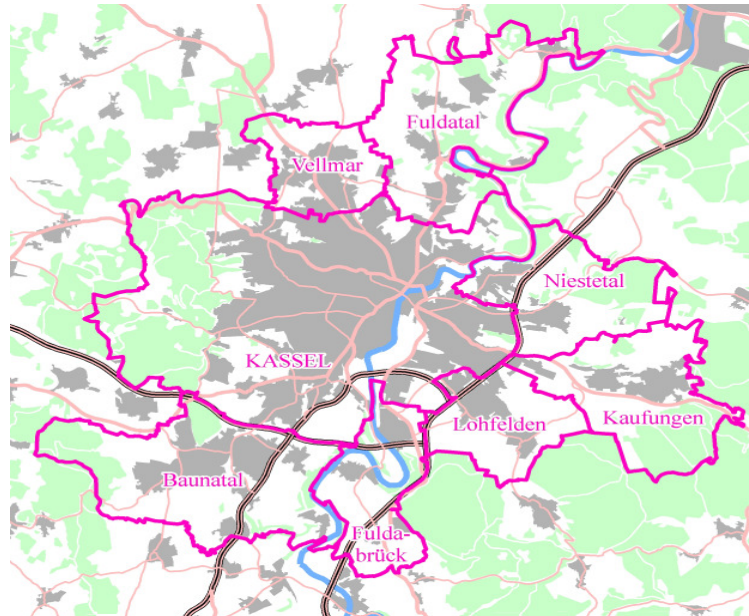


Luftreinhalte- und Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel



1	Grundlagen des Luftreinhalteplanes	5
1.1	Begriffsbestimmungen	5
1.2	Aufgabenstellung	5
1.3	Rechtsgrundlage	6
1.4	Festlegung und Abgrenzung des Gebietes	7
1.5	Auslösendes Kriterium für die Erstellung des Plans	8
1.6	Bearbeitung des Luftreinhalteplanes	10
2	Charakteristik des Ballungsraumes Kassel	12
2.1	Naturräumliche und orographische Gliederung des Gebietes	12
2.2	Das Klima	13
2.3	Einwohnerdichte und Arbeitsplätze	16
2.4	Flächennutzung	18
2.5	Verkehrsstruktur im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel	19
3	Art und Beurteilung der Immissionsbelastung	23
3.1	Belastungssituation bei PM10	23
3.2	Belastungssituation bei Stickstoffdioxid (NO ₂)	27
3.3	Bewertung der Immissionsbelastung	30
3.4	Betroffenheit der Bevölkerung	31
4	Ursachen der Immissionsbelastung	34
4.1	Emissionsstrukturen und Emissionsverhältnisse im Ballungsraum Kassel	34
4.1.1	Emissionsstruktur für PM10	34
4.1.2	Emissionsstruktur für die Stickstoffoxide (NO _x)	36
4.2	Emittentenbezogene Ursachenanalyse	38
4.2.1	Analyse für die Emittentengruppe Kfz-Verkehr	38
4.2.2	Analyse für die Emittentengruppe Gebäudeheizung	40
4.2.3	Analyse für die Emittentengruppe Industrie	42
4.3	Analyse auf Basis der Auswertung der Immissionsmessungen	43
4.3.1	Auswertung der Messdaten von PM10	43
4.3.2	Auswertung der Messdaten von NO und NO ₂	46
4.3.3	Inhaltstoffe im Feinstaub	50
5	Aussagemöglichkeiten auf Basis von Ausbreitungsrechnungen	51
5.1	Aufgabenstellung für die Ausbreitungsrechnung	51
5.2	Modellkonzept und verwendetes Rechenmodell	52
5.3	Hintergrundbelastung im Kasseler Becken	53
5.3.1	Immissionsbelastung im Kasseler Becken durch PM10	53
5.3.2	Immissionsbelastung im Kasseler Becken durch NO ₂	54
5.4	Immissionsbelastung in Hauptverkehrsstraßen mit Randbebauung	55
5.4.1	Immissionskenngrößen und Immissionsbewertung	55
5.4.2	Analyse der Immissionsbelastung durch PM10	57
5.4.3	Analyse der Immissionsbelastung durch NO ₂	60
5.5	Minderungsszenarien	62

6	Angaben zu bereits durchgeführten Maßnahmen	68
6.1	Maßnahmen zur Emissionsminderung	68
6.1.1	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Kfz-Verkehr	69
6.1.2	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Gebäudeheizung	71
6.1.3	Maßnahmen bei der Emittentengruppe Industrie	71
6.2	Längerfristiger Trend der Immissionsbelastung	72
6.2.1	Entwicklung der PM10-Belastung	72
6.2.2	Entwicklung der NO ₂ -Belastung	74
7	Angaben zu den geplanten oder langfristig angestrebten Maßnahmen oder Vorhaben	77
7.1	Maßnahmen im Rahmen des Luftreinhalteplans	78
7.1.1	Bereich Verkehr	78
7.1.2	Bauleitplanung; Gebäudeheizung	81
7.1.3	Sonstiges	82
7.2	Maßnahmen im Rahmen des Aktionsplans	83
8	Gründe und Erwägungen für die Entscheidung zur Berücksichtigung von Anregungen und Bedenken aus der Öffentlichkeitsbeteiligung	85
8.1	Öffentlichkeitsbeteiligung	85
8.2	Umweltbericht	85
8.3	Integrierte Betrachtung von Luft und Lärm	86
8.4	Großräumige Senkung der Immissionsbelastung	86
8.5	Maßnahmenfestlegung	87
8.6	Hinweise auf Unstimmigkeiten	89
8.6.1	Genauere Auflösung der Emissions- und Immissionssituation	89
8.6.2	Berücksichtigung von Staubaufwirbelungen bei den Verkehrsemissionen ...	89
8.6.3	Zuverlässigkeit der Angaben	90
9	Zusammenfassung	91
	Abbildungsverzeichnis	93
	Tabellenverzeichnis	95
	Abkürzungsverzeichnis	97
	Anhang A: Beschreibung der Luftmessstationen	98
	Anhang B: Literaturverzeichnis	103

1 Grundlagen des Luftreinhalteplanes

1.1 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 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoff in der Luft – 22. BImSchV) [16] 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 § 9 Abs. 2 der 22. BImSchV [16].

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 7 der 22. BImSchV [16] bis zu dem dort genannten Zeitpunkt einzuhalten ist und danach nicht überschritten werden darf.

Immissionskenngrößen kennzeichnen die 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 Stoff 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.

PM₁₀ sind die Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

PM_{2,5} sind die Partikel, die einen gröbselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von 50 % aufweist.

Toleranzmarge ist ein in jährlichen Stufen abnehmender Wert, um den der Immissionsgrenzwert innerhalb der in den §§ 2 bis 7 der 22. BImSchV [16] festgesetzten Fristen überschritten werden darf, ohne die Erstellung von Luftreinhalteplänen zu bedingen.

1.2 Aufgabenstellung

Mit der Verabschiedung der „Luftqualitätsrahmenrichtlinie“ von 1996 hat die Europäische Union eine neue Qualität der Luftreinhaltepolitik in Europa eingeleitet. Mit dieser Rahmenrichtlinie und den nachfolgend verabschiedeten Tochterrichtlinien wurden Luftqualitätsziele für einzelne Luftschadstoffe festgelegt, die von den Mitgliedsstaaten umzusetzen sind.

