblichem Maß aus Quellen (z.B. Meersalzaerosole) stammt, die nicht mit Maßnahmen zu beeinflussen sind. Im Gegensatz dazu gehören Stickstoffdioxid oder die Stickoxide insgesamt zu den ganz überwiegend anthropogen verursachten Luftschadstoffen. Es existieren zwar auch hierfür natürliche Quellen wie z.B. Waldbrände, Vulkanausbrüche, mikrobiologische Reaktionen in Böden oder ähnliches mehr, sie sind jedoch nur in sehr untergeordnetem Maß für die hohen Stickstoffdioxidkonzentrationen in unseren Städten verantwortlich.

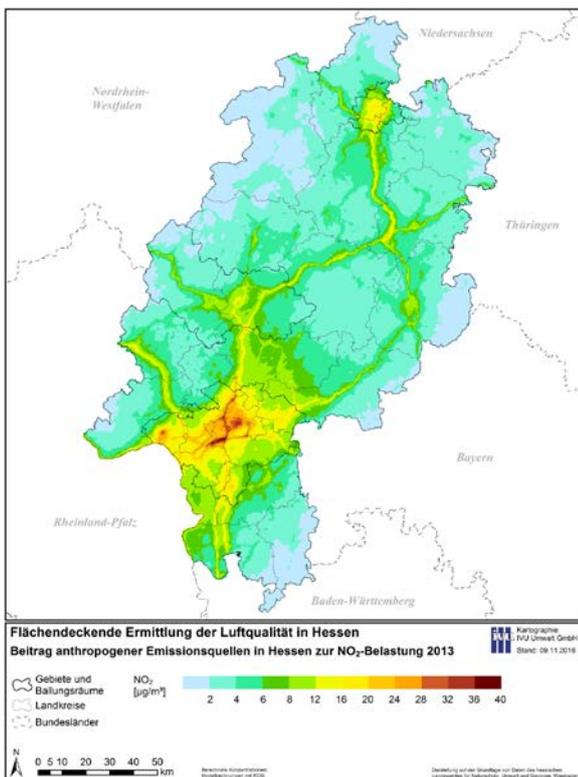


Abb. 19: Darstellung der anthropogen verursachten NO<sub>2</sub>-Belastung in Hessen [13]

Stickoxide entstehen in erster Linie bei Verbrennungsvorgängen. Wesentliche Emissionsverursacher sind der Verkehr, Industrieanlagen – hier vor allem Kraftwerke – sowie die Gebäudeheizung. Einen Überblick über die Entwicklung der wesentlichen Emittenten gibt das hessische

Emissionskataster. Es wird für das Bundesland Hessen vom HLNUG geführt [18].

Von den sechs Emittentengruppen

- biogene und nicht gefasste Quellen,
- Gebäudeheizung,
- Industrie,
- Verkehr (Kfz-, Schienen- und Schiffsverkehr sowie Flugverkehr bis 300 m über Grund),
- Kleingewerbe und
- privater Verbrauch und Handwerk

haben der Kfz-Verkehr, die Industrie und die Gebäudeheizung im Hinblick auf die Einhaltung der Grenzwerte der 39. BImSchV die größte Relevanz für die Luftreinhalteplanung.

Die Schadstoffemissionen von Industrieanlagen sind nach Vorgabe der Verordnung über Emissionserklärungen – 11. BImSchV [19] – alle vier Jahre mitzuteilen. Nach der 5. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz [20] ist das Emissionskataster für die Gebäudeheizung und den Verkehr in der Regel alle sechs Jahre fortzuschreiben. Die aktuellen Erhebungen stammen in Bezug auf die Gebäudeheizung und die Industrie jeweils aus dem Jahr 2012.

Die Verkehrsemissionen entstammen der regelmäßig alle fünf Jahre bundesweit durchgeführten Verkehrszählung, die zusammen mit den Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) die Gesamtverkehrsemissionen ergeben. Da die offiziellen Verkehrszählungen für das hessische Emissionskataster „Kfz-Verkehre“ nur Verkehrsdaten auf Bundesautobahnen, Bundesstraßen und Landstraßen außerhalb von geschlossenen Ortschaften umfassen, wurden zur Beurteilung der Immissionen auch weitere aktuelle innerstädtische Zählungen der Stadt Kassel berücksichtigt.

### 5.2 Industrieemissionen

Das Emissionskataster Industrie erfasst die Emissionen der im Anhang der 4. BImSchV [21] genannten genehmigungsbedürftigen Anlagen. Die seitens der Industrie berichteten Emissionen bilden die Grundlage des Industrie-Emissionskatasters.

Im Ballungsraum Kassel wurden mit Stand 2016 33 genehmigungsbedürftige Anlagen betrieben, die der Emissionserklärungspflicht unterliegen.

Hauptgruppe	Beschreibung	Anzahl	NO <sub>x</sub> -Emissionen [t/a]
1	Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie	15	364,3
2	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe	5	8,9
3	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung	4	104,6
4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung	0	0
5	Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnenförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen	5	14,3
6	Holz, Zellstoff	0	0
7	Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse	2	0
8	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen	2	83,7
9	Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen	0	0
10	Sonstige Anlagen	0	0
<b>Summe</b>		<b>33</b>	<b>575,8</b>

Tab. 7: Unterteilung der Industrieemissionen im BR Kassel nach Hauptgruppen der 4. BImSchV (Bezugsjahr 2016)

Die zeitliche Entwicklung von Anzahl und Emissionen der Industrieanlagen zeigt Abb. 20.

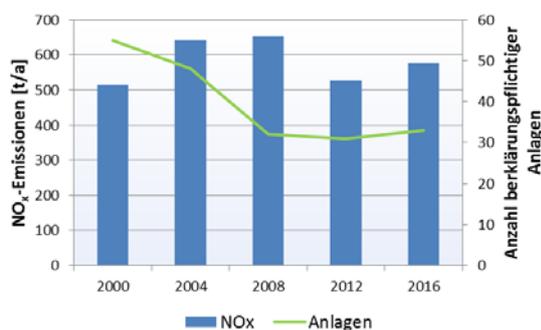


Abb. 20: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen erklärungs-pflichtiger Industrieanlagen im Ballungsraum Kassel

Eine Begrenzung der Emissionen von Industrieanlagen durch Maßnahmen in einem Luftreinhalteplan ist nicht möglich. Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft [22]) enthält Emissionsgrenzwerte für genehmigungsbedürftige Anlagen, die dem Stand der Technik entsprechen. Diese Emissionsgrenzwerte bieten nicht nur Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen,

sondern dienen darüber hinaus der Vorsorge vor schädlichen Umwelteinwirkungen.

Aufgrund des geringen Anteils der Industrieanlagen an der Gesamtbelastung (siehe [13]), wäre selbst bei einer Verschärfung der Emissionsgrenzwerte keine messbare Verbesserung der Luftqualität zu erwarten.

### 5.3 Gebäudeheizungsemissionen

Das Emissionskataster Gebäudeheizung enthält die Daten der nicht genehmigungsbedürftigen kleinen und mittleren Feuerungsanlagen, deren Emissionen in der Verordnung für kleine und mittlere Feuerungsanlagen [23] bundesweit geregelt sind.

Im Emissionskataster werden alle Feuerungsanlagen für die Beheizung von Wohneinheiten und für die Warmwasserbereitung sowie Feuerungsanlagen zur Erzeugung von Heiz- und Prozesswärme sonstiger Kleinverbraucher in Gewerbe, Industrie und öffentlichen Einrichtungen zusammengefasst, die nicht genehmigungspflichtig nach dem BImSchG sind. Die Anforderungen an die Emissionen dieser Anlagen liegen deutlich niedriger im Vergleich zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen. Die Emittentengruppe Gebäudeheizung setzt sich aus den Bereichen „private Haushalte“ und „sonstige Kleinverbraucher“ zusammen.

Immissionsseitig ist zu beachten, dass die Emissionen aus dem Bereich Gebäudeheizung hauptsächlich in der kalten Jahreszeit freigesetzt werden. Die Freisetzung der Emissionen erfolgt über die Schornsteine auf den Dächern und damit i.d.R. oberhalb der Straßenschluchten. Die vorgegebene Schornsteinhöhe von Wohngebäuden soll eine weitgehend freie Abströmung der Abgase gewährleisten. Allerdings sind die vorhandenen Schornsteine an Wohnhäusern teilweise nicht hoch genug, um eine ungestörte Abströmung mit der freien Luftströmung zu gewährleisten.

Da die Anforderungen an die Gebäudeheizung abschließend in der 1. BImSchV geregelt sind, können Anforderungen an die Emissionsbegrenzung dieser Anlagen nicht über Maßnahmen in einem Luftreinhalteplan verringert werden.

Für die Emissionen wesentlich sind sowohl der eingesetzte Brennstoff wie auch die Qualität der Verbrennung (Verbrennungstechnik). In Tab. 8 sind für einige Energieträger die Emissionsfakto-

ren von NO<sub>x</sub> aufgelistet, d.h. die Menge an Emissionen die pro Megawattstunde aus der Verbrennung des Brennstoffs resultiert.

Energieträger	Heizwert [kWh/kg]	NO <sub>x</sub> <sup>1)</sup> [g/MWh]
Heizöl EL	11,9	155
Erdgas	13,6	86
Flüssiggas	12,8	130
Holz, natur luftgetrocknet	4,2	266
Holz, Pellets	4,9	410
Stroh	4,3	198
Braunkohlebrikett Lausitz	5,3	320
Braunkohlebrikett Rheinland	5,5	306
Koks (Steinkohle)	8,0	148
Anthrazit (Steinkohle)	8,9	227

<sup>1)</sup> Summe aus NO und NO<sub>2</sub>, angegeben als NO<sub>2</sub>

Tab. 8: Beispiele für Emissionsfaktoren der Emissionengruppe Gebäudeheizung

## 5.4 Verkehrsemissionen

Zur Ermittlung der Verkehrsemissionen bedarf es zunächst konkreter Verkehrszahlen. D.h. es müssen durch Verkehrszählungen die Verkehrsmenge sowie die Anteile der verschiedenen Fahrzeugtypen (Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Busse) erhoben werden. Da nicht nur die verschiedenen Emissionsklassen (Euronormen) der Fahrzeuge unterschiedlich hohe NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachen, sondern auch die verschiedenen Motortypen (Diesel, Benzin, Gas, Elektro etc.), werden die im Zulassungsbezirk zugelassenen Fahrzeuge entsprechend ihrem Anteil nach Emissionsklasse und Motortyp in erster Näherung zur Berechnung der Schadstoffbelastung herangezogen. Darüber hinaus sind die durchschnittlichen Emissionen der Fahrzeuge von Bedeutung sowie die Topographie der gefahrenen Strecken und der Verkehrsfluss.

### 5.4.1 Verkehrszählungen als Grundlage der Emissionsermittlung

Entsprechend den Emissionskatastern für die Industrie und die Gebäudeheizung, führt Hessen

auch ein Verkehrskataster, das die Schadstoffemissionen des Verkehrs nach Kommune auflistet.

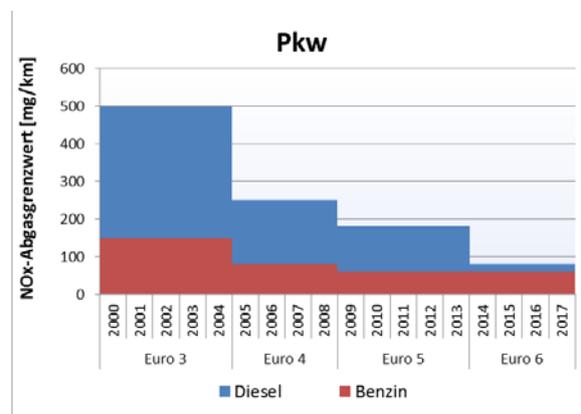
Grundlage des Katasters sind die alle fünf Jahre erfolgenden bundesweiten Verkehrszählungen, die die Verkehrsbehörden auf den Autobahnen, Bundes-, Landes- und Kreisstraßen durchführen. Diese Verkehrsmengen werden in so genannten Verkehrsmengenkarten dargestellt, die auf der Internetseite von Hessen Mobil abgerufen werden können [24].

Die bundesweiten Verkehrszählungen erfolgen nur alle fünf Jahre und i.d.R. außerhalb von Kommunen. Um die Verkehrsmengen auf den innerstädtischen Straßen zu erhalten, wird auf das Verkehrsmodell der Stadt Wiesbaden und ergänzende Verkehrszählungen zurückgegriffen. Straßen, deren tägliche Verkehrsmenge deutlich unterhalb von 10.000 Fahrzeugen liegt, bleiben dabei unberücksichtigt. Erfahrungsgemäß kommt es trotz ungünstiger Bebauungssituationen an diesen Stellen nicht zu Grenzwertüberschreitungen.

### 5.4.2 Abgasgrenzwerte und Realemissionen von Fahrzeugen

Bei der Zulassung neuer Motoren müssen die Vorgaben der entsprechenden EU-Verordnungen eingehalten werden. Dazu gehören auch die festgelegten Emissionsgrenzwerte für die verschiedenen Fahrzeugtypen.

Wie Abb. 21 zeigt, wurden die Abgasgrenzwerte zur Verbesserung der Luftqualität immer weiter verschärft. Für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge gab es erst ab der Euro-3-Norm einen eigenen NO<sub>x</sub>-Abgasgrenzwert. Davor war ein Abgasgrenzwert für die Summe aus Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden (HC + NO<sub>x</sub>) festgelegt.



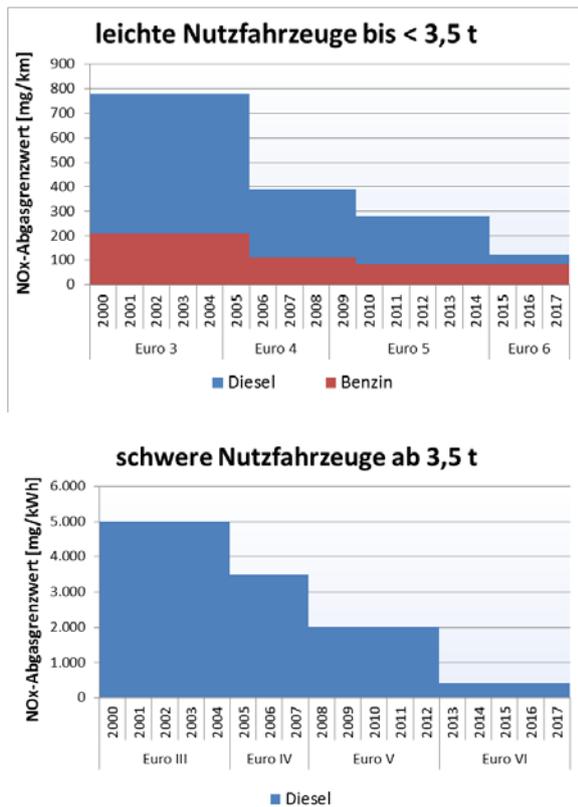


Abb. 21: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Abgasgrenzwerte für Straßenfahrzeuge (Euronormen)

Der zum Nachweis der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte erforderliche Prüfstandstest war für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge bis Ende August 2017 der new european driving cycle (NEDC). Obwohl seit vielen Jahren offiziell bekannt war, dass dieser Prüfstandstest vom realen Fahrverhalten eines Fahrzeugs deutlich abweicht und darüber hinaus zulässigerweise noch eine Reihe von Modifikationen am Fahrzeug vorgenommen werden durfte (Leichtlaufreifen, besondere Leichtlauföle, Abklebungen von Öffnungen zur Verminderung des Luftwiderstands, keine Nachladung der Fahrzeugbatterie während des Tests etc.), wurde dieser Typprüfzyklus noch lange bei der Zulassung neuer Modelle eingesetzt. Der ungeeignete Typprüfzyklus führte dazu, dass das Emissionsverhalten der Fahrzeuge im realen Fahrbetrieb deutlich von dem Prüfstandstest abwich.

Das reale Emissionsverhalten von Fahrzeugen wird seit vielen Jahren durch ein Konsortium aus mehreren Ländern untersucht und in Form eines Handbuchs der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) zur Verfügung gestellt [25]. Das Handbuch wurde ursprünglich im Auftrag der Umweltbundesämter von Deutschland, der Schweiz und Österreich erstellt. Inzwischen wird HBEFA von weiteren Ländern (Schweden, Nor-

wegen, Frankreich) wie auch von JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission) unterstützt. Die aktuelle Version 4.1 wurde umfassend aktualisiert und enthält neben den Messungen der Abgasemissionen im Realbetrieb eine Reihe weiterer wichtiger Neuerungen, wie Emissionsfaktoren bei betriebswarmem Motor, die Erweiterung von Verkehrssituationen, eine Temperaturkorrektur u.ä.m. Dabei stellte sich heraus, dass die Realemissionen von NO<sub>x</sub> im innerstädtischen Verkehr die Abgasgrenzwerte teilweise drastisch überschreiten. Sie liegen demnach nochmals höher als in der Version HBEFA 3.3 aus dem Jahr 2017 angenommen worden war.