Die Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität in den letzten 25 Jahren waren erfolgreich wie die auf der Grundlage der Luftreinhalterahmenrichtlinie vorangegangener Richtlinien bereits erstellter Luftreinhaltepläne [64, 65] und die Berichte mit Ergebnissen der Emissions- und Immissionsüberwachung aus den letzten Jahren zeigen.

Die Erhebungen für den jetzt zu erstellenden Luftreinhalteplan schreiben im Allgemeinen die in der Region in früheren Jahren durchgeführten Emissions- und Immissionserhebungen fort; so wird es

möglich, auch Aussagen über die Entwicklung der Emissions- und Immissionssituation vorzulegen. 1975 wurden in Hessen Belastungsgebiete nach § 47 BImSchG [1] ausgewiesen. Das damalige Belastungsgebiet Kassel bildet den Kern des heutigen Ballungsraums Kassel.

Der Luftreinhalteplan enthält eine Dokumentation der aktuellen Belastungssituation. Für die Messstationsstandorte mit festgestellter Immissionsgrenzwertüberschreitung beschreibt eine emittentenbezogene Ursachenanalyse welche Emittentengruppen die erhöhten Immissionsbelastungen verursachen. Ein entsprechender Maßnahmenplan zeigt auf, mit welchen Maßnahmen die Immissionsbelastung unter die Immissionsgrenzwerte abgesenkt werden soll.

Auf diese Weise soll nachvollziehbar gemacht werden, wie die zur Senkung der Immissionsbelastung erforderlichen Maßnahmen begründet sind und wie sie zur Verringerung der Immissionsbelastung beitragen.

1.3 Rechtsgrundlage

Mit der Novelle der 22. BImSchV vom 11. September 2002 [16], die die Anforderungen der EG-Luftqualitätsrahmenrichtlinie [27] sowie der 1. und 2. Tochterrichtlinie [30, 33] in deutsches Recht umsetzt, wurden verschärfte Immissionsgrenzwerte in das bundesdeutsche Recht übernommen. Bei den relevanten Komponenten Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (angegeben als PM₁₀) kam es teilweise deshalb bereits zu Überschreitungen von Grenzwerten. Allerdings gibt es Übergangsfristen, in denen die Grenzwerte mit einem Toleranzmarge genannten Zuschlag gelten. Diese Toleranzmarge wird jährlich reduziert, bis sie am Ende der Übergangszeit auf Null gesenkt wird. In Tabelle 1 sind die unter Berücksichtigung der Toleranzmarge im jeweiligen Jahr gültigen Vorgaben für NO₂ und PM₁₀ aufgeführt.

Wird eine Überschreitung von Grenzwert plus Toleranzmarge festgestellt, ist ein Luftreinhalteplan zu erstellen. Der Inhalt des Luftreinhalteplanes wird durch die in Anlage 6 der 22. BImSchV [16] angegebene Liste der zu berücksichtigenden Informationen bestimmt. Aufgabe des Luftreinhalteplanes ist es dabei, während seiner Laufzeit im Ballungsraum die Immissionsgrenzwertüberschreitungen abzubauen. Soweit bei einer Komponente, bei der die Übergangsfrist mit Toleranzmarge abgelaufen ist, die Gefahr für eine Überschreitung des Immissionsgrenzwertes besteht, muss der Luftreinhalteplan gleichzeitig als Aktionsplan auch kurzfristig wirksame Maßnahmen enthalten, die geeignet sind, die Gefahr der Überschreitung der Werte zu verringern oder den Zeitraum, während dessen die Werte überschritten werden, zu verkürzen. Die Maßnahmen müssen verursacherbezogen und verhältnismäßig sein. Durch die Umsetzung der Maßnahmen darf es in keinen anderen Bereichen zu einer Grenzwertüberschreitung kommen.

Die in Tabelle 1 genannten Immissionsgrenzwerte dienen dem Schutz der menschlichen Gesundheit; dieses Schutzziel gibt der Umsetzung der zur Verbesserung der Luftqualität erforderlichen Maßnahmen Nachdruck.

	Stickstoffdioxid (NO ₂)		Feinstaub PM10	
	Jahresmittel [µg/m ³]	1-h-Wert ¹⁾ [µg/m ³]	Jahresmittel [µg/m ³]	24-h-Wert ²⁾ [µg/m ³]
2002	56	280	44,8	65
2003	54	270	43,2	60
2004	52	260	41,6	55
2005	50	250	40	50
2006	48	240	40	50
2007	46	230	40	50
2008	44	220	40	50
2009	42	210	40	50
2010	40	200	40	50

¹⁾ mit 18 zulässigen Überschreitungen im Jahr.

²⁾ mit 35 zulässigen Überschreitungen im Jahr.

Tabelle 1: Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit inklusive Toleranzmargen bis 2010 nach 22. BImSchV [16]

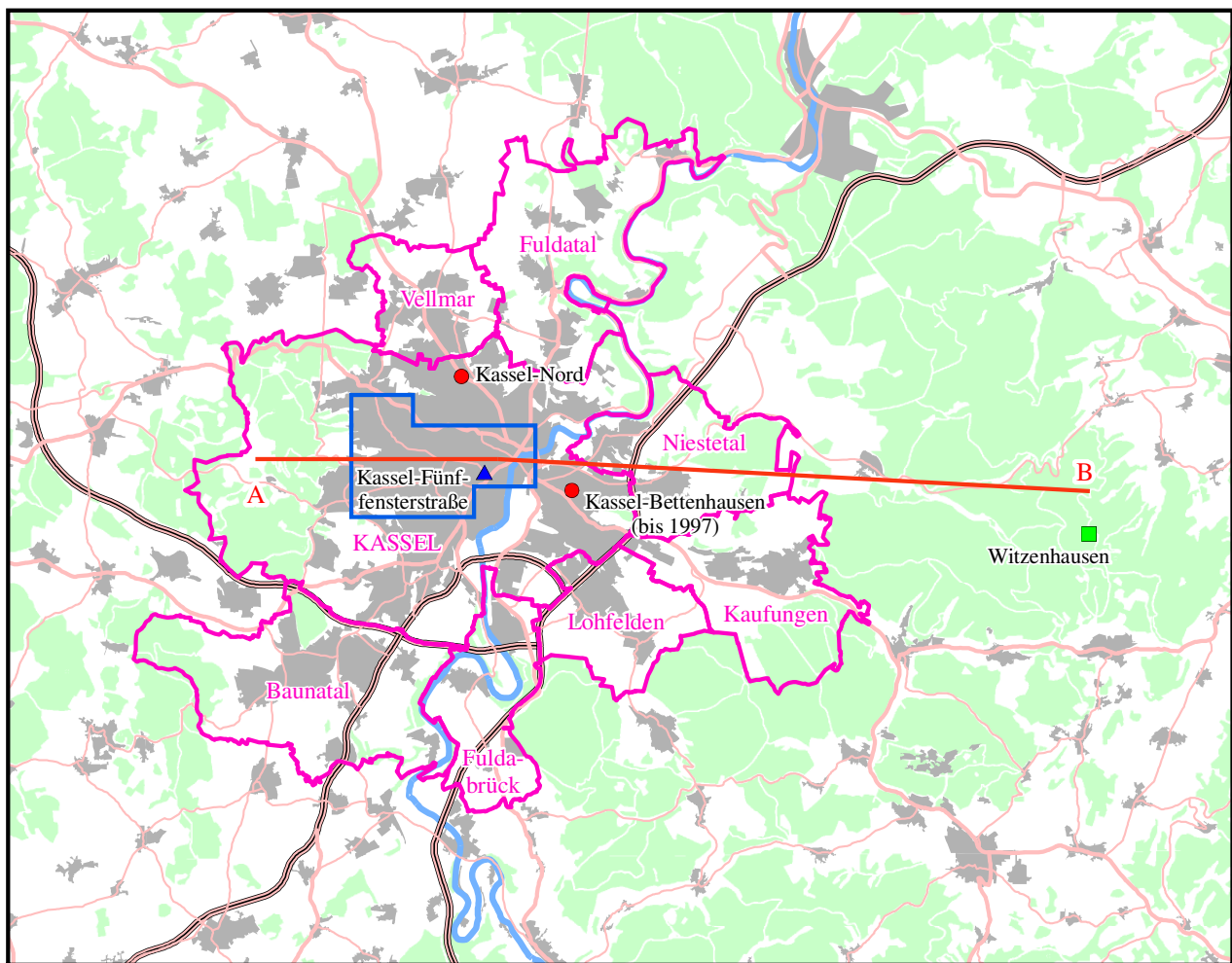
Die 22. BImSchV [16] enthält auch Angaben zu der Mindestanzahl der Luftmessstationen in den jeweiligen Ballungsräumen und Gebieten. Auch die Anforderungen an den Standortcharakter der Luftmessstation sind durch die 22. BImSchV [16] konkretisiert.