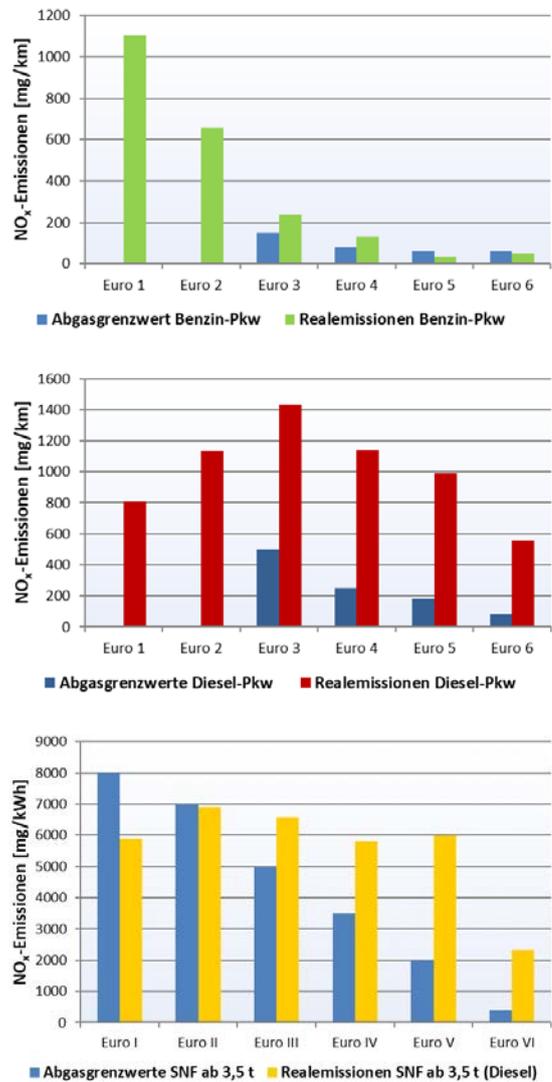


Abb. 22: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Fahrzeugen zwischen Abgasgrenzwert und Realemissionen; Innenstadt, Bezugsjahr 2019, HBEFA 4.1

Während Benzin-Pkw die festgelegten Abgasgrenzwerte ab Euro-5-Norm sicher einhielten, zeigen sich bei Diesel-Pkw selbst bei den neuen

Euro-6-Fahrzeugen immer noch erhebliche Abweichungen. Erst die nach Einführung des RDE (real driving emissions) Verfahrens zugelassenen Diesel-Pkw der Euronorm 6d (temp) und 6d halten den Abgasgrenzwert ein.

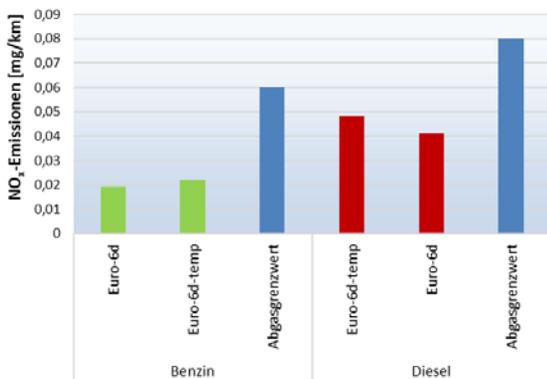


Abb. 23: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Realemissionen von Benzin- und Diesel-Pkw der Euro-6-Norm mit dem jeweiligen Abgasgrenzwert; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019, innerorts

### 5.4.3 Zusammensetzung der Kfz-Flotte

Für die Immissionsbelastung mit Stickstoffdioxid ist der Anteil an Dieselfahrzeugen von Bedeutung. Aufgrund der geringeren Kraftstoffkosten und eines etwas geringeren Kraftstoffverbrauchs, fällt die Entscheidung beim Neuwagenkauf zunehmend zugunsten von Dieselfahrzeugen. Diese Entwicklung spiegelt sich vor allem in den Neuzulassungen wider, wie die nachstehende Abbildung verdeutlicht. Allerdings gingen die Zulassungszahlen nach Bekanntwerden des Dieselskandals und möglicher Fahrverbote inzwischen deutlich zurück.

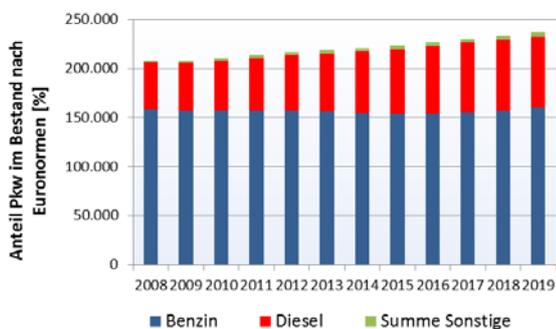


Abb. 24: Bestand an Personenkraftwagen in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land nach Kraftstoffarten jeweils zum 1. Januar eines Jahres (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt)

Wie Abb. 24 zeigt, spiegelt sich dieser Trend bisher nicht im Pkw-Bestand der Zulassungsbezirke

Kassel Stadt und Land wider. So stieg der Anteil von Diesel-Pkw im Bestand von 23,1% im Jahr 2008 auf 30,9% zum 1. Januar 2017 an, verharrte auch 2018 auf gleichem Niveau und sank zum 1. Januar 2019 nur geringfügig auf dann 30,5% ab.

Die im BR Kassel zugelassenen Diesel-Pkw weisen liegen in Bezug auf die Schadstoffklassenverteilung genau im deutschlandweiten Schnitt, was den Anteil an Euro-6-Diesel-Pkw im Bestand angeht. Mit Stand 1. Januar 2019 betrug der Anteil der Euro-6-Diesel-Pkw in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land 31,1%, was praktisch genau dem bundesweiten Durchschnitt von 31,0% entspricht. Davon waren 4,6% Euro-6d(temp)-Diesel-Pkw.

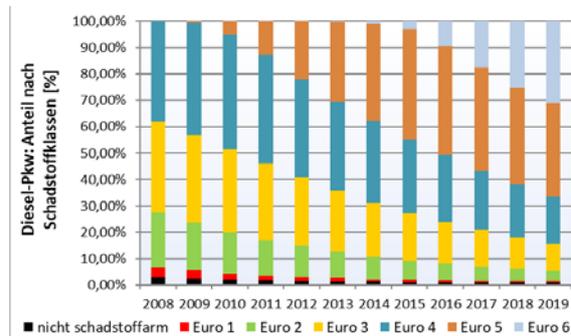


Abb. 25: Verteilung der in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land zugelassenen Diesel-Pkw auf die Emissionsklassen (Euronormen)

Im Vergleich zum durchschnittlichen Anteil an Euro-6-Diesel-Pkw in Hessen, der zum gleichen Zeitpunkt bereits bei 35,4% lag, weist der Bereich einen etwas schlechteren Emissionsstandard auf.

Wie Abb. 26 zeigt, emittieren Lkw der Euro-VI-Norm bis max. 12 t zulässigem Gesamtgewicht nur etwa die gleichen Mengen an NO<sub>x</sub> pro Kilometer wie Diesel-Pkw der Euro-6-Norm (ohne Euro-6d).

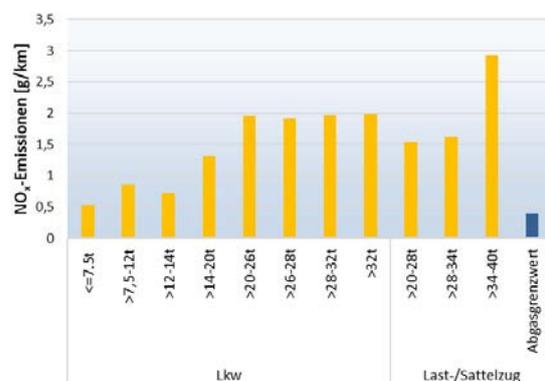


Abb. 26: NO<sub>x</sub>-Emissionen von Euro-VI-Lkw nach Tonnage im Vergleich zum Abgasgrenzwert; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019, innerorts

Je höher das zulässige Gesamtgewicht, desto höher liegen jedoch auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Die Aufteilung der Nutzfahrzeuge nach Euronormen in Deutschland zeigt jedoch gerade bei den kleineren Lkw von 3,5 bis 7,5 t einen noch geringen Anteil an Euro-VI-Fahrzeugen (siehe Abb. 27).

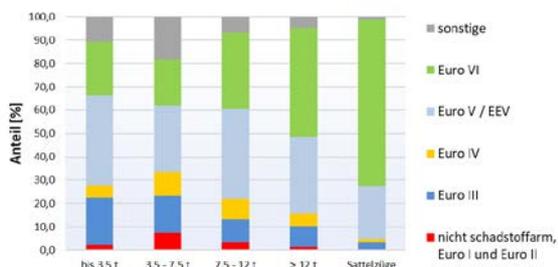


Abb. 27: Aufteilung der in Deutschland zugelassenen Nutzfahrzeuge nach zulässigem Gesamtgewicht und Emissionsklasse; Stand: 1. Januar 2019; Quelle: KBA

Eine Summenbildung ist nur bedingt möglich, da die Beiträge zu teilweise unterschiedlichen Zeiten erhoben wurden. Dennoch gibt die Darstellung einen guten Überblick über die maßgeblichen Verursacher der Belastung.

Emittentengruppe	Erhebungsjahr	BR Kassel	
		t/a	%
Gebäudeheizung	2012	301,8	10,9
Industrie	2016	575,8	20,8
davon Großfeuerungsanlagen [27]	2016	251,7	9,1
Kfz-Verkehr <sup>1</sup>	2010	1.895,6	68,4
<b>(Summe)</b>		<b>2.773,2</b>	

<sup>1</sup> nach HBEFA 3.1

Tab. 9: NO<sub>x</sub>-Emissionsbilanz des Ballungsraums Kassel

#### 5.4.4 Verkehrsemissionen des Ballungsraums

Auf der Grundlage der Verkehrszählungen sowie der durchschnittlichen Emissionen der Fahrzeuge nach dem HBEFA werden die Verkehrsemissionen von jeder Kommune in Hessen im Verkehrskataster des HLNUG erfasst.

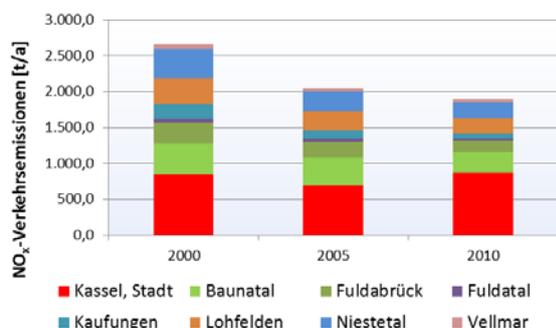


Abb. 28: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Kassel; Quelle: HLNUG, Verkehrskataster

Das Verkehrskataster für das Jahr 2015 wird voraussichtlich erst Ende 2019 beim HLNUG zur Verfügung stehen.

#### 5.5 NO<sub>x</sub>-Emissionen des Ballungsraums

Tab. 9 zeigt die Emissionsbilanz der Hauptemittenten für Stickoxide im Ballungsraum Kassel.

#### 5.6 Eintrag von Stickoxiden aus anderen Gebieten

Wie die Messwerte im städtischen Hintergrund in Kassel zeigen, liegt die Belastung verhältnismäßig niedrig. Während die Luftschadstoffkonzentration in den einzelnen Straßen im Wesentlichen durch den lokalen Verkehr geprägt ist, tragen zur Hintergrundbelastung die Summe der anthropogenen Emissionen durch Wohnen, Arbeiten und Verkehr bei. Dazu zählen auch die Emissionen der Autobahnen A 7, A 44 und A 49, wobei die A7 eine der Hauptverkehrsachsen in Nord-Süd-Richtung darstellt.

Die Menge von Stickoxidemissionen, die von Emittenten außerhalb von Hessen stammen, durch den Luftstrom verfrachtet und zur Immissionsbelastung in Hessen beitragen, wurde u.a. für die Stadt Kassel im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen ermittelt. Nähere Ausführungen dazu siehe auch Kap. 6.1. Danach liegt der Ferneintrag in Kassel bei knapp 8% der Schadstoffbelastung mit Stickstoffdioxid.

Im Gegensatz zu Feinstaub, wo i.d.R. mehr als die Hälfte der Belastung durch Ferneintrag verursacht wird, handelt es sich bei Stickstoffdioxid um ein eher lokales Problem. Diverse Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schadstoffkonzentration sehr schnell mit zunehmendem Abstand von der Quelle auf den Hintergrundwert sinkt. Das verdeutlicht auch die MISKAM-Untersuchung in Abb. 6.

## 6 Analyse der Lage

### 6.1 Ausbreitungsberechnungen zur Ermittlung der Verursacheranteile

Die Ermittlung von Verursacheranteilen an der Belastung ist aufgrund der Vorgaben im § 47 Abs. 4 BImSchG von Bedeutung. Danach sind Maßnahmen in Luftreinhalteplänen entsprechend dem Verursacheranteil festzulegen.

Grundlage der Verursacheranalyse sind regelmäßige Erhebungen der Emissionen der verschiedenen Emittenten. Für Industrie und Gebäudeheizung sind diese Erhebungen in einem Turnus von vier (Industrie) bzw. sechs (Gebäudeheizung) Jahren vorzunehmen. Der Verkehr wird bundesweit alle fünf Jahre gezählt. In Hessen

werden diese Emissionen in den Emissionskatalogen dargestellt und auf der Internetseite des HLNUG veröffentlicht [18].

Auf dieser Basis und unter Berücksichtigung weiterer Emissionen z.B. durch den Flug- und Schiffsverkehr, durch Dieselloks der Bahn, durch Einträge der Landwirtschaft und ähnlichem mehr erfolgten die „Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung“. Das im Januar 2016 fertiggestellte Gutachten [13] kann auf der Internetseite des Umweltministeriums eingesehen und heruntergeladen werden.

Das für das Jahr 2013 erstellte Gutachten zeigt für die Stadt Kassel, stellvertretend für den Ballungsraum Kassel, folgende Verursacheranteile:

	Gesamtbelastung [µg/m³]	Ferneintrag [%]	Sonstiges* [%]	Industrie [%]	Gebäudeheizung [%]	Gesamtstädtischer Kfz-Verkehr [%]	Straßenbezogener Kfz-Verkehr [%]
Brüderstraße	52,7	6,6	7,4	1,5	5,9	26,6	52,2
Frankfurter Straße	42,5	8,0	10,8	2,1	6,1	26,8	46,4
Fünffensterstraße	43,0	7,9	10,5	1,9	9,5	26,0	45,1
Holländische Straße	43,7	8,0	10,8	1,8	6,6	23,8	49,0
Leipziger Straße	36,4	9,6	10,2	3,0	7,4	29,7	40,1
Mauerstraße	53,3	6,6	7,9	1,5	8,3	22,9	52,9
Schönfelder Straße	58,7	5,8	8,0	1,4	4,9	19,3	60,6
Wolfhager Straße	40,3	8,7	14,1	2,5	7,2	22,3	45,2
<b>Mittelwert</b>		<b>7,7</b>	<b>10,0</b>	<b>2,0</b>	<b>7,0</b>	<b>24,7</b>	<b>48,9</b>

\*Bahn-, Schiffsverkehr, Landwirtschaft, natürliche Quellen

Tab. 10: Berechnete NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung und Verursacheranteile in verschiedenen Straßenzügen in Kassel (Bezugsjahr 2013, HBEFA 3.2)

Dass sich die Immissionsanteile teilweise stark von den Emissionsanteilen unterscheiden liegt an der Quellhöhe, d.h. der Höhe, in der die Emissionen die Quelle (Kamin, Abgasrohr) verlassen.

Abgase von Industrieanlagen müssen entsprechend den Vorgaben der TA Luft über Schornsteine abgeleitet werden, die unter Berücksichtigung der umgebenden Bebauung ihren ungestörten Abtransport mit der freien Luftströmung gewährleisten. Dabei sollen die Schornsteine eine Mindesthöhe von 10 m über Flur nicht unterschreiten.

Für die Ableitung der Emissionen aus den Gebäudeheizungen gelten die Vorgaben nach der Verordnung für kleine Feuerungsanlagen (1. BImSchV). Da diese Emissionen i.d.R. deutlich geringer sind als die von Industrieanlagen, sind auch die Anforderungen an die Höhe der Ableitung nicht so hoch. Doch selbst für die Gasheizung eines Einfamilienhauses muss für die Ableitung der Abgase eine Höhe von mindestens 40 cm über First bzw. mindesten 1 m Abstand zur Dachfläche eingehalten werden. Das bedeutet, dass selbst im Falle einer Bungalowsiedlung die

Emissionen aus der Gebäudeheizung mindestens in Höhe von 4 bis 5 m über Flur emittiert werden.

Im Vergleich dazu werden die Abgase aus dem Straßenverkehr nahezu direkt über Flur emittiert. Daher können sich diese Emissionen vor allem in schlecht durchlüfteten Straßenschluchten schnell anreichern. Bei einem hohen Verkehrsaufkommen kann dies zu einer Überschreitung des Immissionsgrenzwertes führen.

Im Durchschnitt stellten sich die Immissionsanteile an der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung in Kassel für das Bezugsjahr 2013 wie folgt dar:

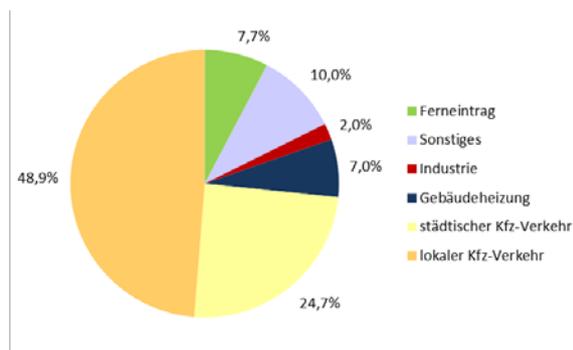


Abb. 29: Durchschnittliche Immissionsanteile an der NO<sub>2</sub>-Belastung in Kassel, Bezugsjahr 2013

Die geringen Anteile von Industrie und Gebäudeheizung an der Gesamtbelastung machen deutlich, dass mit Maßnahmen in diesen Bereichen praktisch keine nennenswerten Minderungen erzielt werden können. Davon ungeachtet, dass die

über Verordnungen geregelten Emissionsgrenzwerte nicht durch Maßnahmen eines Luftreinhalteplans geändert werden können.

Mit 10% liegt der Anteil der sonstigen Quellen nicht so hoch, dass emissionsmindernde Maßnahmen von Interesse sein könnten. Unter dem Begriff „Sonstiges“ werden die Emissionsanteile des Schiffsverkehrs, der Dieselloks der Bahn, aus der Landwirtschaft und anderen Emittenten zusammengefasst.

### 6.2 Modellrechnungen zur Ermittlung der Zusatzbelastung durch den lokalen Verkehr

Da nur für eine Reihe von Straßen im Ballungsraum Kassel die Immissionsbelastung als Messwerte vorliegen, wurde die verkehrsbedingte Zusatzbelastung in weiteren Straßenzügen mit Hilfe entsprechender Berechnungsmodelle abgeschätzt (siehe auch Kap.4.2.3). Zur flächenhaften Ermittlung dieser Bereiche wurden MISKAM-Berechnungen eingesetzt. Die Berechnungen berücksichtigen das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen sowie die Bebauungssituation vor Ort. Unter Berücksichtigung bestimmter meteorologischer Parameter kann damit die durch den Verkehr verursachte Zusatzbelastung ermittelt werden, die zusammen mit der städtischen Hintergrundbelastung die Gesamtbelastung in den einzelnen Straßenabschnitt ergibt.

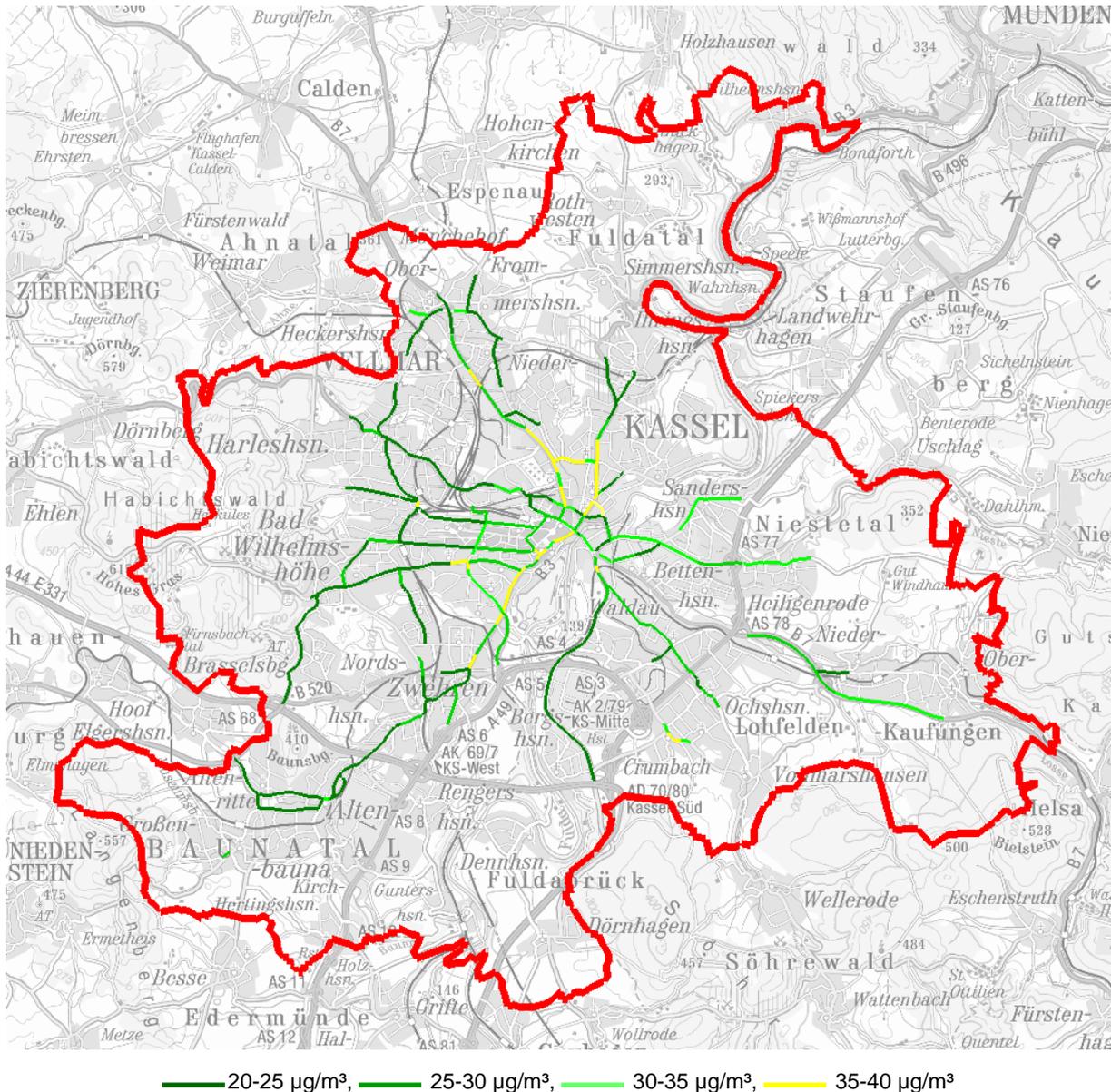


Abb. 30: Als Jahresmittelwert berechnete NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung auf dem Hauptverkehrsstraßennetz des Ballungsraums Kassel, Analysenullfall 2018; HBEFA 3.3

### 6.3 Untersuchung der Verursacheranteile des Straßenverkehrs

Mitentscheidend für die Höhe der lokalen Verkehrsemissionen sind neben dem Verkehrsaufkommen auch die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte, ihre Motorisierung und ihr Emissionsstandard.

Auf einer Reihe im Hinblick auf die Schadstoffbelastung ungünstigeren Straßenabschnitten wurden 2018 neue Verkehrszählungen durchgeführt, um einen besseren Überblick über die derzeitige Verkehrsbelastung zu erhalten, die für die Immissionsbelastung ausschlaggebend ist.

Dabei wurde unterschieden zwischen Krafträdern, Pkw, leichten Nutzfahrzeugen bis 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht, schweren Nutzfahrzeugen > 3,5 t zulässigem Gesamtgewicht und Bussen.

In Abb. 31 sind die Standorte der Verkehrszählungen aufgeführt. Die Ergebnisse der Verkehrszählungen und ihre Berechnung auf einen durchschnittlichen täglichen Verkehr am Tag (DTV) siehe Tab. 11.

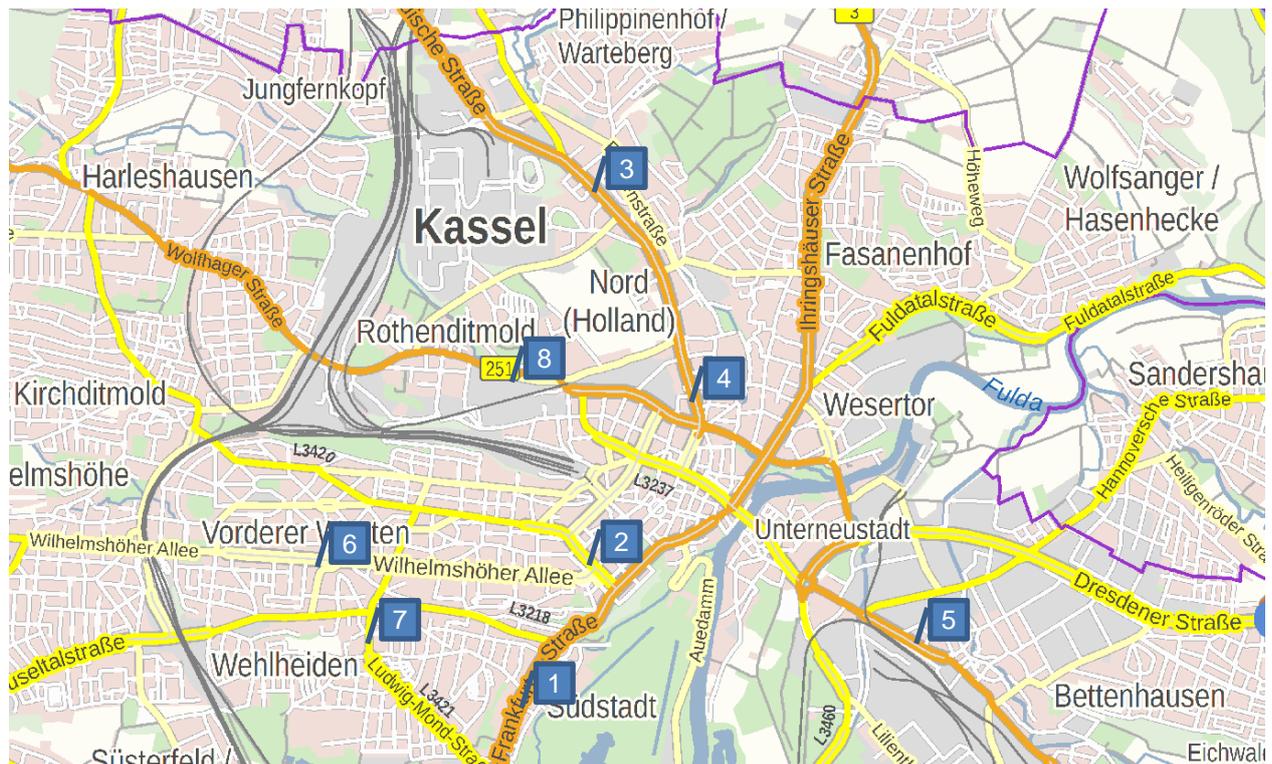


Abb. 31: Standorte der Verkehrszählungen 2018

		Krad	Pkw	LNF<3,5t	SNF>3,5t	Busse	DTV
1	Frankfurter Straße	258	29.044	1.296	456	48	31.102
2	Fünffensterstraße	156	16.822	518	193	7	17.695
3	Holländische Straße, nördlicher Teil	258	29.698	1.872	985	51	32.864
4	Holländische Straße, südlicher Teil	246	29.491	1.513	1.115	55	32.420
5	Leipziger Straße	201	16.584	645	440	16	17.887
6	Kohlenstraße	121	17.124	574	231	162	18.212
7	Schönfelder Straße	101	21.442	702	304	143	22.691
8	Wolfhager Straße	211	13.905	947	376	153	15.593

Tab. 11: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) als Ergebnisse der Verkehrszählung 2018

Das Handbuch der Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA 3.3) sieht für das Bezugsjahr 2018 einen Anteil von Diesel-Pkw am Gesamt-Pkw-Aufkommen von 52,8% vor. Bei den leichten Nutzfahrzeugen (LNF) liegt der Anteil der Dieselfahrzeuge bei 96,6%.

Bei Auswertung der Emissionsanteile der verschiedenen Fahrzeugtypen an der verkehrlichen Zusatzbelastung in den verschiedenen Straßen, ergibt sich die in gezeigte Aufteilung.

Dabei zeigt sich, dass allein drei Viertel der verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Emissionen von den Diesel-Pkw verursacht werden.

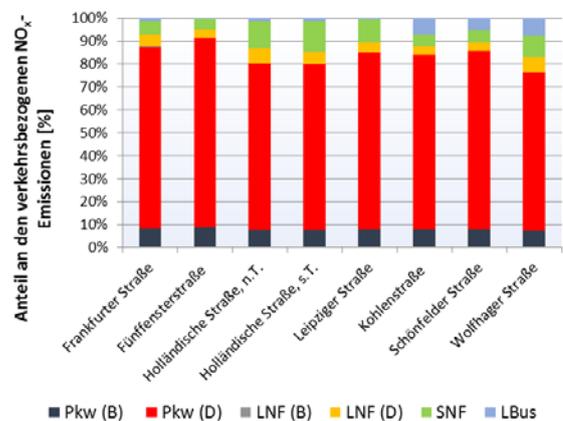


Abb. 32: Emissionsanteile der verschiedenen Fahrzeugtypen an den verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Emissionen, HBEFA 3.3, Bezugsjahr 2018

## 7 Angaben zu bereits durchgeführten oder bestehenden Verbesserungsvorhaben

### 7.1 Europaweite und nationale Maßnahmen

#### 7.1.1 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Industrie

Die Emissionen genehmigungsbedürftiger Industrieanlagen sind seit der Einführung der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft [22] im Jahr 1964 durch die fortwährenden verpflichtenden Anpassungen an den Stand der Technik flächendeckend verringert worden.

Mit Umsetzung der Industrieemissionsrichtlinie [26] im Mai 2013 wurden die Schlussfolgerungen der Merkblätter zur Besten Verfügbaren Technik (BVT-Merkblätter) für die Mitgliedstaaten der Europäischen Union verbindlich. Die Schlussfolgerungen beschreiben die besten verfügbaren Emissionsminderungstechniken für bestimmte Industriebranchen (Abfallbehandlungsanlagen, Eisen- und Stahlerzeugung, Glasherstellung, Raffinerien etc.). Damit wird eine Bandbreite maximaler Emissionen vorgegeben, die nur noch in speziellen Sonderfällen überschritten werden darf. Vor Inkrafttreten der Industrieemissionsrichtlinie waren diese Techniken und ihre Emissionsgrenzwerte nur als Orientierungshilfe bei der Genehmigung von den entsprechenden Industrieanlagen zu nutzen. Durch die Umsetzung der BVT-Schlussfolgerungen wird sich der insbesondere bei Feinstaub merkliche Ferneintrag voraussichtlich verringern.

BVT-Merkblätter werden im Schnitt alle acht Jahre an den aktuellen Stand der Technik angepasst. Da die damit vorgegebenen maximalen Emissionsgrenzwerte nicht überschritten werden dürfen, wird gewährleistet, dass eine kontinuierliche Verringerung der industriellen Emissionen erfolgt.

Diejenigen Industrie- und Abfallanlagen sowie Industriekläranlagen, die der Industrieemissionsrichtlinie unterliegen, sind von den mit der Umsetzung in bundesdeutsches Recht verbundenen Verschärfung der Emissionsgrenzwerte und Planung der Anlagenüberwachung betroffen. Diese Anlagen unterliegen dem [Überwachungsplan Hessen](#) sowie dem jährlich aktualisierten landesweiten [Überwachungsprogramm](#). Dadurch werden besondere Anforderungen an die systematische umweltbezogene Einstufung und Regelüberwachung der Anlagen gestellt.

#### Großfeuerungsanlagen

Großfeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung > 50 MW unterliegen den spezifischen Anforderungen der Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotorenanlagen – 13. BImSchV [27]. Sie haben einen Anteil von weniger als 10% an der durch Industrieanlagen verursachten NO<sub>x</sub>-Belastung (siehe [13]) im Ballungsraum Kassel.

Mit Umsetzung der Industrieemissions-Richtlinie wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionsgrenzwerte (Tageswerte) für große Verbrennungsanlagen (Feuerungswärmeleistung > 300 MW) um 25 %, d.h. von 200 mg/m<sup>3</sup> auf 150 mg/m<sup>3</sup>, verschärft. Die Anforderungen gelten für neue Anlagen seit Inkrafttreten der Verordnung und für Altanlagen seit dem 1. Januar 2016.

Im Ballungsraum Kassel sind mit Stand Mai 2019 fünf immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen in Betrieb, die der 13. BImSchV sowie der Industrieemissionsrichtlinie unterliegen. Nur eine der Anlagen weist aber eine Feuerungswärmeleistung von mehr als 300 MW auf.

#### Abfall(mit)verbrennungsanlagen

Analog zur 13. BImSchV wurden die Anforderungen an Abfall(mit)verbrennungsanlagen, die der 17. BImSchV unterliegen, ebenfalls durch die Umsetzung der IE-RL erhöht. Für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung > 50 MW wurde der NO<sub>x</sub>-Tagesmittelwert von 200 mg/m<sup>3</sup> auf 150 mg/m<sup>3</sup> herabgesetzt [28].

Noch schärfer wurden die Anforderungen an die Mitverbrennung von Abfällen in Zementwerken und Kalkbrennanlagen gefasst. Hier wurde der NO<sub>x</sub>-Tagesgrenzwert von 500 mg/m<sup>3</sup> auf 200 mg/m<sup>3</sup> in Zementwerken und von 500 mg/m<sup>3</sup> auf 350 mg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> in Kalkbrennanlagen gesenkt. Die Anforderungen gelten für Neuanlagen seit dem 2. Mai 2013 und für Altanlagen seit dem 1. Januar 2019.

Im Ballungsraum Kassel waren mit Stand Mai 2019 zwei immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen in Betrieb, die der 17. BImSchV und der IE-Richtlinie unterliegen. Die im Berichtszeitraum 2016 in Betrieb befindlichen zwei Anlagen emittierten zusammen rd. 83,7 t NO<sub>x</sub> gerechnet als NO<sub>2</sub>.