Mit Datum vom 20. Februar 2004 hat die EU-Kommission die Modalitäten festgelegt, nach denen die der EU-Kommission vorzulegenden Informationen über „Pläne oder Programme in Bezug auf Luftqualitätsgrenzwerte“ zu strukturieren sind [40]. Dieser weitgehend auf eine komplexe Tabellenform abstrahierte Informationsbericht fasst die Aussagen des Luftreinhalteplanes zusammen und ermöglicht eine Auswertung der Aussagen des Luftreinhalteplanes mittels Datenverarbeitung. Auf Anfrage sind der EU-Kommission aber auch die vollständigen Luftreinhaltepläne zur Verfügung zu stellen.

1.4 Festlegung und Abgrenzung des Gebietes

Auf Grundlage der Novellierung des BImSchG [1] erfolgte die Einteilung des Bundeslandes Hessen in Gebiete bzw. Ballungsräume. Nach § 1, Ziffer 7 in Verbindung mit § 9 der 22. BImSchV [16] ist als Ballungsraum „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“ festzulegen.

Im Jahr 1975 wurde in der Verordnung über die Belastungsgebiete [4] das Belastungsgebiet Kassel definiert. Die Einteilung der Gebiete nach der neuen EU-Richtlinie erfolgte 2002 auf Basis der Gemeindegrenzen und der Messergebnisse des Luftmessnetzes. Der Ballungsraum Kassel besteht aus den Städten und Gemeinden Baunatal, Fuldabrück, Fulda, Kassel, Kaufungen, Lohfelden, Niestetal und Vellmar. Die Fläche des ehemaligen Belastungsgebiets Kassel wurde durch die Einbeziehung der an die Stadt Kassel angrenzenden Gemeinden vergrößert. Abbildung 1 zeigt eine Karte des Ballungsraums. Bis auf die Gemeinden Ahnatal und Schauenburg entspricht der Ballungsraum Kassel dem Zweckverband Raum Kassel (ZRK). Weitere Angaben zum Ballungsraum siehe auch im Kapitel 2.



0 5 10 km

— Verlauf des Höhenprofils in Abbildung 5

□ Ballungsraum Kassel

□ Innenstadtgebiet für Szenario 2 (Kap. 5.5)

Luftmessstationen

- Stadtstation
- ▲ Verkehrsstation
- ländlicher Raum



Abbildung 1: Gebiet des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel

1.5 Auslösendes Kriterium für die Erstellung des Plans

Das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) ist für den Betrieb des Luftmessnetzes in Hessen zuständig. Die Messergebnisse im Ballungsraum Kassel für das Jahr 2003 an der ver-

kehrsbezogenen Messstation Kassel-Fünffensterstraße und der Stadtstation Kassel-Nord sind im „Lufthygienischen Jahresbericht 2003“ [60] publiziert. Aus den Messergebnissen, die in der Regel aus Halbstundenmittelwerten bestehen, werden so genannte Immissionskenngrößen ermittelt. Üblicherweise werden sowohl Langzeitkenngrößen z. B. Jahresmittelwerte als auch Kurzzeitkenngrößen z. B. Tages- oder Stundenmittelwerte ermittelt. Für die Komponente PM10 werden der Jahresmittelwert sowie die Tagesmittelwerte bzw. die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Zulässig sind 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes pro Kalenderjahr. Die Immissionsgrenzwerte für PM10 sind seit dem 01. Januar 2005 einzuhalten. Für die Komponente NO_2 werden ebenfalls der Jahresmittelwert sowie die Stundenmittelwerte bzw. die Anzahl der Überschreitungen des Stundenmittelwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Zulässig sind 18 Überschreitungen des Stundenwertes pro Kalenderjahr. Die Immissionsgrenzwerte für NO_2 sind ab dem 01. Januar 2010 einzuhalten. Die Immissionskenngrößen beschreiben die vorhandene Immissionskonzentration bzw. die gemessene Immissionsbelastung an den jeweiligen Messstellen.

Der Lufthygienische Jahresbericht 2003 weist aus, dass der Immissionsgrenzwert „Tag“ mit Berücksichtigung der Toleranzmarge für PM10 an den beiden Kassler Messstationen überschritten ist; damit ist das Auslösekriterium für die Erstellung eines Luftreinhalteplanes erfüllt.

In Abbildung 2 sind die gemessenen Immissionskenngrößen des Messjahres 2003 für PM10 dargestellt. Neben den beiden Stationen in Kassel ist als Vergleichsstation Bad Arolsen (Standortcharakter ländlicher Raum) eingezeichnet. Bei der Kenngröße Jahresmittelwert ist sowohl der Grenzwert als auch der Grenzwert plus Toleranzmarge eingehalten. Bei der Kurzzeitkenngröße (Überschreitungshäufigkeit des Tagesmittelwertes) ist dagegen der Grenzwert plus Toleranzmarge überschritten. Im Jahr 2004 wurde an den Kasseler Messstationen weder der Jahresmittelwert (plus Toleranzmarge) noch die Kurzzeitkenngröße (plus Toleranzmarge) für PM10 überschritten. Aufgrund der zu hohen Anzahl an Überschreitungen des Tagesmittelwertes für PM10 im Jahr 2005 wurde im Rahmen der Aufstellung des Luftreinhalteplans ein Aktionsplan integriert.

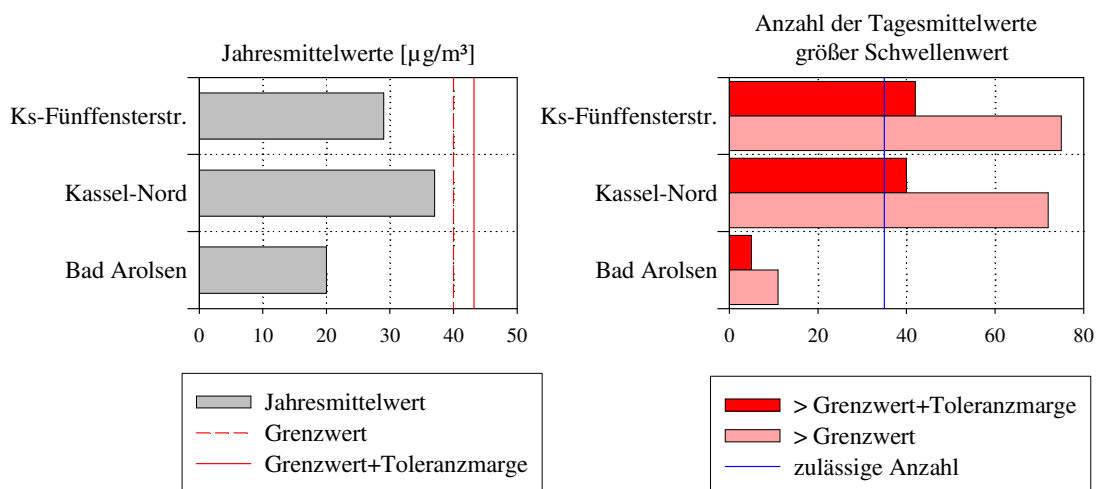


Abbildung 2: Immissionskenngrößen von PM10 für das Messjahr 2003

Die gemessenen Immissionskenngrößen von NO_2 des Messjahres 2003 sind in Abbildung 3 dargestellt. Zusätzlich ist als weitere Vergleichsstation Witzenhausen eingezeichnet, die ebenfalls im ländlichen Raum liegt. Die im Jahre 2003 gültigen Grenzwerte plus Toleranzmarge sind in Kassel eingehalten. Die Kenngröße Jahresmittelwert hat im Jahr 2003 an der Verkehrsstation Kassel-Fünffensterstraße den ab 2010 gültigen Grenzwert überschritten. Deshalb wurde entschieden, auch NO_2 im Luftreinhalteplan zu behandeln, obwohl das eigentliche Auslösekriterium nicht erfüllt war.

Die gemeinsame Betrachtung der Ursachen für die PM10- und NO_2 -Belastung soll insbesondere auch sicherstellen, dass Maßnahmen zur Minderung der PM10-Belastung auch die NO_2 -Belastung mindern oder zumindest nicht erhöhen.

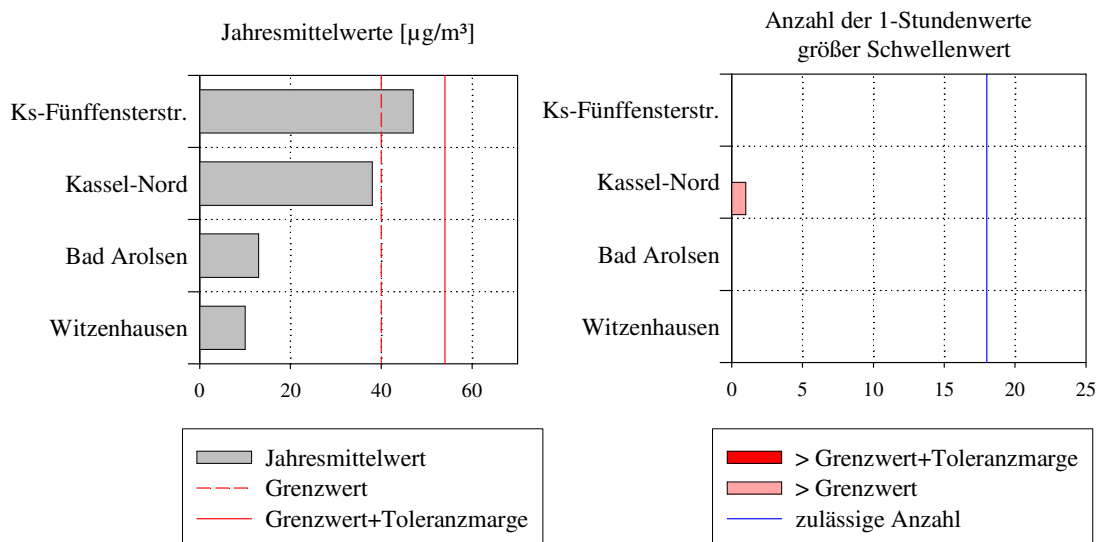


Abbildung 3: Immissionskenngrößen von NO₂ für das Messjahr 2003

1.6 Bearbeitung des Luftreinhalteplanes

Nach § 5 der Hessischen Zuständigkeitsverordnung für den Immissionsschutz ist das Hessische Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz zuständige Behörde für die Erstellung der Luftreinhaltepläne nach § 47 BImSchG [1]. Da bei der Umsetzung von Maßnahmen neben dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) auch Straßenverkehrsrecht und Planungsrecht erheblichen Einfluss auf die erforderlichen Maßnahmen haben, sind die zuständigen Behörden dieses Bereiches zu beteiligen und im Falle von Maßnahmen im Straßenverkehr ist das Einvernehmen herzustellen. Darüber hinaus sind alle Kommunen, die im Ballungsraum liegen, und der Zweckverband Raum Kassel als Planungsträger in die Entwicklung des Luftreinhalteplanes einbezogen.

Deshalb wurde frühzeitig eine interministerielle Arbeitsgruppe „Luftreinhalteplanung“ unter Einbeziehung der kommunalen Vertreter von Planungsverbünden eingerichtet.

Zuständige Behörde:

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden

Beteiligte Behörden:

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

Regierungspräsidium Kassel
34110 Kassel

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen
Wilhelmstraße 10
65183 Wiesbaden

Zweckverband Raum Kassel
Ständeplatz 13
34117 Kassel

Stadt Kassel
Obere Königsstraße 8
34117 Kassel

2 Charakteristik des Ballungsraumes Kassel

Die Beschreibung des Ballungsraumes geht zunächst auf die Orographie (Reliefformen des Gebietes) ein, da diese für die Ausbildung des Klimas und der Ausbreitungsverhältnisse, aber auch für den Verlauf der Verkehrsströme Bedeutung hat. Von den allgemeinen Klimaangaben haben aus lufthygienischer Sicht vor allem die Windverhältnisse Einfluss auf die Luftqualität, da sie bestimmen, wie schnell das Luftvolumen im Bereich des Ballungsraumes ausgetauscht wird. An Hand der Verteilung der Bevölkerungsdichte im Ballungsraum und der Flächennutzung wird eine erste Übersicht über das Emissionspotential gegeben.

2.1 Naturräumliche und orographische Gliederung des Gebietes

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 Basalkuppe 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.

Abbildung 4 versucht durch eine dreidimensionale Darstellung 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.