Ob darüber hinaus gehende Maßnahmen bei Industrieanlagen erforderlich sind, wird von den zuständigen Behörden grundsätzlich dann geprüft, wenn die Anlage in einem Bereich liegt, in dem

Immissionsgrenzwerte überschritten werden. In diesen Fällen werden je nach Verhältnismäßigkeit auch schärfere Grenzwerte bzw. weitere Maßnahmen als Nebenbestimmungen im Genehmigungsbescheid festgelegt. Dies erfolgt unabhängig von der Luftreinhalteplanung. Die Einhaltung der vorgegebenen Emissionsgrenzwerte wird regelmäßig überwacht.

### 7.1.2 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Gebäudeheizung

Die Emissionen aus der Gruppe der Gebäudeheizung werden durch kleine und mittlere Feuerungsanlagen verursacht, die den Anforderungen der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen [23] unterliegen.

Die zwischenzeitlich gewachsene Erkenntnis, dass insbesondere Einzelraumfeuerungsanlagen wie Kaminöfen besonders zur PM<sub>10</sub>-Belastung in einem Gebiet beitragen, haben dazu geführt, dass im Rahmen der letzten Novelle der 1. BImSchV im Januar 2010 strenge Anforderungen an die Staub- und Kohlenmonoxidemissionen selbst kleiner Anlagen ab 4 kW gestellt werden. Unter Berücksichtigung der Übergangsfristen zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bei vorhandenen Anlagen ist davon auszugehen, dass ab 2015 die Staub- bzw. PM<sub>10</sub>-Emissionen dieser Anlagen im Bundesgebiet rückläufig sein dürften.

### 7.1.3 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Kfz-Verkehr

#### 7.1.3.1 Einführung eines neuen Typprüfzyklus

Die Minderung der spezifischen Fahrzeugemissionen erfolgt in erster Linie über die Verschärfung von Abgasgrenzwerten durch entsprechende EU-Verordnungen. Mit Inkrafttreten jeder neuen Euronorm müssen neu zugelassene Fahrzeuge die Einhaltung der herabgesetzten Abgasgrenzwerte im Rahmen einer Typprüfung nachweisen.

Der für den Nachweis der Einhaltung der Abgasgrenzwerte bis September 2017 eingesetzte Typprüfzyklus (new european driving cycle – NEDC) entsprach nicht den Bedingungen im normalen Straßenverkehr. Das hat insbesondere bei Dieselfahrzeugen dazu geführt, dass die Fahrzeuge im Realbetrieb sehr viel höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachten, als nach dem Abgasgrenzwert, den sie auf dem Prüfstand einhielten, vorgesehen war.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen wurde dieses Problem durch neue Typpergenehmigungsanforderungen, die in der Verordnung EG/582/2011 [29] festgelegt wurden, behoben. Erstmals musste die Einhaltung der Abgasgrenzwerte auch durch einen Test im normalen Fahrbetrieb nachgewiesen werden.

Für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge wurde der Prüfzyklus erst ab September 2017 sowohl durch einen neuen Prüfstandszyklus (Worldwide Harmonized Light Duty Test Procedure – WLTP) sowie durch eine zusätzliche Prüfung im realen Fahrbetrieb (real driving emissions – RDE) ersetzt (EU-Verordnung 2016/427 [30]). Neue Fahrzeugmodelle, die seit September 2017 eine Zulassung beantragten, dürfen im realen Fahrbetrieb den Abgasgrenzwert um maximal das 2,1-fache überschreiten, um eine Zulassung zu erhalten. Ab 2019 wird dieser Faktor bei der Zulassung neuer Fahrzeugmodelle auf das 1,5-fache reduziert.

Aufgrund der durch den Dieselskandal und die Diskussionen um Dieselfahrverbote zunehmenden Zurückhaltung beim Kauf neuer Dieselfahrzeuge (insbesondere Pkw), ist die Entwicklung der Zulassungszahlen von Euro-6d-Diesel-Pkw schwierig einzuschätzen. Die Euro-6-Norm trat für Pkw verpflichtend für die Zulassung neuer Modelle ab dem 1. September 2014 in Kraft. Allerdings konnten bereits davor neue Modelle als Euro-6-Fahrzeuge zugelassen werden, sofern die Fahrzeuge die Anforderungen an Euro-6-Fahrzeuge nach dem damals geltenden Typprüfzyklus bereits einhielten.

Die Anforderungen an Euro-6d Fahrzeuge traten erst im September 2017 in Kraft. Tatsächlich wurde vorher auch kein Fahrzeug nach Euro-6d zugelassen. Der Anteil von Euro-6d(temp)-Diesel-Pkw an den insgesamt in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land zugelassenen Diesel-Pkw lag mit Stand 1. Januar 2019 bei 1,4%.

Nach HBEFA 4.1 emittieren Diesel-Pkw pro km im Jahr 2020 im Durchschnitt 6,7% weniger NO<sub>x</sub> als im Jahr 2019; im Jahr 2025 sind es bereits 37,3% weniger.

#### 7.1.3.2 Ausweitung der Lkw-Maut

Zur Vermeidung von Mautausweichverkehr wurden zum 1. Januar 2007 erste Streckenabschnitte bestimmter Bundesstraßen ebenfalls mautpflichtig. Das betraf vor allem Bundesstraßen außerorts mit direktem Anschluss an das Autobahnnetz. In den Folgejahren wurde die Mautpflicht auf weitere Bundesstraßen ausgedehnt.

Am 1. Juli 2015 wurden weitere rund 1.100 Kilometer autobahnähnlich ausgebauter Bundesstraßen in Deutschland in das Lkw-Maut-Netz aufgenommen. Zum 1. Juli 2018 wurde die Lkw-Maut auf alle Bundesstraßen ausgeweitet. Die rechtliche Grundlage dafür ist das Vierte Gesetz zur Änderung des Bundesfernstraßenmautgesetzes, das am 31. März 2017 in Kraft getreten ist.

Insgesamt ergibt sich ein mautpflichtiges Streckennetz von rund 53.000 km.

Betraf die Mautpflicht lange Zeit nur Lkw ab einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 12 t, wurde die Mautpflichtgrenze seit dem 1. Oktober 2015 auf Fahrzeuge ab 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht abgesenkt.

Hintergrund sind die hohen Belastungen der Straßen durch schwere Lkw. Sie verursachen aufgrund ihres hohen Gewichts ein Vielfaches an Straßenschäden im Vergleich zu Pkw. Daher sollten Lkw verursachergerecht an den Kosten für Bau und Instandhaltung der Infrastruktur beteiligt werden. Um einen Anreiz für emissionsarme Fahrzeuge zu setzen, wurde die Höhe der Mautgebühren nach den Euronormen gestaffelt.

### 7.2 Lokale Maßnahmen im Bereich des Ballungsraums Kassel

Mit der 1. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel wurde eine ganze Reihe von Maßnahmen realisiert, die zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität im Ballungsraum Kassel geführt haben.

Konkret gehörten dazu:

- Maßnahmen zur Verbesserung des Verkehrsflusses,
- der Bau von Umgehungsstraßen,
- die Prüfung einer Wiedereinführung der City-Logistik in Kassel,
- die Einrichtung von Pendlerparkplätzen,
- die Umstellung auf schadstoffarme kommunale Fahrzeuge,
- der Ausbau des Öffentlichen Personennahverkehrs,
- die weitere Verbesserung des Emissionsstandards der Busflotte,
- Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität des ÖPNV,
- der Ausbau und die Attraktivitätssteigerung des Radverkehrs,
- Maßnahmen zur Steigerung der Attraktivität des Fußgängerverkehrs,
- Energieeinsparungen bei kommunalen Neubauten,
- die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden,
- die Errichtung und der Betrieb gemeindeeigener Energiegewinnungsanlagen,
- die Auflage von Förderprogrammen zur Nutzung regenerativer Energien sowie
- der Ausbau der Fernwärmenutzung.

Einzelheiten zu den Maßnahmen können der [1. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel](#) entnommen werden.

## 8 Untersuchte und geplante Maßnahmen

### 8.1 Einleitung

Nach § 47 Abs. 4 Satz 1 BImSchG sind Maßnahmen entsprechend des Verursacheranteils unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Emittenten zu richten, die zum Überschreiten des Immissionsgrenzwertes beitragen. Verwaltungsgerichtliche Urteile stellen dabei klar, dass dem Schutz der menschlichen Gesundheit bei der Bewertung der Verhältnismäßigkeit von Maßnahmen gegenüber ggf. wirtschaftlichen Nachteilen eine besonders hohe Bedeutung beizumessen ist. Nur wenn der finanzielle Aufwand und die Wirkung von Maßnahmen in einem sehr ungünstigen Verhältnis stehen, darf von der Umsetzung geeigneter Maßnahmen abgesehen werden.

Wie bereits in Kapitel 6.1 dargestellt, tragen die Industrie mit 2,0% und die Gebäudeheizung mit 7,0% nur geringfügig zur NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung im Ballungsraum bei. Maßnahmen in diesem Bereich müssten schon sehr weitgehende Minderungen bewirken, damit es zu einer deutlichen Reduzierung der Belastung kommen würde. Da die Emissionsbegrenzungen sowohl für Industrieanlagen als auch für kleine Feuerungsanlagen im Wesentlichen in Bundes-Verordnungen festgelegt sind, können sie nicht mit Maßnahmen eines Luftreinhalteplans verschärft werden. Für Industrieanlagen gilt auch die rechtliche Vorgabe, dass die Anlagen regelmäßig entsprechend dem Stand der Technik anzupassen sind, was in den letzten Jahrzehnten zu erheblichen Minderungen der Industrieemissionen geführt hat. D.h. Anlagen, die u.a. im Hinblick auf ihre Emissionen keine modernen Abgasreinigungsanlagen einsetzen, müssen nach einer kurzen Übergangsfrist entweder den Betrieb einstellen oder die Anlage entsprechend modernisieren. Aufgrund des minimalen Anteils an der Schadstoffbelastung wären daher Betriebseinschränkungen bei Industrieanlagen weder besonders wirksam, noch verhältnismäßig. Das gilt auch für die Gebäudeheizung. Heizungsanlagen werden überwiegend nur im Winterhalbjahr betrieben. Da es i.d.R. zur eigenen Heizungsanlage keine Alternative gibt, wäre eine Nutzungseinschränkung unverhältnismäßig.

Der Anteil des Ferneintrags liegt mit 7,7% auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Diese von außerhalb Hessens stammende Zusatzbelastung kann aber auch nicht mit lokalen oder auch regionalen Maßnahmen beeinflusst werden.

Städtischer und lokaler Verkehr sind mit fast 75% Hauptverursacher der Belastung. Damit wird deutlich, dass eine dauerhafte Grenzwerteinhaltung nur durch eine Reduzierung der Verkehrsemissionen oder einen Rückgang des Verkehrsaufkommens erreicht werden kann.

Wie in Kap. 6.3 dargestellt, ist es vor allem der Diesel-Pkw-Verkehr, der für die maßgeblichen NO<sub>x</sub>-Emissionen verantwortlich ist. Aber auch im Verkehrsbereich gilt, dass die durch EU-Verordnung festgelegten Emissionsgrenzwerte nicht durch Maßnahmen eines Luftreinhalteplans verschärft werden können. Daher bleiben nur verkehrsvermeidende oder -beschränkende Maßnahmen, um die Emissionen zu verringern. Im Gegensatz zu privaten Heizungsanlagen gibt es mit dem öffentlichen Nahverkehr emissionsarme Alternativen zum privaten Pkw, so dass diese Maßnahmen auch verhältnismäßig sind. Allerdings wird diese Beschränkung von vielen als erheblichen Eingriff in die persönliche Freiheit angesehen.

Obwohl eine Minderung an der Quelle die effektivste Maßnahme ist, hat es bis Mitte 2017 gedauert, bis eine neue EU-Verordnung [31] die Einhaltung (unter Berücksichtigung eines Konformitätsfaktors) der Abgasgrenzwerte bei der Zulassung neuer Fahrzeugmodelle (Pkw und leichte Nutzfahrzeuge) forderte. Bis jedoch ausreichend neue emissionsarme Fahrzeuge in der Fahrzeugflotte vertreten sind, wird es noch einige Zeit dauern.

Da die Diesel-Pkw als Hauptverursacher der Belastung in Luftreinhalteplänen bisher praktisch keinen Beitrag zur Verbesserung der Luftschadstoffbelastung leisten mussten, wurden viele Luftreinhaltepläne beklagt und Dieselfahrverbote als notwendige Maßnahme zur schnellstmöglichen Einhaltung des Stickstoffdioxidgrenzwertes gefordert. Da die Rechtmäßigkeit derartiger Fahrverbote in Zweifel stand, hat nach zwei Sprungrevisionen das Bundesverwaltungsgericht am 27. Februar 2018 ein wegweisendes Urteil zu Dieselfahrverboten gefällt [32]. Danach ist es zulässig, Dieselfahrverbote sowohl strecken- als auch zonenbezogen festzulegen, wenn nicht mit mildereren Maßnahmen eine Grenzwerteinhaltung bis spätestens 2020 erzielt werden kann.

Für den Ballungsraum Kassel sind Fahrverbote zwar kein Thema, aber auch hier gilt, dass die Emissionen von Dieselfahrzeugen und vom Verkehr insgesamt zur Gewährleistung einer dauerhaften Grenzwerteinhaltung verringert werden müssen.

### 8.2 Sofortprogramm der Bundesregierung „Saubere Luft 2017 bis 2020“

Im Zuge des Dieselskandals und den Gerichtsurteilen im Bereich Luftreinhaltung, die zunehmend Fahrverbote zur schnellstmöglichen Einhaltung der Immissionsgrenzwerte für notwendig erachten, hat die Bundesregierung mit dem Sofortprogramm Saubere Luft [33] den Kommunen mit der Förderung bestimmter Maßnahmen Unterstützung bei der Verbesserung der Luftqualität und damit der Vermeidung von Fahrverboten angeboten. Gefördert werden folgende Maßnahmen:

#### Elektrifizierung des Verkehrs

- Förderrichtlinie Elektromobilität
- Förderprogramm Elektro-Mobil / Erneuerbar Mobil
- Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV
- Kleinserien-Richtlinie – Fördermodul 5: Schwerlastenfahrräder / Nationale Klimaschutzinitiative (NKI)

#### Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme

- Förderrichtlinie Digitalisierung kommunaler Verkehrssysteme

#### Nachrüstung von Dieselnissen im ÖPNV

- Förderrichtlinie Nachrüstung von Dieselnissen im ÖPNV mit Abgasnachbehandlungssystemen

#### Verbesserung von Logistikkonzepten und Bündelung von Verkehrsströmen

- Kommunale Klimaschutz-Modellprojekte / Nationale Klimaschutzinitiative (NKI)
- Umschlaganlagen des Kombinierten Verkehrs

#### Förderung des Radverkehrs

- Kommunalrichtlinie / NKI
- Bundeswettbewerb Klimaschutz durch Radverkehr“ / Nationale Klimaschutzinitiative (NKI)
- Finanzhilfen Radschnellwege

#### Umweltbonus (Kaufprämie für E-Fahrzeuge)

- Umweltbonus.

Die Förderprogramme enthalten hohe Förderquoten, z.B. für die Nachrüstung von Bussen oder die Digitalisierung des Verkehrs, wobei die betroffenen Städte immer noch hohe eigene Investitionen tätigen müssen, um in den Genuss der Förderung zu kommen. Viele der angebotenen Förderprogramme verlangen eine schnelle Umsetzung, was vor allem die zur Maßnahmenumsetzung erforderlichen personellen Kapazitäten der Städte teilweise überfordert.

Auch wenn das Maßnahmenpaket der Bundesregierung in die richtige Richtung geht, bleibt zu kritisieren, dass es viel zu spät kommt und die damit verbundene Förderung nicht verstetigt wird, wie es für eine nachhaltige Verkehrswende erforderlich wäre.

### 8.3 Maßnahmenpaket Ballungsraum Kassel

Da Überschreitungen von Grenzwerten bei Feinstaub und Stickstoffdioxid bisher nur in der Stadt Kassel nachgewiesen werden konnte, liegt es im Interesse insbesondere der Stadt Kassel, mit weiteren Maßnahmen eine dauerhafte Einhaltung des Grenzwertes zu erreichen.

Der Schwerpunkt der Maßnahmen liegt bei einer Vermeidung von Individualverkehr sowie dem Ausbau und der Förderung entsprechender Alternativen sowie zur Verringerung der verkehrsbedingten Emissionen. Dazu wurde ein „Integrierter Aktionsplan Luft für die Stadt Kassel“ erstellt, dessen Maßnahmen von der Stadtverordnetenversammlung Kassel beschlossen wurden. Die Wirkung der Maßnahmen wurde von der Fa. IVU Umwelt GmbH mit dem in Kap. 4.2.3 angegebenen Programm IMMIS<sup>em/luft</sup> berechnet.

#### 8.3.1 Intelligente Verkehrssteuerung

##### 8.3.1.1 Einführung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements

Mit einer umweltsensitiven Verkehrssteuerung soll eine Reduzierung der Anzahl der Halte von Fahrzeugen in den betreffenden kritischen Streckenabschnitten erzielt werden, um dadurch eine Verbesserung des Verkehrsflusses zu erreichen. Welchen Einfluss der Verkehrsfluss auf das Emissionsverhalten der Fahrzeuge hat, zeigt Abb. 33.