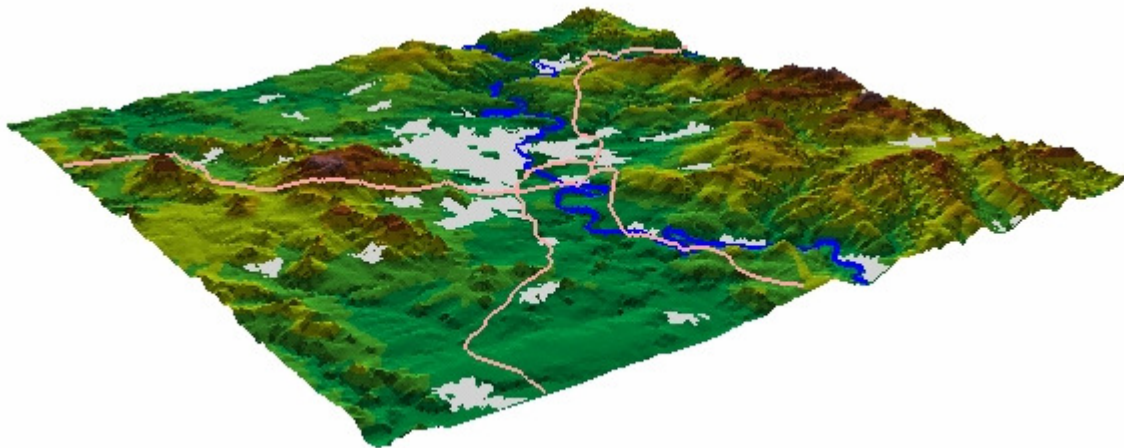


Abbildung 4: Höhenprofil des Kasseler Beckens mit dem Verlauf der Autobahnen
(Überhöhungsfaktor 4)

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 Luftaustausches und die klimatologischen Verhältnisse für die lufthygienische Situation in Kassel von grundsätzlicher Be-

deutung sind. Der Geländeschnitt (siehe Abbildung 5) verdeutlicht noch mal die Beckenlage von Kassel. Der Verlauf des Geländeschnittes ist in Abbildung 1 dargestellt.

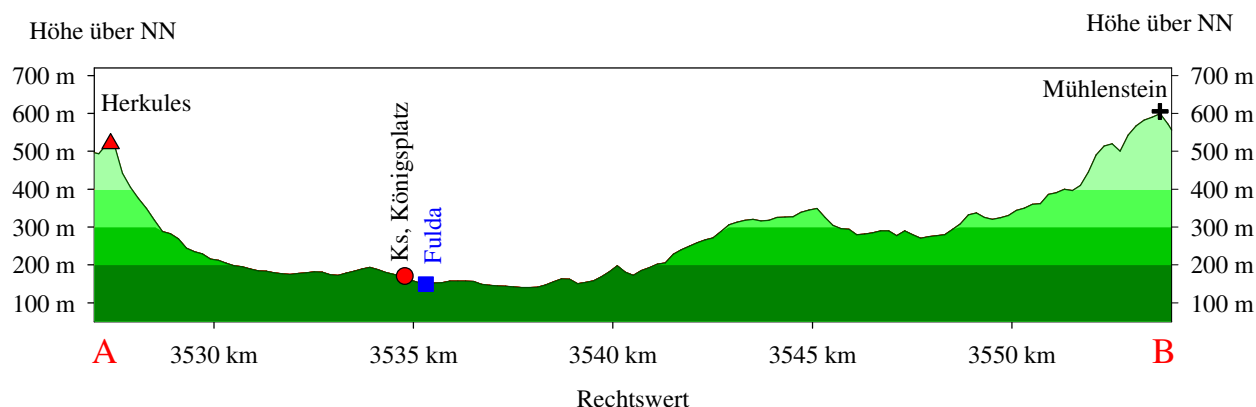


Abbildung 5: Geländeschnitt durch den Ballungsraum Kassel vom Herkules bis zum Kaufunger Wald

2.2 Das Klima

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 Wetter-situation 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.

Abbildung 6 zeigt das mittlere Tagesmittel, das Maximum und das Minimum der Lufttemperatur in Kassel [66]. Der wärmste Monat im Jahr ist der Juli, der kälteste der Januar. Die Auswertung bezieht sich auf den Auswertzeitraum vom 01. Januar 1961 bis zum 31. Dezember 1990; soweit nichts anderes angegeben gilt dieser Auswertzeitraum auch für die übrigen Klimadaten.

Der Jahresgang der Temperatur ist entscheidend für die Dauer der Heizperiode. In der VDI-Richtlinie 2067 [67] sind heiztechnische Kenngrößen definiert. In der Tabelle 2 sind die Gradtagzahlen (GTZ) und die Anzahl der Heiztage (AH) für die Stationsstandorte Kassel-Nord, Witzenhausen (Bergstation) und Frankfurt-Ost aufgeführt. Die Stadtstation Frankfurt-Ost liegt in Südhessen, ebenfalls in einem Ballungsraum. Die Gradtagzahl ist ein Maß für die Abweichung der Tagesmitteltemperatur an Heiztagen von der vorgegeben Raumtemperatur. Der Jahresgang der Emissionen aus der Emittenten-gruppe Gebäudeheizung wird durch die Verteilung der Gradtagzahlen beeinflusst.

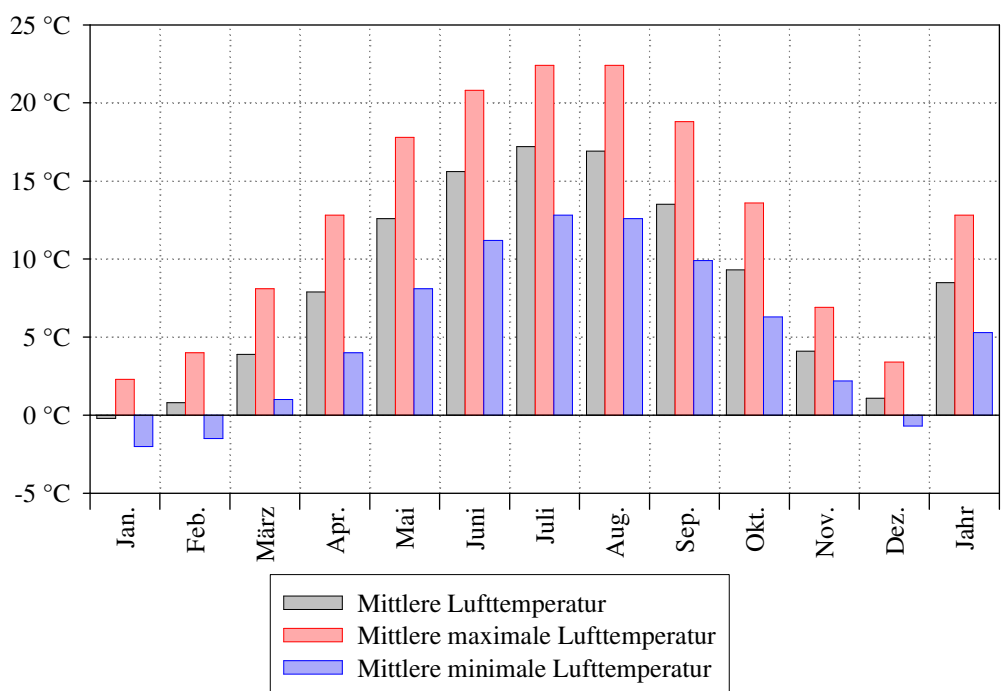


Abbildung 6: Temperaturwerte in Kassel (Zeitraum Jan. 1961 bis Dez. 1990)
 Quelle: Deutscher Wetterdienst [66]

		Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Kassel-	GTZ	565,0	493,4	437,1	316,8	146,9	71,3	31,9	23,3	147,4	306,4	445,3	558,5
	AH	31,0	28,2	30,9	27,3	17,3	10,3	3,5	2,6	19,9	28,8	30,0	31,0
Witzen-	GTZ	618,9	543,4	502,5	377,4	215,3	142,3	79,7	66,6	209,5	353,7	494,5	607,1
	AH	31,0	28,3	31,0	27,9	22,0	16,7	10,8	8,2	23,5	29,3	30,0	31,0
Frankfurt-	GTZ	534,9	459,0	381,4	263,2	97,0	30,9	17,5	12,0	81,7	255,6	412,5	521,3
	AH	31,0	28,3	30,4	25,2	12,7	4,5	0,8	0,4	12,0	26,5	30,0	31,0

GTZ: Gradtagzahl AH: Anzahl der Heiztage

Tabelle 2: Mittlere monatliche Gradtagzahlen (Zeitraum: Januar 1988 bis März 2005) nach VDI-Richtlinie 2067 [67]

Abbildung 7 zeigt die Windverteilung an der Messstation Kassel-Nord. Die in der freien Atmosphäre vorherrschenden westlichen Winde werden in Bodennähe durch die Topographie im Kasseler Becken aus ihrer Richtung abgelenkt. In Kassel wehen am häufigsten Winde aus Süd und Südwest. Häufig sind auch die Nordwinde, die einen Einfluss des von Nord nach Süd verlaufenden Habichtswaldes auf die Windführung erkennen lassen. Durch die Tallage wird die Windgeschwindigkeit gegenüber der Umgebung verringert. Bei abnehmenden Windgeschwindigkeiten nimmt der Einfluss der unmittelbaren Umgebung auf die Windrichtung zu. Kleinstäumige Windsysteme machen sich bemerkbar. Die Windrichtung ist dann nur noch repräsentativ für kleine Gebiete [65].

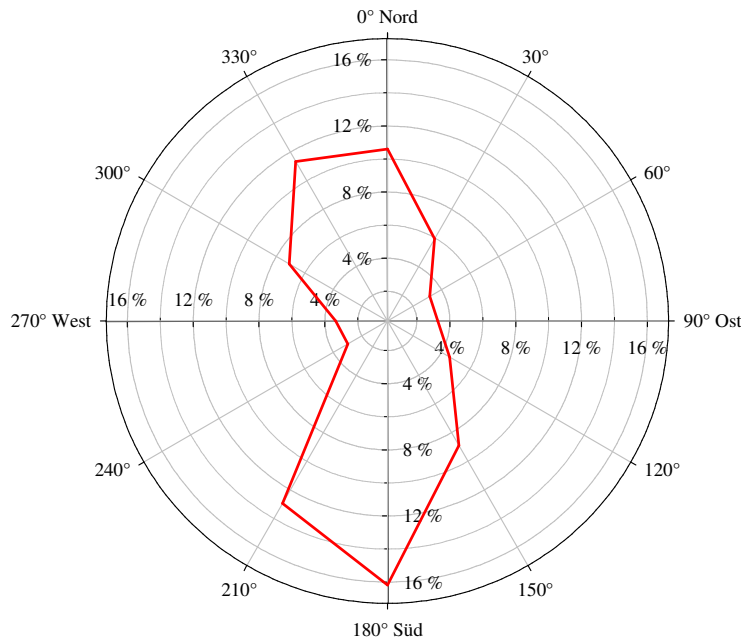


Abbildung 7: Mittlere Windrose an der Stadtstation Kassel-Nord (Zeitraum 1984 bis 2004)

Der Kassler Raum mit seinen rund 43 Nebeltagen im Jahr gilt als nebelreich. Als nebelreich werden Gebiete mit mehr als 25 Nebeltagen pro Jahr eingestuft. Die nebelreichsten Monate sind der Oktober (7 Tage), der September (6 Tage) und der November (5 Tage). Die geringste Nebelhäufigkeit tritt im Juli mit 1 Nebeltag auf. Die mittlere Jahressumme der Sonnenscheindauer liegt in Kassel bei rund 1.450 Stunden. Im Juli scheint im Mittel die Sonne während rund 196 Stunden, im Januar während rund 40 Stunden. Die Sonnenscheindauer einzelner Jahre kann um bis zu 20 % vom vieljährigen Mittelwert abweichen [66].

Der Niederschlag wird in mm Niederschlagshöhe gemessen. Dabei bedeutet 1 mm Niederschlag 1 Liter Wasser pro m². Die mittleren Niederschlagshöhen im Raum Kassel schwanken zwischen Monatssummen von 41 bis 55 mm im Februar und 79 bis 81 mm im Juli. Als Jahressumme ergeben sich im Mittel 690 bis 814 mm [66].

Bei austauscharmen Wetterlagen ist insbesondere die vertikale Durchmischung der Luft stark eingeschränkt. Sie stellt einen Zustand der bodennahen Atmosphäre dar, in der die Austausch- bzw. Durchmischungsvorgänge stark eingeschränkt sind. Dies geschieht in der Vertikalen durch das Vorhandensein einer Sperrschicht (Inversion) und in der Horizontalen durch die geringe Luftbewegung. Im Extremfall kommt es zu einer Zunahme von anthropogenen Luftverunreinigungen (Rauch, Staub, Abgase etc.), die sich innerhalb bzw. an der Unterseite der Inversion ansammeln.

Im Raum Kassel muss während ca. 6,7 % eines Jahreszeitraumes, d. h. an rund 585 Stunden entsprechend 24,4 Tagen pro Jahr mit austauscharmen Wetterlagen gerechnet werden. Der Monat, in dem diese Wetterlagen am häufigsten zu erwarten sind, ist der Oktober. Im Herbst (September bis November) werden im Raum Kassel solche Wetterlagen an durchschnittlich 8,8 Tagen (entspr. 212,2 Std.) festgestellt. Der Monat mit dem geringsten Anteil dieser Wetterlagen ist der April. Im Frühjahr und Sommer sorgt die kräftige Sonneneinstrahlung für eine in der Regel gute vertikale Durchmischung der bodennahen Atmosphäre. Dadurch sinkt in diesen Jahreszeiten die Zahl der Tage mit austauscharmen Wetterlagen auf lediglich 4 bis 5 Tage. Dieser ausgeprägte Jahresgang ist bedingt durch die jahreszeitlichen Schwankungen in der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation [66].