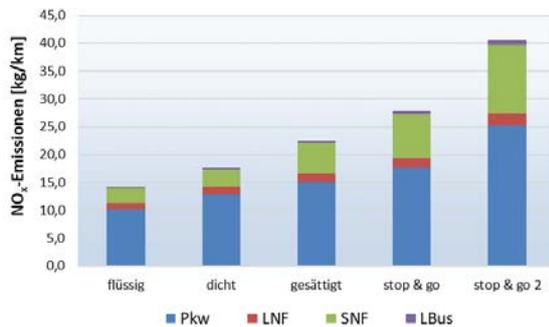


Abb. 33: Verkehrsbedingte NO<sub>x</sub>-Emissionen am Beispiel des Verkehrsaufkommens in der Holländischen Straße bei unterschiedlichem Verkehrsfluss; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019

Das bedeutet, bereits eine Verbesserung des Verkehrsflusses von gesättigt auf dicht die verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Emissionen um fast 28% verringert.

Eine vollkommene Verflüssigung des Verkehrs ist aber auch mit der aufwändigsten Technik nicht möglich. Einschränkend wirkt sich dabei vor allem die Bevorrangung des ÖPNV aus, die aber beabsichtigt ist und teilweise gezielt weiter ausgebaut werden soll, um den Nutzern des ÖPNV einen Vorteil zu verschaffen.

Schwerpunkte dieser Maßnahme sind u. a.:

- Erweiterung und Anpassung der technischen Infrastruktur
- Aufbau eines stadtweiten Monitorings der aktuellen Verkehrs- und Luftschadstoffsituation
- Entwicklung und Umsetzung eines Strategiemangements mit umweltsensitiven Steuerstrategien
- Berücksichtigung von geographischen Gegebenheiten (z. B. Bergauffahrten)
- Veränderungen der Progressionsgeschwindigkeiten
- Änderung der Umlaufzeiten
- Erweiterung des Koordinationsnetzes

### 8.3.1.2 Dynamische Umweltinformation mit Prognose

Durch eine dynamische Umweltinformation (Prognose Tag+1) können die Verkehrsteilnehmer gezielt vorab, also bereits am Vortag über eine zu erwartende kritische Belastungssituation hinsichtlich der verkehrsbedingten Luftschadstoffe im Stadtgebiet und über die Einleitung von

Maßnahmenstrategien zur Reduzierung dieser Belastung durch den Kfz-Verkehr informiert werden (über z.B. dynamische Hinweisschilder, eine App, etc.).

Die dynamische Umweltinformation soll bei den Verkehrsteilnehmern

- eine veränderte Verkehrsmittelwahl
- eine veränderte Routenwahl
- ein verändertes Zeitmanagement

unterstützen und die Akzeptanz der verkehrssteuernden Maßnahmen steigern. Zu der Maßnahme zählt bspw. die Beschaffung einer Software für Umweltmonitoring.

Darüber hinaus kann durch eine dynamische Verkehrsinformation die Verkehrsteilnehmer gezielt während der Fahrt u.a. auch bei verkehrsbedingten hohen Luftschadstoffbelastungen über Folgendes informiert werden:

- NO<sub>2</sub>-Schwellwertüberschreitungen
- Ausweichmöglichkeiten (ÖPNV, etc.)
- Umleitungen bzw. Umfahrungen
- ausgelöste umweltorientierte Steuerstrategien.

### 8.3.1.3 Information mittels mobiler Applikationen und virtueller Schilder

Ein weiteres Informationsmedium stellen virtuelle Informationstafeln im Zusammenhang mit einer mobilen Applikation dar. Die Nutzung mobiler Applikationen erhöht wesentlich den Verbreitungsrahmen für die umweltorientierten Informationen (bspw. für eine frühzeitige Information der Pendler).

Grundlage ist eine städtische Mobilitätsplattform, um den Verkehrsteilnehmern gleichzeitig Alternativen zur Sicherung ihrer Mobilität anzuzeigen. Darin werden Echtzeit-Verkehrsinformationen und alternative Mobilitätsangebote anbieterneutral gebündelt und aufbauenden Informationsdiensten zur Verfügung gestellt.

Dieses Medium wirkt unterstützend zu den Maßnahmen in Kap. 8.3.1.1 und Kap. 8.3.1.2.

Die Umsetzung könnte in Kooperation mit dem laufenden Forschungsprojekt „SCHOOL“ erfolgen.

Darüber hinaus kann ein Ausbau der dynamischen Fahrgastinformationssysteme an allen Bushaltestellen die Verkehrsinformationen für den ÖPNV unterstützen.

### 8.3.1.4 Car2X-Kommunikation auf Grundlage des Forschungsprojektes „Veronika“

Die Reduktion der Anzahl der Halte von Kfz vor Lichtsignalanlagen trägt selbst unter Beibehaltung der ÖPNV-Beschleunigung zur Verringerung des Schadstoffausstoßes bei. Durch den Aufbau einer technischen Infrastruktur für eine Car2X-Kommunikation (u.a. zentralseitige Steuerungssoftware, Gerätetechnik an LSA-Knoten, Lückenschluss des LSA-Datennetzes inkl. der breitbandigen Datenanbindung an die Verkehrsmanagementzentrale der Stadt Kassel) sollen dem Verkehrsteilnehmer zukünftig gezielt Informationen übermittelt werden können, anhand derer z. B.

- das Fahrverhalten
- die Routenwahl
- die Verkehrsmittelwahl

beeinflusst werden können.

In der Stadt Kassel wird im Rahmen des Forschungsprojektes „VERONIKA“ ein digitales Testfeld auf zwei Einfallstraßen installiert: Anschlussstelle (AS) Auestadion-Frankfurter Str.-Ständeplatz und B83-AS Waldau-Platz der dt. Einheit. Dieses wird an 15 Lichtsignal-Knoten mit Road-Side-Units ausgestattet. Komplementär dazu werden On-Board-Units in 16 Fahrzeugen des ÖV und in Einsatzrettungswagen eingebaut, die die Erprobung der Technik in der Praxis leisten. Das Verkehrsmanagement wird dadurch um die Funktionen der Car2X-Kommunikation ergänzt. Auf dieser Grundlage kann das Verkehrsmanagementsystem durch eine Ausweitung und Modernisierung der Technik im Stadtgebiet, in Kombination mit einer angepassten LSA-Steuerung, höhere Effekte zugunsten der Verkehrseffizienz erzielen. Daher ist u.a. die Installation von Road-Side-Units auf weite Teile des Straßennetzes sinnvoll. Da vorhandene Steuergeräte ggfs. nicht der technischen Anforderung für einen erhöhten Datenaustausch genügen, müssten ggf. Anpassungen der LSA-Steuerung, Investitionen in die Modernisierung der Steuergeräte und der Kommunikationsinfrastruktur (breitbandige Lichtwellenleiter (LWL)-Leitungen) getätigt werden. Für die komplementäre Beschaffung von On-Board-Units und deren Einbau in Fahrzeuge sowie die Einrichtung von Schnittstellen zu dem Fahrzeugbordnetz sind Aufwände bei den Flottenbetreibern erforderlich.

Der Maßnahmenumfang umfasst:

- Modernisierung des Datennetzes der Verkehrssteuerung Kassel auf breitbandige LWL-Kommunikationstechnologie

- Installation von 180 Lichtsignalanlagen, inkl. Road-Side Units und modifizierter Steuerungsprogramme
- Erweiterungen in der Verkehrsmanagementzentrale der Stadt Kassel
- Beschaffung und Installation von On-Board-Units.

### 8.3.1.5 Innerstädtische Logistikköpfung zur Optimierung des Wirtschaftsverkehrs

Kassel ist das Oberzentrum des nordhessischen Wirtschaftsraums in der Mitte Deutschlands. Im Schnittpunkt der wichtigsten Hauptverkehrsadern im Zentrum der Bundesrepublik ist der Ballungsraum Kassel ein Investitionsstandort für Handel, Logistik, Dienstleistung und Industrie. Die zentralen Verkehrsverbindungen der Bundesautobahnen A 7, A 44 und auch A 49 ermöglichen den Wirtschaftsunternehmen einerseits einen Standortvorteil, andererseits resultiert daraus auch ein hohes Schwerverkehrsaufkommen in und um Kassel herum. Daher müssen entsprechende Maßnahmen entwickelt werden, die den Schwerverkehr insbesondere in der Innenstadt zugunsten der Lufthygiene und Wirtschaftlichkeit steuern.

Dazu werden verschiedene regulatorische und technische Maßnahmen erarbeitet und umgesetzt, die es erlauben sollen, Ladezonen und reservierte Straßenspuren (für den ÖV) effizienter auszulasten. Neben technischen Lösungen sollen Handlungsleitfäden und regulatorische Vorschläge erarbeitet werden, die Lösungen dazu aufzeigen, wie der Logistikverkehr in seiner Gesamtheit optimiert bzw. reduziert werden kann.

### 8.3.1.6 Wirksamkeitsprognose „Intelligente Verkehrssteuerung“

Die Wirksamkeit des Maßnahmenpakets wurde am Beispiel der Fünfensterstraße untersucht. Dabei wurde eine Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes um gut 1 µg/m<sup>3</sup> berechnet.

## 8.3.2 Mobilitätsmanagement

### 8.3.2.1 Ausbau von Park&Ride-Parkplätzen, Einrichtung von Mobilitätspunkten

Mobilitätspunkte fördern die Erreichbarkeit von urbanen Räumen, was sich insgesamt auch positiv auf die Luftqualität in einer Stadt auswirkt.

Zur Veränderung des Anteils motorisiertem Individualverkehr (MIV) zugunsten von ÖPNV, Rad- und Fußgängerverkehr trägt eine Schnittstellenoptimierung der Verkehrsmittel des Umweltverbundes (ÖPNV-Haltestellen, Stationen des Fahrradverleihs und Car-Sharing-Standorte) bei und fördert deren Nutzung. Sinnvoll einzurichten sind diese als Verknüpfung an Park&Ride-Parkplätzen.

Derzeit beträgt der Anteil des motorisierten Individualverkehrs in Kassel mehr als 40%.

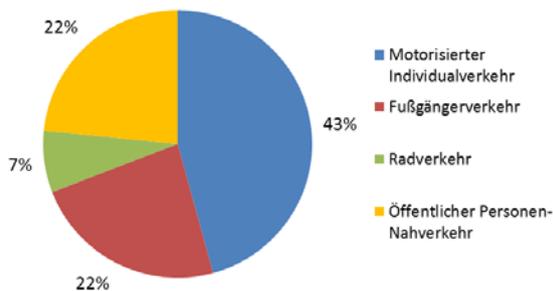


Abb. 34: Modal Split der Stadt Kassel, Bezugsjahr 2015

Dazu soll das Angebot von Park&Ride-Parkplätzen außerhalb des Stadtgebiets und im Umland erweitert werden. Zu beachten ist, dass die Park&Ride-Parkplätze in kurzer, fußläufiger Distanz an den schienengebundenen Öffentlichen Nahverkehr (SPNV) und an (Schnell-) Bushaltestellen angebunden sind und darüber hinaus mit weiteren Verkehrsmodi ausgestattet sind, wie z.B. einem gewerblichen Fahrradverleihsystem. Zur Etablierung der Nutzung ist es wichtig, dass Park&Ride-Parkplätze u.a. bei der Stadteinfahrt durch Beschilderung und Bewerbung kenntlich gemacht werden. Gleichzeitig stellt sich die Frage nach Einführung eines speziellen Park&Ride-Tarifangebots für den ÖPNV.

Die Auslagerung des MIV bietet darüber hinaus neue Handlungsoptionen in der Parkraumplanung durch die Reduzierung des ruhenden Verkehrs im Stadtgebiet, z.B. durch Erneuerung der Stellplatzsättigung. Die Parkraumbewirtschaftung im Stadtzentrum kann im Gegenzug die Nutzung des Park&Ride-Angebots begünstigen.

### 8.3.2.2 Förderung von Car-Sharing und Fahrradverleihsystemen

Ziel hierbei ist die Verlagerung von MIV-Fahrten mit dem eigenen Pkw auf eine erhöhte Car-Sharing-Nutzung. Da größere Einkäufe oder Besorgungen nicht mit dem Rad oder zu Fuß erledigt

werden können, bietet sich die gemeinschaftliche Nutzung von Fahrzeugen an.

Da viele Wege nur geringe Strecken unterhalb von 5 km umfassen, soll durch eine Förderung auch von Fahrradverleihsystemen die Nutzung von Fahrrädern für derartige Wegstrecken gefördert werden. Dazu gehören sowohl Fahrten zur Arbeitsstelle als auch in der Freizeit.

Darüber hinaus soll mit der Maßnahme auch eine erhöhte ÖPNV-Nutzung bewirkt werden. Viele Bürger sind aufgrund des zunehmenden Umweltbewusstseins bereit, ihr Verhalten umzustellen, wenn es die Gegebenheiten fordern. Dazu muss ihnen aber durch entsprechende Informationen und Beratung auch Gelegenheit gegeben werden. So kann allein der Hinweis auf eine aktuell erhöhte Schadstoffbelastung zu einem Umdenken führen.

Zur effektiven Umsetzung dieser Maßnahme sind folgende Untersuchungen vorgesehen:

- Analyse der bestehenden Angebote
- Entwicklung und Umsetzung gemeinsamer Informations- und Werbeaktivitäten
- Schaffung einer gemeinsamen digitalen Angebotsplattform
- Entwicklung eines integrativen Tarifangebots (Kernleistung: ÖPNV)
- Abstimmung von Vertriebsaktivitäten.

Dabei entwickeln die Kasseler Verkehrsgesellschaft (KVG), der Nordhessische Verkehrsverbund (NVV) sowie die Car-Sharing- und Bike-Sharinganbieter gemeinsame Konzepte.

### 8.3.2.3 ÖPNV-Integration bei (Groß-)Veranstaltungen

Kassel ist eine Stadt, die viele Veranstaltungen anbietet und dadurch nicht nur für die Einwohner von Kassel selbst, sondern auch für zahlreiche Besucher aus dem Umland in Bezug auf die Freizeit- und Unterhaltungsmöglichkeiten sehr attraktiv ist. Da an Veranstaltungstagen ein erhöhtes Verkehrsaufkommen zu verzeichnen ist, sollen Maßnahmen zur Reduzierung des Individualverkehrs umgesetzt werden. Dazu gehören:

- Die Integration von temporären Verkehren in das bestehende Tarif- und Bezahlssystem des ÖPNV.
- Der Vertrieb von Kombitickets, die explizit auf Veranstaltungsverkehre verweisen.

- Die Organisation von Pendelverkehren zwischen autobahnnahen Parkplätzen (Pendlerparkplätzen) und den Veranstaltungsorten.

### 8.3.2.4 Anschaffung von Lastenrädern

Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung des MIV ist die Nutzung von Lastenrädern. Sie ermöglichen es, Wege, bei denen eine Last zu transportieren ist, mit einem Lastenrad anstatt mit dem Pkw zu absolvieren. Die Erfahrung in anderen Ländern und Städten zeigt, dass hierdurch sogar häufig Ziele schneller erreichbar sind, da Staus vermieden werden können und Parkmöglichkeiten direkt vor Ort vorhanden sind.

Somit soll auf eine weitere klima- und ressourcenschonende Mobilitätsform aufmerksam, diese erfahrbar gemacht und das Mobilitätsverhalten nachhaltig beeinflusst werden.

Derzeit werden verschiedene Angebotsformen diskutiert:

- Leasing von Elektrorädern für städtische Mitarbeiter\*innen und Bürger\*innen
- Integration von Lastenrädern in betriebliches Mobilitätsmanagement
- Integration von Lastenrädern in bestehende Fahrradvermietssysteme
- Gewerblicher Verleih von Lastenrädern für Private und Gewerbebetriebe
- Freier Verleih elektrisch unterstützter Lastenräder

### 8.3.2.5 Verlegung des Fernbus-Bahnhofs

Bisher befindet sich der Fernbus-Bahnhof am ICE-Bahnhof Kassel-Wilhelmshöhe. Viele Reisebusse fahren damit täglich durch die Innenstadt von Kassel, wo die meisten der belasteten Straßenabschnitte liegen. Nachdem verschiedene neue Standorte untersucht wurden, hat sich der Bereich Platz der Deutschen Einheit / Ölmühlenweg als Vorzugsvariante herausgestellt.

Bereits mit Stand August 2016 wurden 96 Fernbusfahrten pro Tag gezählt, die seither weiter angestiegen sein dürften. Auch wenn aufgrund der hohen Laufleistung der Busse der Emissionsstandard der Reisebusse bereits überwiegend dem Euro-VI-Standard entsprechen dürfte, sind mit der hohen Anzahl an Busfahrten dennoch zusätzliche Emissionen verbunden. Mit einer Verlagerung des Busbahnhofs an den Stadtrand, nach Möglichkeit abseits von Wohngebieten und guter

Anbindung an das Bundesautobahnnetz, lassen sich diese Emissionen in der Stadt vermeiden.

### 8.3.2.6 Wirksamkeitsprognose „Mobilitätsmanagement“

Die Wirksamkeit des Maßnahmenpakets wurde am Beispiel der Fünffensterstraße untersucht. Dabei wurde eine Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes um 3 µg/m<sup>3</sup> am Beispiel der Fünffensterstraße berechnet.

## 8.3.3 Förderung stadtgerechter Mobilitätsformen

### 8.3.3.1 Durchführung von Image- und Informationskampagnen

Erfahrungsgemäß wird ein System umso mehr genutzt, je besser die Anwender darüber informiert sind, die Angebote auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten und leicht nutzbar sind.