2.3 Einwohnerdichte und Arbeitsplätze

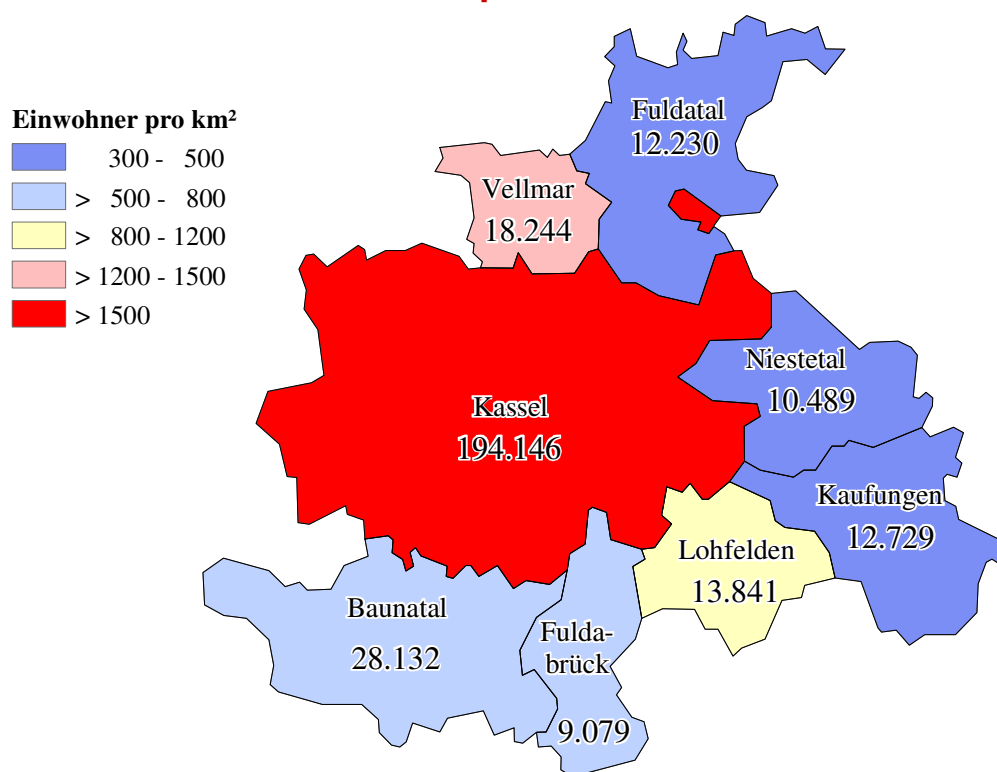


Abbildung 8: Bevölkerungsstruktur im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 31.12.2002)

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt

Kommunen/Gebiet	Fläche] [km²]	Einwohner [Anzahl]	Zu- bzw. Abnahme gegenüber 31.12.2001 [%]	Einwohner pro km²
Baunatal	38,27	28.132	0,28	735
Fuldabrück	17,89	9.079	0,12	508
Fuldata	33,68	12.230	-0,48	363
Kassel	106,77	194.146	-0,31	1.818
Kaufungen	26,18	12.729	0,64	486
Lohfelden	16,57	13.841	0,51	835
Niestetal	22,15	10.489	1,19	473
Vellmar	13,97	18.244	0,59	1.306
Ballungsraum	275,48	298.890	-0,06	1.085
Hessen	21.114,96	6.091.618	0,23	288

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt

Tabelle 3: Einwohnerzahlen der Städte und Gemeinden im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 31.12.2002)

Der Ballungsraum Kassel besteht aus 8 Städten und Gemeinden mit rund 298.890 Einwohnern und einer Fläche von 274,48 km². Verglichen mit der Rhein-Main-Region ist die Bevölkerungsdichte

niedriger. Nur zwei Kommunen kommen auf über 1.000 Einwohner pro km² und liegen damit über dem Mittelwert für den Ballungsraum (siehe Abbildung 8 und Tabelle 3). Im Vergleich mit der Bevölkerungsdichte für ganz Hessen von 288 Einwohnern pro km² haben alle Gemeinden eine relativ höhere Bevölkerungsdichte. Kassel hat für Nordhessen eine Zentrumsfunktion und ist im Ballungsraum die mit Abstand größte Stadt. Fast 2/3 der Einwohner des Ballungsraumes wohnen in Kassel, das dadurch die höchste Bevölkerungsdichte aufweist.

Kassel hat mit Abstand die meisten Arbeitsplätze im Ballungsraum (siehe Tabelle 4). Der Wirtschaftsbereiche mit den meisten Arbeitsplätzen ist das Dienstleistungsgewerbe. In Baunatal ist das Volkswagenwerk seit 1958 ansässig und mit rund 16.000 Mitarbeitern der größte Arbeitgeber in Nordhessen. Dadurch nimmt Baunatal bei der Anzahl der Arbeitsplätze den zweiten Rang ein. Das produzierende Gewerbe hat in Baunatal einen Anteil von 78 % der Arbeitsplätze, was für den Ballungsraum der höchste Wert ist.

Kommunen/Gebiet	Beschäftigte Arbeitnehmer (= 100 %) [Anzahl]	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei [%]	Produzierendes Gewerbe [%]	Handel, Gastgewerbe und Verkehr [%]	Finanzierung, Vermietung u. Unternehmensdienstleister [%]	öffentliche und private Dienstleister [%]
Baunatal	21.694	0,24	78,45	8,75	4,43	8,13
Fuldabrück	3.236	0,46	36,16	45,27	12,89	5,22
Fulda	1.853	1,57	17,92	29,41	9,39	41,72
Kassel	92.794	0,40	23,60	25,42	17,96	32,63
Kaufungen	2.762	2,17	32,22	40,15	4,27	21,18
Lohfelden	4.022	1,32	15,02	52,66	14,10	16,91
Niestetal	2.640	0,64	54,09	22,95	12,46	9,85
Vellmar	2.867	1,29	19,01	36,34	18,17	25,18
Ballungsraum	131.868	0,48	33,28	24,55	14,98	26,72
Hessen	2.192.552	0,64	29,53	25,36	21,48	22,99

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt

Tabelle 4: Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Arbeitnehmer am Arbeitsort und deren Verteilung auf die verschiedenen Wirtschaftsbereiche (Stichtag: 30.6.2002)

Abbildung 9 zeigt neben den Beschäftigungszahlen auch das Verhältnis von Beschäftigten zu Einwohnern. Hier belegt Baunatal mit rund 77 Beschäftigten pro 100 Einwohner den Spitzenplatz im Ballungsraum, was die Bedeutung des Volkswagenwerkes unterstreicht. Die Hälfte aller Gemeinden im Ballungsraum hat weniger als 26 Beschäftigte pro 100 Einwohner. Dies führt zu Bedarf an Beförderungsleistung, da viele Menschen ihren Wohnort verlassen, um zu ihrem Arbeitsplatz zu kommen. Auf die Pendlerströme wird in Kapitel 2.5 eingegangen.