Dazu gehören auch Informationen über individuell passende ÖPNV-Angebote und -Tarife, Car-Sharing- oder Fahrradverleihsysteme, Fußwege zur nächsten Tram-Haltestelle etc. Die Maßnahme verfolgt das Ziel, durch konkretes Marketing (u. a. Dialogmarketing, Information, Beratung, Werbung, Kampagnen) die Verlagerung von MIV-Fahrten auf den Fußverkehr (z. B. Schulwege), den Radverkehr (Freizeit-/Einkaufs-/Berufswege) und den ÖPNV (alle Wegearten) über unterschiedliche Kanäle (schriftlich, digital, persönlich) zu erreichen. Auch das Bewusstsein soll in diesem Zusammenhang in Richtung einer nachhaltigen Mobilitätskultur und Rücksichtnahme im Verkehr positiv beeinflusst werden.

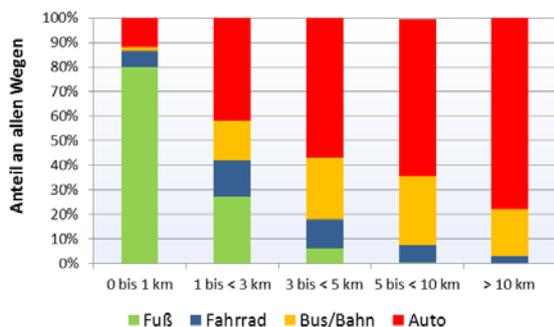
Dazu sind folgende Untersuchungen geplant:

- Aktive Mobilitätsberatung (Flyer, Taschenfahrpläne ÖPNV, Radwegekarten, Aktionstage, Beratung in Schulen, „Die KVG vor Ort“)
- Persönlicher Kundendialog – Dialogmarketing (in Haushalten)
- Verkehrssicherheitsprogramme mit Kommunen
- Regionale Image- und Informationskampagnen (zielgruppenspezifisch) für mehr Nahmobilität (Neubürgermarketing etc.)
- Wettbewerbe und Auszeichnungen (z.B. bike + business, Stadtradeln, Bike Challenge Nordhessen)
- Marken- und Sloganbildung für das ZRK-Gebiet

- Betrachtung der Entfernungen bis zu ÖV-Haltestellen
- Kommunikation/Erklärung/Beratung von Car-Sharing- und Bike-Sharing-Angeboten
- Mobilitätstraining mit Kindern, älteren Menschen, Behinderten etc.
- Bedarfsgerechte Anpassung des Tarifkonzeptes im ÖPNV

### 8.3.3.2 Erarbeitung eines Fußverkehrskonzeptes

Untersuchungen des Model Split, d.h. der Anteile der verschiedenen Verkehrsmittel (mobilisierter Individualverkehr, ÖPNV, Rad- und Fußverkehr) an den zurückgelegten Wegen zeigen, dass mehr als die Hälfte der Wege, nämlich 56%, unterhalb von 3 km liegt.



Weganteil Entfernung	28%	28%	18%	17%	9%
----------------------	-----	-----	-----	-----	----

Abb. 35: Verkehrsmittelwahl nach Entfernungsklassen in Kassel, Bezugsjahr 2015

Während Strecken bis zu einem Kilometer noch ganz überwiegend zu Fuß zurückgelegt werden, sinkt der Fußgängeranteil bei Wegen bis zu 2 km bereits auf weniger als die Hälfte, und ab 3 km nutzen die meisten bereits das Auto.

Unter Umständen wären mehr Menschen bereit, auch Wege über einen Kilometer zu Fuß zu bewältigen, wenn die Randbedingungen dafür vorhanden wären.

Um diese Randbedingungen zu verbessern sollen folgende Aspekte und Thematiken im Mittelpunkt einer Untersuchung stehen:

- Querungsstellen-Programm (grundsätzlich gibt es eine Vielzahl von anstehenden Querungsstellen-Projekten, die näher betrachtet und umgesetzt werden sollen),
- die Straßenbeleuchtung,
- der Winterdienst (Treppensperrungen, Räumung und Streuung von Gehwegen),

- die Optimierung der fußläufigen Erreichbarkeit zu Tram/Regio Tram durch Verbesserung der letzten Meile von/zu Haltestellen,
- eine Verbesserung der Durchwegbarkeit von Quartieren durch systematische Analyse und Ankauf von Potential/Vorhalteflächen für Fußwegeverbindungen „Gässchen-Programm“,
- die integrierte Betrachtung mit touristischen Wegeleitsystemen,
- Schulwegplanung (Entgegenwirken „Generation SUV“)

### 8.3.3.3 Kontinuierliche Evaluation und Fortschreibung des Verkehrsentwicklungsplans

Auch wenn ein Verkehrsentwicklungsplan (VEP) nur ca. alle 10 Jahre fortgeschrieben wird, stellt er doch die grundlegenden Weichen für die zukünftige Abwicklung des Verkehrs. Aufgrund moderner Erfassungstechnik könnten aktuelle Anforderungen schneller wie bisher in eine Fortschreibung des VEP münden.

Daher soll der VEP nicht als statisches Planwerk angesehen werden. Der VEP und die weiteren regionalen Planwerke und Datengrundlagen sollen nicht nur regelmäßig erstellt, weiterentwickelt und überarbeitet werden, sondern als kontinuierliche Diskussionsgrundlage dienen.

Weitere z. B. regionale Datengrundlagen und Planwerke neben dem VEP, die kontinuierlich erstellt, weiterentwickelt und überarbeitet werden sollen:

- Nahverkehrsplan
- Aktualisierung des Verkehrsmodells
- Regelmäßige repräsentative Befragungen (SrV-Befragungen)
- Kontinuierliche Verkehrsdatenerfassung mit Verbesserung des Systems der Erfassung und Auswertung
- Erarbeitung weiterer Planwerke wie z. B.: Fußgänger- und Radinfrastrukturzustandskarte

Es ist notwendig o.g. Planwerke bzw. Modelle fortzuschreiben und zu evaluieren, um verkehrliche Maßnahmenwirkungen messbar zu machen und schneller notwendige Anpassungen vorzunehmen.

### 8.3.3.4 *Wirksamkeitsprognose „Förderung stadtgerechter Mobilitätsformen“*

Die Wirksamkeit des Maßnahmenpakets wurde am Beispiel der Fünffensterstraße untersucht. Dabei wurde eine Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes um ca. 1,7 µg/m<sup>3</sup> am Beispiel der Fünffensterstraße berechnet.

### 8.3.4 *Förderung des Radverkehrs im Umland- und Binnenverkehr*

Das Fahrrad als abgasfreies und gesundheitsförderndes Fortbewegungsmittel ersetzt zunehmend kürzere Fahrstrecken dort, wo die Voraussetzungen für eine sichere Fahrt – ohne Gefährdung durch den Autoverkehr – möglich sind, gute Anbindungen existieren und wo die Infrastruktur wie z.B. ausreichend Abstellanlagen vorhanden ist.

#### 8.3.4.1 *Ausbau und Attraktivitätssteigerung des Radverkehrs im Binnenverkehr des Stadtnetzes (Schwerpunkt 3-10 km Wegelänge)*

Die einheitliche Radwegweisung von Fahrradstraßen im Stadtnetz soll insbesondere die Radnutzung fördern und die Sichtbarkeit der Radfahrer im Verkehr erhöhen. Dazu sollen folgende Aspekte umgesetzt werden:

- Straßenmarkierungen, Radfahrstreifen und Schutzstreifen entlang von Hauptverkehrsstrecken
- Piktogramme auf der Fahrbahn
- Einheitliche Ausgestaltung der Fahrradstraßen
- Bereitstellung von sicheren und komfortablen Radverkehrsanlagen an Hauptverkehrsstraßen
- Weiterentwicklung des Bike & Ride – Angebotes
- Ausbau von Abstellanlagen
- Lückenschluss zwischen Radwegen
- Kontinuierliche Führung des Radverkehrs (Konflikte zwischen Fuß- und Radverkehr vermeiden)
- Nebenstraßen als komfortable durchgängige Routen gestalten (insbesondere auch im Umland von Schulen und Kindergärten)

- Sichere Gestaltung von durch LSA gesteuerten Kreuzungen für den Fuß- und Radverkehr
- Kampagnen zur besseren Akzeptanz des Radverkehrs

Das Radforum Region Kassel setzt sich u. a. für die Einführung und Umsetzung des bundeseinheitlichen Wegweisungssystems für das kommunale Radroutennetz ein.

#### 8.3.4.2 *Einrichtung und Ausbau von Raddirektverbindungen zur Verbesserung der Erreichbarkeit für Pendler (Schwerpunkt 10-25 km Wegelänge)*

Insbesondere der Berufsverkehr aus dem Umland der Stadt Kassel, dessen MIV-Anteil 40 Prozent am städtischen Modal Split ausmacht, kann durch zügige, komfortable und sichere Verkehrsverbindungen für den Radverkehr gewonnen werden. Derzeit beträgt der Anteil der Radfernpendler 8%. Ein großes Ausbaupotenzial liegt in den folgenden Routen:

- Raddirektverbindung Baunatal – Kassel
- Raddirektverbindung Kaufungen – Kassel
- Raddirektverbindung Vellmar – Kassel

In den direkten Umlandkommunen Baunatal, Vellmar und Kaufungen (mit Verlängerung nach Helsa) ist eine intensive Nutzung der geplanten Raddirektverbindungen wahrscheinlich. Hierbei sollte nicht nur der Ausbau der eigentlichen Raddirektverbindungen betrachtet werden, sondern auch die „letzte Meile“ bis zum ÖPNV. Ist die „letzte Meile“ bis zum ÖPNV für den Radverkehr vernünftig ausgebaut, kann auch der Weg bis zum ÖPNV mit dem Fahrrad zurückgelegt werden. Damit einhergehend sollten sichere Radabstellanlagen installiert werden, um die Attraktivität, den Weg bis zum ÖPNV mit dem Fahrrad zu absolvieren, zu steigern.

Der ZRK hat 2018 eine Machbarkeitsstudie für Raddirektverbindungen im ZRK-Gebiet erstellen lassen. Insgesamt wurden ca. 32 km Streckenlänge untersucht. Gleichzeitig unterstützt das Markthoch für elektrifizierte Fahrräder die Erweiterung des Fahrradnutzungsradius.

Auch soll der Bau von „Park + Bike“ - Parkplätzen thematisiert werden. Darüber hinaus können Konzepte der Rad- und ÖPNV-Erschließung in Gewerbegebieten unter Berücksichtigung der Schichtwechsel von im Umland angesiedelten Unternehmen betrachtet werden.

#### **8.3.4.3 Wirksamkeitsprognose „Förderung des Radverkehrs im Umland- und Binnenverkehr“**

Die Wirksamkeit des Maßnahmenpakets wurde am Beispiel der Fünffensterstraße untersucht. Dabei wurde eine Minderung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwertes um ca. 1,5 µg/m<sup>3</sup> am Beispiel der Fünffensterstraße berechnet.

#### **8.3.5 Förderung des Schienengebundenen Personennahverkehrs (SPNV)**

Ziel ist hierbei die Verlagerung von Wegen, die bisher mit dem privaten Kfz zurückgelegt werden, auf den ÖPNV und das Ersetzen von Dieselbussen durch lokal emissionsfreie Straßenbahnen.

Dazu sind generell folgende Arbeitsschritte geplant:

- Machbarkeitsstudien
- Nutzen-Kosten-Untersuchung
- Antrag: Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz (GVFG)
- Ausführungsplanung
- Bau

#### **8.3.5.1 Potenzialstudie für den Bau von Schienenstrecken**

Folgende Korridore sollten betrachtet werden:

- Anbindung der Gemeinde Fuldaatal durch Verlängerung der Tramstrecke von der Ihringshäuser Straße in den Ortsteil Ihringshausen
- Anbindung der Gemeinde Lohfelden durch Verlängerung einer möglichen Tramstrecke nach Waldau oder durch Neubau einer Strecke im Korridor Leipziger Straße – Forstfeld – Lohfelden
- Haltestellenkonzept Innenstadt – Prüfung von Realisierungsoptionen für metrobusähnliche Systeme. Diesbezüglich sollen beispielsweise Tangentialbuslinien insbesondere für die Königsstraße und die Haltestelle Stern (Untere Königsstraße und Kurt-Wolters-Straße) betrachtet werden und ob man diese mit Großbussen realisieren kann

#### **8.3.5.2 Tramanbindung der Stadtteile Rothenditmold und Harleshausen**

Bei einer Umsetzung wären gemäß Nahverkehrsplan folgende Eckpunkte zu beachten:

- Anbindung an das bestehende Tramnetz im Bereich Lutherplatz
- Ausreichende Bemessung der Strecken- und Haltestelleninfrastruktur für den Einsatz von Doppeltraktionen und 2,65 m breiten Fahrzeugen
- Führung durch die potenzialstarken Bereiche entlang der Wolfhager Straße
- Ausbau einer funktionalen Umsteigeinfrastruktur am potenziellen Endhaltepunkt in Harleshausen
- Prüfung leistungsfähiger Metro-Bus-Linien als Alternative

#### **8.3.5.3 Tramanbindung des Stadtteils Waldau**

Bei einer Umsetzung wären gemäß Nahverkehrsplan folgende Eckpunkte zu beachten:

- Ausschöpfung der vorhandenen Einsparpotenziale durch Nutzung vorhandener Trassen
- Ausreichende Bemessung der Strecken- und Haltestelleninfrastruktur für den Einsatz von Doppeltraktionen und / oder Regio-Tram-Fahrzeugen
- Reibungslose Einbindung in die Abläufe der Knoten Rathauskreuzung, Am Stern, Altmarkt und Platz der deutschen Einheit
- Führung durch die potenzialstarken Bereiche der Wohnstadt Waldau
- Ausbau einer funktionalen Umsteigeinfrastruktur am Endhaltepunkt in Waldau
- Prüfung leistungsfähiger Metro-Bus-Linien als Alternative
- Ggf. Prüfung einer weiteren Streckenverlängerung

#### **8.3.5.4 Reaktivierung Herkulesbahn**

Bei einer Umsetzung wären gemäß Nahverkehrsplan folgende Eckpunkte zu beachten:

- Streckenführung ab der heutigen Endhaltestelle Druseltal auf der alten Trasse der Herkulesbahn über Neuholland, von dort nach Norden entlang der Drusel bis zum Herkules

- Eingleisiger Ausbau
- Einbettung in ein touristisches und verkehrliches Gesamtkonzept
- Vermarktung im Rahmen dieses Konzepts

### 8.3.5.5 Elektrifizierung der Bahnstrecke von Vellmar nach Wolfhagen

Bisher sind die Züge zwischen dem Kasseler Hauptbahnhof und Wolfhagen mit Dieselantrieb unterwegs, da der Abschnitt von Vellmar nach Wolfhagen nicht elektrifiziert ist.

Die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zeigen, dass der bisher von Diesel-Regiotrams befahrene Streckenabschnitt, elektrifiziert werden kann. Jetzt muss die Finanzierung geklärt werden, bevor konkrete Planungen erfolgen können.

### 8.3.5.6 Wirksamkeitsprognose „Förderung des Schienengebundenen Personennahverkehrs“

Auch hier wurde die Wirksamkeit des Maßnahmenpakets am Beispiel der Fünffensterstraße untersucht. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass sich die Umsetzung der Maßnahmen – sofern überhaupt eine Realisierung möglich erscheint – noch über viele Jahre hinziehen wird. Die unter den derzeitigen Gegebenheiten berechnete Minderungswirkung von ca. 3,2 µg/m<sup>3</sup> Stickstoffdioxid wird aufgrund des dann deutlich veränderten Abgasverhaltens der Fahrzeugflotte nicht mehr zutreffen.

### 8.3.6 Umstellung der Fahrzeugflotte auf emissionsfreie/-arme Antriebstechnologie

Bisher tragen die Verbrennungsmotoren in mehr oder minder großem Umfang ganz wesentlich zur Schadstoffbelastung bei. Wie hoch diese Anteile sind wird im Kap. 5.4 dargelegt.

#### 8.3.6.1 Sektorübergreifende Planungsoptimierung für ein E-Bus-Szenario und Umsetzung der Roadmap E-Bus im Stadtverkehr Kassel

Angestrebt wird die Erstellung einer Roadmap für ein E-Bus-Szenario für Kassel unter Einbeziehung aller wichtigen Akteure.

Dazu sollen erfolgen:

- Technologieanalyse: einsetzbare E-Bus-Systeme inkl. Ladeinfrastruktur
- Bewertung der ökonomischen Parameter unter Einbeziehung der Betriebshof- und Ladeinfrastruktur
- Erstellung eines Lastenhefts für Busse, Strecken, Umlauf- und Dienstplanung sowie Ladeinfrastruktur
- Entwicklung E-Bus-Szenario für Kassel
- E-Bus Roadmap für Kassel

In einem zweiten Schritt ist die Umstellung der Fahrzeugflotte und der dazugehörigen stationären Infrastruktur auf den E-Bus-Einsatz zu planen. Details dazu sind:

- Die Umstellung des Betriebshofs
- Der Aufbau der Ladeinfrastruktur
- Die Beschaffung der Busse

Neben der elektrischen Antriebsform können weitere Antriebe wie Wasserstoff, Gas etc. in Betracht gezogen werden.

#### 8.3.6.2 Energie- und Standortkonzept für Ladeinfrastruktur

Elektrofahrzeuge können stark zu einer Reduzierung der Luftbelastungen durch Verkehrsabgase und zu einer Lärmreduktion in Städten beitragen. Für die Stadt Kassel gibt es bisher kein konkretes Elektromobilitätskonzept. Die Stadtwerke Union Nordhessen GmbH & Co. KG (SUN) hat eine Mengengerüstberechnung für ein übergreifendes Regionalkonzept vorgenommen, hierbei wird die Stadt Kassel aber nur als ein Bestandteil und dementsprechend teilweise adressiert. Um eine Entscheidungsgrundlage für den Ausbau der Ladeinfrastruktur und für eine Umstellung des städtischen Fuhrparks auf Elektrofahrzeuge zu haben, bedarf es einem Handlungskonzept für:

- Einen bedarfsorientierten und vorausschauenden Ausbau der E-Ladeinfrastruktur.
- Die Integration der Ladeinfrastruktur in ein langfristiges, städtebauliches Konzept der Stadt Kassel.
- Die Entwicklung und Erprobung von Abrechnungsmodellen und Maßnahmen zur Steuerung der Verweildauer an den Ladesäulen im Hinblick auf einen effizienten Betrieb der Ladeinfrastruktur.

Ziel hierbei ist folglich die Bereitstellung einer adäquaten, öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur als Voraussetzung für den Einsatz von

Fahrzeugen mit lokal emissionsfreien Elektroantrieben. Es soll dabei beachtet werden, dass es nicht darum geht, Ladeinfrastruktur in Massen im öffentlichen Verkehrsraum zu installieren, sondern vorzugsweise in Tiefgaragen, auf Parkplätzen des Einzelhandels, an Arbeitsstätten etc.

### **8.3.6.3 Fahrzeugvorhaltung Bus mit alternativen Antrieben inkl. Aufbau von Tank- und Ladeinfrastruktur**

Im Regionalverkehr mit Bussen ist der Einsatz von z.B. E- oder Wasserstoffbussen über die Ausschreibung der Verkehrsleistung schwierig, da Fördermittel die Bewertung erschweren. Zudem besteht die Gefahr, dass bei deutlich teureren Fahrzeugen mittelständische Unternehmen einen Nachteil erhalten, da sie schlechtere Kreditbedingungen haben.

Ein Fahrzeugpooling kann durch höhere Stückzahlen günstigere Anschaffungspreise erreichen, gezielter gefördert werden und ein existenzgefährdendes Risiko von (mittelständischen) Unternehmen fernhalten.

In einem ersten Schritt sind ca. 25 Gelenkbusse mit Wasserstoff und/oder E-Antrieb vorgesehen, die auf den Stadtumlandlinien 37, 52 und 100, die aktuell mit „Diesel Euro 5 EEV“ fahren, eingesetzt werden sollen.

Für den Einsatz von E- oder Wasserstoffbussen ist eine Tank-, bzw. Ladeinfrastruktur notwendig. Im Wasserstoffbereich wären dafür etwa drei Tankstellen, die sich im Norden, Osten und Süden der Stadt Kassel befinden sollten, notwendig. Im besten Fall wird Wasserstoff aus überschüssiger (Nacht-)energie der Windparks Söhre/Nieste/Schauenburg erzeugt. Im reinen Akkubetrieb wären Schnellladestationen notwendig, hier – aufgrund der geringeren Kilometerleistung – an mehreren Stellen (z.B. Flughafen Kassel, Bahnhof Wilhelmshöhe).

### **8.3.6.4 Umstellung des städtischen Fuhrparks auf schadstoffarme Fahrzeuge**

Die Fahrprofile von Dienstwegen weisen grundsätzlich ideale Voraussetzungen für die Nutzung

von Elektrofahrzeugen auf. Die systematische Umstellung einer Flotte ist ein strategisches Thema, was querschnittlich ämterübergreifend angegangen werden muss. Der Ersatz von Altfahrzeugen durch vorzugsweise (z. T.) elektrisch betriebene Pkws stellt einen guten Ansatz dar, eine Flotte kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum zu verändern. Darüber hinaus kann die Stadtverwaltung authentisch in ihrer Vorbildfunktion für lokale Flottenbetreiber (Taxi-/Pflegerdienste etc.) fungieren und mit einem guten Beispiel vorangehen. Dabei sollen drei Ziele erreicht werden:

- Bedarfsgerechte Reduzierung der Fuhrparkgröße zugunsten der Wirtschaftlichkeit
- Erstellung eines Fahrzeugbeschaffungsprogramms, insb. bei Neuanschaffungen
- Verlagerung von Dienstwegen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren auf Verkehrsmittel des Umweltverbands und Fahrzeuge mit lokal emissionsfreiem Antrieb

Im Vorfeld sind dazu folgende Schritte erforderlich:

- Analyse der Dienstwege mit Hilfe eines GPS-gestützten Analysetools
- Bewertung der mobilitätsrelevanten und ökonomischen Parameter
- Entwicklung eines nachhaltigen Dienstwegekonzepts
- Ggf. Beschaffung von E-Fahrzeugen

### **8.3.6.5 Wirksamkeitsprognose „Umstellung der Fahrzeugflotte auf emissionsfreie/-arme Antriebstechnologie“**

Lediglich die Maßnahmen 8.3.6.1 und 8.3.6.2 wirken sich direkt auf die Fünffensterstraße aus. Die Minderungswirkung beträgt dabei ca. 1,4 µg/m<sup>3</sup>.

### **8.3.7 Maßnahmenüberblick und Prognose**

Die Wirksamkeit der vorgesehenen Maßnahmenpakete wird in Abb. 36 nochmals dargestellt.

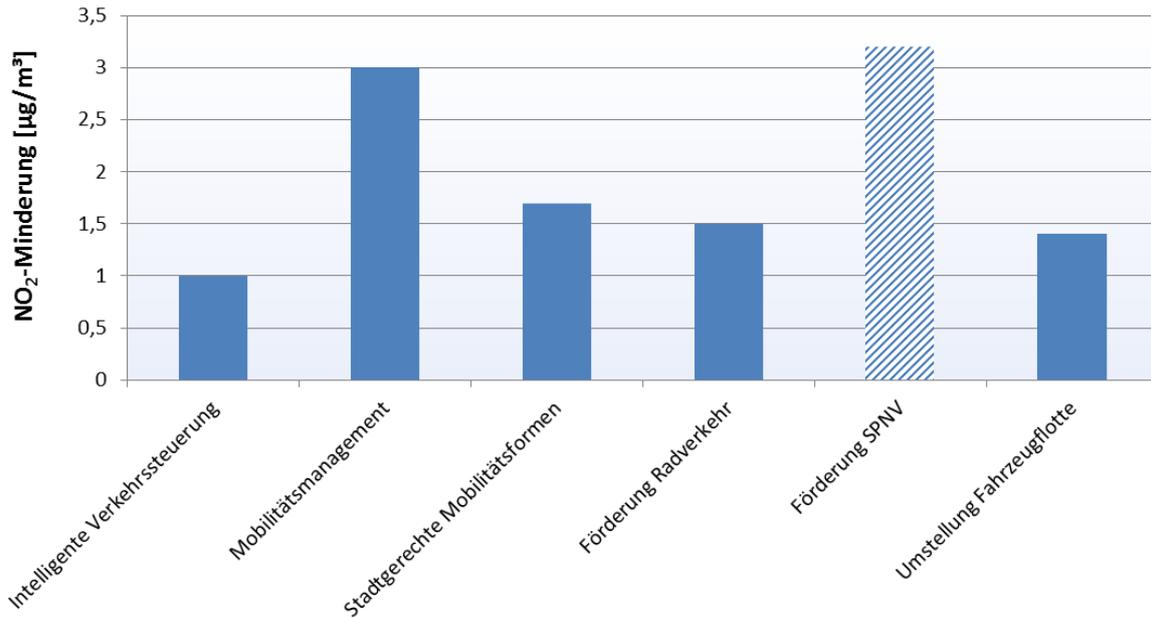


Abb. 36: Berechnete NO<sub>2</sub>-Minderungswirkung der vorgesehenen Maßnahmen am Beispiel der Fünfensterstraße; HBEFA 3.3

Auch wenn die Maßnahmen nur sukzessive umgesetzt werden, kann damit sichergestellt werden, dass der Immissionsgrenzwert von

Stickstoffdioxid in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> auch künftig sicher eingehalten werden kann.

## 9 Behandlung der Einwendungen

Sofern Einwendungen nicht zu einer Planänderung geführt haben, wird hier erläutert, welche Gründe für diese Einschätzung ausschlaggebend waren.

### 9.1 Fokussierung nur auf Stickoxide

Bemängelt wird, dass sich der Luftreinhalteplan und die darin enthaltenen Maßnahmen nur auf den Luftschadstoff Stickstoffdioxid und nicht auf Feinstaub beziehen.

Wie in Kap. 4.1 ausgeführt zeigen die Messungen der verschiedenen Luftschadstoffe in Kassel eine Einhaltung der festgelegten Immissionsgrenzwerte. Das gilt für Feinstaub (PM<sub>10</sub>) bereits seit dem Jahr 2005, für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) seit 2017, wobei der Grenzwert hier nur knapp eingehalten wird.

Feinstaub, vor allem in seiner feineren Fraktion PM<sub>2,5</sub>, ist nachweislich in Bezug auf seine Auswirkungen auf die Gesundheit schädlicher als NO<sub>2</sub>. Daher plädiert die Weltgesundheitsorganisation auch seit Jahren für eine deutliche Senkung des Immissionsgrenzwertes. Auch wenn es für den Luftschadstoff keine Wirkungsschwelle gibt, werden Grenzwerte für PM<sub>10</sub> in Höhe von 20 µg/m<sup>3</sup> und für PM<sub>2,5</sub> von 10 µg/m<sup>3</sup> empfohlen. Im Jahr 2019 (Januar bis einschließlich September) kam es in Kassel zu drei Überschreitungen des Tagesmittelwertes von PM<sub>10</sub> und einem Mittelwert von 21,3 µg/m<sup>3</sup>. Das liegt bereits sehr nahe an der Empfehlung der Weltgesundheitsorganisation und weit unterhalb des immer noch geltenden Immissionsgrenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> bzw. 5 zulässigen Überschreitungen des Tagesmittelwertes pro Jahr.

Die Maßnahmen in Luftreinhalteplänen sind i.d.R. belastende Maßnahmen, d.h. es müssen zu ihrer Umsetzung zusätzliche Anstrengungen unternommen werden, die bestenfalls nur eine finanzielle Belastung bedeuten. Solche Belastungen können aber nur dann gefordert werden, wenn es einen gesetzlichen Anspruch auf Umsetzung entsprechender Maßnahmen gibt. Mit der Einhaltung der Immissionsgrenzwerte entfällt dieser Anspruch.

Die Belastungssituation mit Feinstaub hat sich nach der serienmäßigen Einführung von Partikelfiltern in Dieselfahrzeugen deutlich verbessert. Das zeigt sich an den seither rückläufigen Schadstoffkonzentrationen. Im Gegensatz zu Stickstoffdioxid stammt Feinstaub jedoch nicht überwiegend aus der Verbrennung, sondern hat auch

viele natürlichen Ursachen wie z.B. Saharastaubepisoden oder überhaupt Bodenverwehungen von brachliegenden Feldern und Grundstücken. Den höchsten Anteil an der derzeitigen Feinstaubbelastung haben die Emissionen aus den so genannte Wohlfühlkaminen bzw. aus Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Für sie gelten Emissionsgrenzwerte nach der Verordnung für kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV. Die Vorgaben dieser bundesweiten Verordnung können nicht durch Maßnahmen eines Luftreinhalteplans verschärft werden.

Obwohl die in diesem Luftreinhalteplan festgelegten Maßnahmen vor allem zur Verbesserung der Stickstoffdioxidbelastung festgelegt wurden, werden sie auch zu einer weiteren Reduzierung der Feinstaubbelastung beitragen. Das betrifft insbesondere die Maßnahmen, die zur Verringerung des Verkehrsaufkommens vorgesehen sind. Da Reifen- und Bremsabrieb inzwischen einen deutlich höheren Anteil als die Abgasemissionen an der verkehrsbedingten Feinstaubbelastung aufweisen, ist damit zu rechnen, dass sich mit Umsetzung dieser Maßnahmen auch bei der Feinstaubbelastung Verbesserungen zeigen werden.

### 9.2 Fehlende Berücksichtigung geplanter Projekte

(Bau-)Planungsrechtliche Projekte, die zu einer Verschlechterung der Durchlüftung führen oder neue Emissionsquellen beinhalten, können im Rahmen der Luftreinhalteplanung nicht berücksichtigt werden.

Die Luftreinhalteplanung hat nach den Vorgaben des Bundes-Immissionsschutzgesetzes die Aufgabe, bei (nachgewiesener) Überschreitung von Immissionsgrenzwerten die erforderlichen Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen festzulegen (§ 47 Abs. 1 BImSchG). Das trifft auf Planungsprozesse nicht zu.

Dagegen muss in den jeweiligen Planungsprozessen eine Prognose erfolgen, wie sich u.a. die lufthygienische Situation im Falle der Realisierung des Vorhabens darstellt. D.h., es ist Aufgabe der Planungsverantwortlichen dafür zu sorgen, dass es nicht zu einer unzulässigen Verschlechterung kommt.

Vor allem in Planfeststellungsverfahren werden negative Auswirkungen von Vorhaben den positiven Auswirkungen gegenübergestellt und eine Abwägung vorgenommen. In der Vergangenheit

hat das häufig dazu geführt, dass die mit der Umsetzung des Vorhabens zu erwartende hohe Schadstoffbelastung in Kauf genommen wurde. Deren Verbesserung sollte dann im Rahmen einer Luftreinhalteplanung erfolgen, was häufig nicht mehr möglich ist, da die Voraussetzungen dafür nicht mehr gegeben sind.

### 9.3 Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduzierungen auf die Schadstoffbelastung

Die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf die Schadstoffbelastung ist nicht generell als schadstoffmindernde Maßnahmen anzusehen. Hier unterscheiden sich die Lärmaktionsplanung und die Luftreinhalteplanung.

Während eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit bei höheren Geschwindigkeiten auch schadstoffmindernd auswirken kann, hängt die Wirkung bei geringen Geschwindigkeiten vom Einzelfall ab.

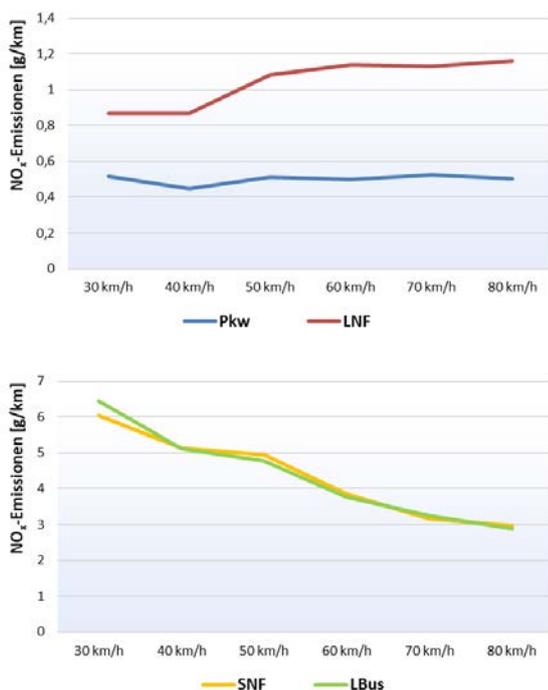


Abb. 37: NO<sub>x</sub>-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkategorien bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten; HBEFA 4.1, innerorts, Hauptverkehrsstraße, gesättigter Verkehr, Bezugsjahr 2019

Insbesondere schwere Nutzfahrzeuge wie Lkw ab 3,5 t (SNF) und Linienbusse (LBus) emittieren bei geringeren Geschwindigkeiten deutlich mehr NO<sub>x</sub> als bei höheren Geschwindigkeiten. Pkw, die i.d.R. ca. 90% des Verkehrsaufkommens ausmachen, emittieren bei 30 und 50 km/h gleich viel NO<sub>x</sub>, während bei 40 km/h die Emissionen geringfügig darunter liegen. Leichte Nutzfahrzeuge bis 3,5 t (LNF) emittieren bei 30 und 40 km/h deutlich weniger NO<sub>x</sub>, haben am Gesamtverkehrsaufkommen jedoch nur einen geringen Anteil.

Aus der Erfahrung heraus hat sich gezeigt, dass in Straßen mit einem hohen Lkw-Aufkommen oder gutem Verkehrsfluss Geschwindigkeitsverringerungen eher kontraproduktiv im Hinblick auf die Schadstoffverringerung sind. Vor allem eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h scheint für eine Verbesserung der Luftqualität weniger effektiv zu sein als eine Beschränkung auf 40 km/h.

Unbestritten wirkt sich eine Geschwindigkeitsbeschränkung positiv auf die Lärmemissionen der Fahrzeuge aus. Da vor allem nachts der Lärm auf ein Mindestmaß reduziert werden sollte, sind geringfügig höhere Schadstoffemissionen den deutlich verringerten Lärmemissionen vorzuziehen, vor allem da das Verkehrsaufkommen nachts sehr viel geringer ist als am Tag. Soll jedoch eine Geschwindigkeitsbeschränkung auf tagsüber angesetzt werden, sollte dies nur an den Hauptverkehrsstraßen erfolgen, wo keine Überschreitungen von Grenzwerten vorliegen.

### 9.4 Modellierung der Ysenburgstraße

Angeregt wurde eine Modellierung der Ysenburgstraße, da dort auch NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen stattgefunden haben.

Die Ysenburgstraße wurde aufgrund ihres hohen Verkehrsaufkommens tatsächlich modelliert, war aber in der Darstellung der Abb. 30 vergessen worden.

Für den Analysenullfall 2018 betrug der modellierte NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 36,5 µg/m<sup>3</sup>. Der im Zeitraum April bis einschließlich Dezember 2018 gemessene Wert lag bei 35,9 µg/m<sup>3</sup>. Die Abbildung wurde entsprechend ergänzt.

## 10 Quellen

- [1] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), zuletzt geändert durch Verordnung vom 18. Juli 2018 (BGBl. I S. 1222)
- [2] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa – Luftqualitätsrichtlinie vom 11. Juni 2008 (ABl. L 152, S. 1 – 44)
- [3] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Gesetz vom 18. Juli 2017 (BGBl. I S. 2771)
- [4] Umweltbundesamt; <https://www.umweltbundesamt.de/no2-krankheitslasten>; abgerufen am 20. Dezember 2018
- [5] Prof. Dr. Dieter Köhler, Feinstaub und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>): Eine kritische Bewertung der aktuellen Risikodiskussion; Dtsch. Arztebl. 2018; 115(38): A-1645 / B-1387 / C-1375; [https://www.aerzteblatt.de/archiv/200863/Feinstaub-und-Stickstoffdioxid-\(NO-sub-2-sub-\)-Eine-kritische-Bewertung-der-aktuellen-Risikodiskussion](https://www.aerzteblatt.de/archiv/200863/Feinstaub-und-Stickstoffdioxid-(NO-sub-2-sub-)-Eine-kritische-Bewertung-der-aktuellen-Risikodiskussion); abgerufen am 21. Dezember 2018
- [6] WDR; Wie gefährlich sind Stickoxide? Das sagt die Wissenschaft; <https://www1.wdr.de/wissen/technik/abgasalarm/stickoxid-das-sagt-die-wissenschaft-100.html>; abgerufen am 20. Dezember 2018
- [7] Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP; <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaap-project-final-technical-report>
- [8] Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE; <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project.-new-emerging-risks-to-health-from-air-pollution-results-from-the-survey-of-experts>
- [9] Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V. – Nationale Akademie der Wissenschaften, Saubere Luft – Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen (2019), <https://www.leopoldina.org/publikationen/detailansicht/publication/saubere-luft-stickstoffdioxid-und-feinstaub-in-der-atemluft-grundlagen-und-empfehlungen-2019/>
- [10] Hessisches Statistisches Landesamt, <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten>
- [11] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, ABl. L 163/41
- [12] Verordnung über Zuständigkeiten nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz, dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, dem Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz, dem Gesetz zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzung und -verbringungsregister und dem Benzinbleigesetz (Immissionsschutz-Zuständigkeitsverordnung – ImSchZuV) vom 26. November 2014 (GVBl. 2014, S. 331), zuletzt geändert durch Verordnung vom 13. März 2019 (GVBl. 2019, S. 42)
- [13] Ausbreitungsberechnungen zur flächendeckenden Ermittlung der Luftqualität in Hessen als Grundlage der Luftreinhalteplanung. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) vom Januar 2017
- [14] IMMIS<sup>em/luft</sup>; IVU Umwelt GmbH, Freiburg
- [15] ODEN – „On Demand Environmental Analysis“; NGIS China, Ltd. Hong Kong / Stapfeldt Ingenieurgesellschaft mbH, Dortmund
- [16] Yamartino, R. J.; Wiegand, G. (1986): Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmospheric Environment Vol. 20; S. 2137 – 2156; Pergamon Journals Ltd.; Großbritannien
- [17] Eichhorn, Dr. J.; Arbeitsgruppe Stadtklima; Institut für Physik der Atmosphäre; Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
- [18] Emissionskataster Hessen, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie,

- <http://www.hlnug.de/start/luft/emissionskataster.html>
- [19] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen und Emissionsberichte - 11. BImSchV) in der Fassung vom 5. März 2007 (BGBl. I S. 289), zuletzt geändert durch Verordnung vom 2.5.2013 (BGBl. I S. 1021)
- [20] Fünfte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz - Emissionskataster in Untersuchungsgebieten (5. BImSchVwV) Vom 24. April 1992 (GMBI. S. 317, ber. GMBI. 1993, S. 343)
- [21] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes 4. BImSchV - Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 2. Mai 2013 (BGBl. I, S. 973 (3756)), neugefasst durch Bekanntmachung vom 31.5.2017 (BGBl. I S. 1440)
- [22] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002, GMBI. S. 511
- [23] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) in der Fassung vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), zuletzt geändert durch Gesetz vom 10.3.2017 (BGBl. I S. 420)
- [24] Verkehrsmengenkarten Hessen 2015 [http://verwaltung.hessen.de/irj/HSV\\_V\\_Inter-net?rid=HMWVL\\_15/HSV\\_V\\_Inter-net/sub/9c3/9c37501f-e07c-431f-012f-31e2389e4818,,22222222-2222-2222-2222-222222222222.htm](http://verwaltung.hessen.de/irj/HSV_V_Inter-net?rid=HMWVL_15/HSV_V_Inter-net/sub/9c3/9c37501f-e07c-431f-012f-31e2389e4818,,22222222-2222-2222-2222-222222222222.htm)
- [25] HBEFA - Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 4.1, September 2019; Umweltbundesamt, Berlin (Deutschland), Bundesamt für Umwelt, Bern (Schweiz), Umweltbundesamt, Lebensministerium und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien (Österreich), Trafikverket (Schweden), ADEME (Frankreich), SFT (Norwegen), JRC (Joint Research Center der Europäischen Kommission)
- [26] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) vom 17. Dezember 2010 (ABl. L 334 S. 17)
- [27] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen - 13. BImSchV) in der Fassung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1023, (3754)), zuletzt geändert durch Verordnung vom 19.12.2017 (BGBl. I S. 4007)
- [28] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes – Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV – in der Fassung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1044, (3754))
- [29] Verordnung (EU) Nr. 582/2011 der Kommission vom 25. Mai 2011 zur Durchführung und Änderung der Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro VI) und zur Änderung der Anhänge I und III der Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2011 (ABl. L 167 S. 1)
- [30] Verordnung (EU) 2016/427 der Kommission vom 10. März 2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 6) 18. Juli 2008
- [31] Verordnung (EU) 2016/646 der Kommission vom 20.04.2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 692/2008 hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 6) vom 26.04.2016, ABl. L 109 S. 1
- [32] Bundesverwaltungsgericht, Urteil vom 27. Februar 2018, 7 C 30.17, VG 13 K 5412/15
- [33] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Konzept für saubere Luft und die Sicherung der individuellen Mobilität in unseren Städten; <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/K/konzept-klarheit-fuer-dieselfahrer.html>; abgerufen am 9. Oktober 2018

## 11 Anhänge

### 11.1 Begriffsbestimmungen

#### *Ballungsraum*

... ist ein Gebiet mit mindestens 250.000 Einwohnern, das aus einer oder mehreren Gemeinden besteht oder ein Gebiet, das aus einer oder mehreren Gemeinden besteht, welche jeweils eine Einwohnerdichte von 1.000 Einwohnern oder mehr je Quadratkilometer bezogen auf die Gemarkungsfläche haben und die zusammen mindestens eine Fläche von 100 Quadratkilometern darstellen.

#### *Beurteilung*

... ist die Ermittlung und Bewertung der Luftqualität durch Messung, Rechnung, Vorhersage oder Schätzung anhand der Methoden und Kriterien, die in der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) [1] genannt sind.

#### *Emissionen*

... sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

#### *Gebiet*

... ist ein von den zuständigen Behörden festgelegter Teil der Fläche eines Landes im Sinne des § 1 Nr. 9 der 39. BImSchV [1].

#### *Immissionen*

... sind auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

#### *Immissionsgrenzwert*

... ist ein Wert für einen bestimmten Schadstoff, der nach den Regelungen der §§ 2 bis 9 der 39. BImSchV [1] bis zu dem dort genannten Zeitpunkt einzuhalten ist und danach nicht überschritten werden darf.

#### *Immissionskenngrößen*

... kennzeichnen die Höhe der Vorbelastung, der Zusatzbelastung oder der Gesamtbelastung für den jeweiligen luftverunreinigenden Stoff.

#### *Kurzzeitkenngröße*

... beschreibt den im Vergleich zu einer Langzeitkenngröße wie z. B. den Jahresmittelwert für den jeweiligen Luftschadstoff spezifisch festgesetzten kurzzeitig einzuhaltenden Immissionsgrenzwert wie z. B. Stunden- oder Tagesmittelwert.

#### *Luftverunreinigungen*

... sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.

#### *PM<sub>10</sub>*

... sind die Partikel, die einen grö ßenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

#### *PM<sub>2,5</sub>*

... sind die Partikel, die einen grö ßenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

#### *Toleranzmarge*

... bezeichnet einen in jährlichen Stufen abnehmenden Wert, um den der Immissionsgrenzwert bis zur jeweils festgesetzten Frist überschritten werden darf, ohne die Erstellung von Plänen zu bedingen.

#### *Zielwert*

... ist die nach Möglichkeit in einem bestimmten Zeitraum zu erreichende Immissionskonzentration, die mit dem Ziel festgelegt wird, die schädlichen Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhindern oder zu verringern.

## 11.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Abgrenzung des Ballungsraums Kassel
- Abb. 2: Messstandorte und -zeiträume in Kassel
- Abb. 3: Messstandorte in Kassel
- Abb. 4: Verkehrsnahe Luftmessstation Kassel Fünffensterstraße
- Abb. 5: Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte
- Abb. 6: Darstellung der durch den lokalen, d.h. straßenbezogenen Fahrzeugverkehr verursachten räumlichen Zusatzbelastung von NO<sub>2</sub> am Beispiel Fünffensterstraße; MISKAM-Berechnung [vgl. 4.2.3] ] mit Bebauung (obere Abbildung) und ohne Bebauung (untere Abbildung)
- Abb. 7: Geländeschnitt durch den Ballungsraum Kassel
- Abb. 8: Höhenprofil des Kasseler Beckens mit dem Verlauf der Autobahnen
- Abb. 9: Windverteilung an der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte im Zeitraum Januar 2016 bis Dezember 2018
- Abb. 10: Entwicklung der PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte Kassel
- Abb. 11: Entwicklung der Anzahl an Überschreitungen des PM<sub>10</sub>-Tagesmittelwertes
- Abb. 12: Entwicklung der PM<sub>2,5</sub>-Belastung in Kassel
- Abb. 13: Entwicklung der Schwefeldioxid-(SO<sub>2</sub>) und Benzolbelastung in Kassel
- Abb. 14: Entwicklung der Ozonbelastung in Kassel
- Abb. 15: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Konzentration in Kassel
- Abb. 16: Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in Kassel
- Abb. 17: Zusammensetzung der Einzelbeiträge zur Schadstoffbelastung
- Abb. 18: Hauptverkehrsstraßennetz (gelbe Markierung) ohne Autobahnen im Ballungsraum Kassel (rote Umrandung)
- Abb. 19: Darstellung der anthropogen verursachten NO<sub>2</sub>-Belastung in Hessen [13]
- Abb. 20: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen erklärungsspflichtiger Industrieanlagen im Ballungsraum Kassel
- Abb. 21: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Abgasgrenzwerte für Straßenfahrzeuge (Euronormen)
- Abb. 22: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Fahrzeugen zwischen Abgasgrenzwert und Realemissionen; Innenstadt, Bezugsjahr 2019, HBEFA 4.1
- Abb. 23: Vergleich der NO<sub>x</sub>-Realemissionen von Benzin- und Diesel-Pkw der Euro-6-Norm mit dem jeweiligen Abgasgrenzwert; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019, innerorts
- Abb. 24: Bestand an Personenkraftwagen in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land nach Kraftstoffarten jeweils zum 1. Januar eines Jahres (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt)
- Abb. 25: Verteilung der in den Zulassungsbezirken Kassel, Stadt und Kassel, Land zugelassenen Diesel-Pkw auf die Emissionsklassen (Euronormen)
- Abb. 26: NO<sub>x</sub>-Emissionen von Euro-VI-Lkw nach Tonnage im Vergleich zum Abgasgrenzwert; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019, innerorts
- Abb. 27: Aufteilung der in Deutschland zugelassenen Nutzfahrzeuge nach zulässigem Gesamtgewicht und Emissionsklasse; Stand: 1. Januar 2019; Quelle: KBA
- Abb. 28: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs im Ballungsraum Kassel; Quelle: HLNUG, Verkehrskataster
- Abb. 29: Durchschnittliche Immissionsanteile an der NO<sub>2</sub>-Belastung in Kassel, Bezugsjahr 2013

- Abb. 30: Als Jahresmittelwert berechnete NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung auf dem Hauptverkehrsstraßennetz des Ballungsraums Kassel, Analysenullfall 2018; HBEFA 3.3
- Abb. 31: Standorte der Verkehrszählungen 2018
- Abb. 32: Emissionsanteile der verschiedenen Fahrzeugtypen an den verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Emissionen, HBEFA 3.3, Bezugsjahr 2018
- Abb. 33: Verkehrsbedingte NO<sub>x</sub>-Emissionen am Beispiel des Verkehrsaufkommens in der Holländischen Straße bei unterschiedlichem Verkehrsfluss; HBEFA 4.1, Bezugsjahr 2019
- Abb. 34: Modal Split der Stadt Kassel, Bezugsjahr 2015
- Abb. 35: Verkehrsmittelwahl nach Entfernungsklassen in Kassel, Bezugsjahr 2015
- Abb. 36: Berechnete NO<sub>2</sub>-Minderungswirkung der vorgesehenen Maßnahmen am Beispiel der Fünffensterstraße; HBEFA 3.3
- Abb. 37: NO<sub>x</sub>-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkategorien bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten; HBEFA 4.1, innerorts, Hauptverkehrsstraße, gesättigter Verkehr, Bezugsjahr 2019

### 11.3 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Immissionsgrenz- und Zielwerte nach der 39. BImSchV [1]
- Tab. 2: Kommunen des Ballungsraums Kassel nach Einwohner und Fläche, Stand 30.06.2019; Quelle Stat. Landesamt Hessen
- Tab. 3: Charakterisierung des verkehrsnahen Messstandortes Kassel-Fünffensterstraße
- Tab. 4: Charakterisierung der Messstation des städtischen Hintergrunds Kassel-Mitte
- Tab. 5: Erwerbstätige am Arbeitsort in Kassel, Stadt und Land und deren Verteilung auf die verschiedenen Wirtschaftsbereiche; Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt, Stand 2017 [10]
- Tab. 6: Messergebnisse des Jahres 2018
- Tab. 7: Unterteilung der Industrieemissionen im BR Kassel nach Hauptgruppen der 4. BImSchV (Bezugsjahr 2016)
- Tab. 8: Beispiele für Emissionsfaktoren der Emittentengruppe Gebäudeheizung
- Tab. 9: NO<sub>x</sub>-Emissionsbilanz des Ballungsraums Kassel
- Tab. 10: Berechnete NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung und Verursacheranteile in verschiedenen Straßenzügen in Kassel (Bezugsjahr 2013, HBEFA 3.2)
- Tab. 11: Durchschnittlicher täglicher Verkehr (DTV) als Ergebnisse der Verkehrszählung 2018

### 11.4 Abkürzungsverzeichnis

µg/m <sup>3</sup>	Mikrogramm (1 millionstel Gramm) pro m <sup>3</sup> ; 10 <sup>-6</sup> g/m <sup>3</sup>
µm	Mikrometer = 1 millionstel Meter
a	pro Jahr, jährlich
Abl.	Amtsblatt der Europäischen Union
Anz.	Anzahl
As	Arsen
B(a)P	Benzo(a)pyren

BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BImSchVwV	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
BTX	Benzol, Toluol, Xylol
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzol
Cd	Cadmium
CO	Kohlenmonoxid
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG/EU	Europäische Gemeinschaften/Europäische Union
GMBI	Gemeinsames Ministerialblatt
GVBI	Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen
GW	Grenzwert
h	pro Stunde, stündlich
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HMWEVW	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
JMW	Jahresmittelwert
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
LNF	leichte Nutzfahrzeuge, zulässiges Gesamtgewicht < 3,5 t
LRP	Luftreinhalteplan
LSA	Lichtsignalanlage(n)
max. 8-h-Wert	höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages aus stündlich gleitenden 8-Stunden-Mittelwert
µg/m <sup>3</sup>	Mikrogramm pro Kubikmeter
mg/m <sup>3</sup>	Milligramm (1 tausendstel Gramm) pro Kubikmeter
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Ni	Nickel
NO	Stickstoffmonoxid
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat
NO <sub>x</sub>	Stickstoffoxide bzw. Stickoxide (Summe NO + NO <sub>2</sub> , angegeben als NO <sub>2</sub> )
O <sub>3</sub>	Ozon
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nahverkehr
Pb	Blei
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Particulate matter (Staub)
PM <sub>10</sub>	Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist
PM <sub>2,5</sub>	Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist

SNF	Schwere Nutzfahrzeuge (i.d.R. Lkw ab 3,5 t, aber auch Busse, falls nicht gesondert aufgeführt)
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
t/a	Tonnen (eintausend Kilogramm) pro Jahr
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TM	Toleranzmarge
UBA	Umweltbundesamt





HESSEN



**Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Abteilung II

Referat II 4  
Mainzer Straße 80  
65189 Wiesbaden