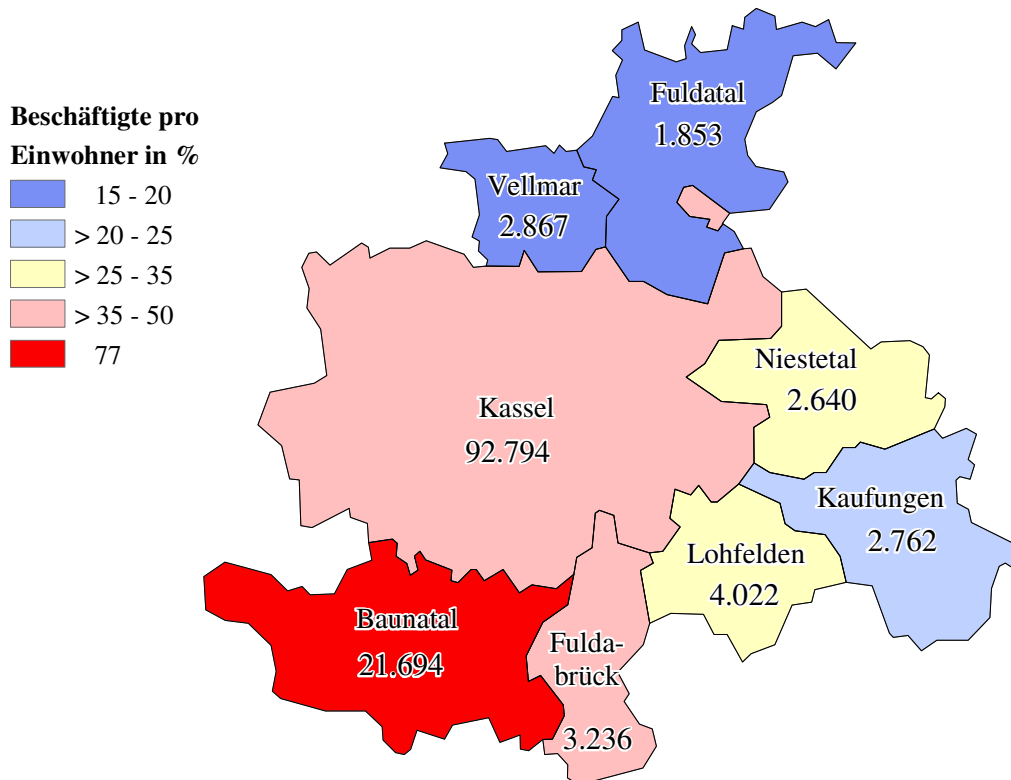


Abbildung 9: Beschäftigungszahlen im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 30.6.2002)

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt

2.4 Flächennutzung

Die Anordnung der Wohn- und Industriegebiete sowie der Grünflächen zueinander und ihre Anteile an der Fläche des Ballungsraumes sind für das Verständnis der Emissionsstruktur und der daraus resultierenden Immissionssituation von Bedeutung. Beim Zweckverband Raum Kassel (ZRK) liegen Flächennutzungspläne für das Verbandsgebiet seit 1974 vor. In Tabelle 5 sind für die Städte und Gemeinden des Ballungsraumes die Flächenanteile der Wohngebiete, der gewerblichen Bauflächen sowie der Grünflächen und Flächen mit landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Nutzung zusammengestellt.

Die Gewerbe- und Industriegebiete in Kassel befinden sich vorwiegend im Bereich der Ortsteile Rothenditmold, Bettenhausen und Waldau sowie in Baunatal und Lohfelden. Die Wohngebiete ziehen sich von der Kasseler Innenstadt bis zum Rand des Kasseler Beckens hin. Kassel als Sitz des Regierungspräsidenten ist das Verwaltungszentrum für Nordhessen. Diese Funktion Kassels ist historisch gewachsen und geht zurück auf die Zeit, als Kassel Residenzstadt war. Größere Parkanlagen wie die Karlsaue und der Schlosspark Wilhelmshöhe sowie vergleichsweise breite Verbindungsstraßen und Plätze im Bereich der Innenstadt bestimmen das Stadtbild von Kassel auch heute noch. Bei den übrigen Kommunen im ZRK überwiegt die landwirtschaftliche Flächennutzung, lediglich in Baunatal gibt es noch größere Flächen mit gewerblicher Nutzung.

Kommunen/ Gebiet	Fläche [ha]	Wohnbau fläche [%]	Gemischte Baufläche [%]	Gewerbliche Bauflächen [%]	Straßen- verkehr [%]	Grünan- lagen [%]	Landwirt- schaft [%]	Forstwirt- schaft [%]
Baunatal	3.826	13,8	2,5	9,8	5,0	4,3	40,3	21,3
Fuldabrück	1.786	9,3	2,5	2,6	3,9	11,0	51,0	9,8
Fulda	3.367	9,0	3,1	2,2	1,7	2,7	54,2	17,9
Kassel	10.675	23,8	3,3	7,8	3,9	15,9	13,3	21,9
Kaufungen	2.611	9,5	2,6	2,7	2,3	4,5	46,0	30,2
Lohfelden	1.658	14,9	4,4	5,7	4,5	6,6	59,5	0,7
Niestetal	2.214	9,7	3,4	2,6	2,9	4,1	45,0	28,6
Vellmar	1.395	21,7	6,6	2,5	6,3	6,5	44,4	5,7
ZRK	32.422	15,3	3,3	4,9	3,6	8,5	38,5	19,6

Quelle: Zweckverband Raum Kassel

**Tabelle 5: Flächennutzung im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel
(Stand: 31.12.2004)**

Für die Luftqualität eines urbanen Ballungsraumes ist neben den Emissionen die Be- und Entlüftungssituation von grundlegender Bedeutung. Im Allgemeinen sind die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten im Bereich der Großstädte des Mittelgebirgsraumes, vor allem in Kessellagen (wie im Kasseler Becken), gegenüber freien Lagen deutlich reduziert. Eine besondere Rolle spielen daher die regionalen bzw. lokalen Windsysteme, die bei Wetterlagen mit geringen horizontalen Druckgradienten und gleichzeitiger nächtlicher Ausstrahlung des Bodens (schwachwindige Hochdrucklage) bestimmend sein können. Ungünstige Topographie, abriegelnde Bebauung oder Wärmequellen beeinträchtigen oder unterbinden die Frischluftströme. Emittierende Betriebe im Bereich derartiger Schneisen können die Luftqualität stromab entscheidend verschlechtern. Der Festlegung und Erhaltung von Frischluftschneisen kommt daher im Rahmen von Planungen grundlegende Bedeutung zu.

Die im Regionalplan Nordhessen [71] festgelegten Bereiche für besondere Klimafunktionen dienen der nachhaltigen Sicherung besonderer regionaler Klimafunktionen. Veränderungen, die zur Beeinträchtigung oder Zerstörung der besonderen klimatischen Funktion führen, sind unzulässig. Innerhalb der Bereiche für besondere Klimafunktionen können Flächen dann für Bebauung, Verkehrsstrassen, Waldzuwachs oder andere klimabeeinflussende Vorhaben in Anspruch genommen werden, wenn in geeigneter fachlich-methodischer Weise – z. B. im Rahmen der Landschaftsplanung - nachgewiesen ist, dass keine nachteiligen klimatischen Auswirkungen entstehen.

2.5 Verkehrsstruktur im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel

Im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel treffen sich mehrere Autobahnen. Die wichtigste ist die A 7 (Hannover - Würzburg) mit dem höchsten Verkehrsaufkommen (< 100.000 Kfz/24h). Die A 44 (Dortmund - Kassel) und A 49 (Marburg - Kassel) vervollständigen den überregionalen Anschluss des ZRK-Gebietes. Ergänzt wird das Netz der Autobahnen durch die Bundesstraßen B 3, B 7, B 83, B 251 und B 520. Bei den Bundesstraßen hat die B 7 das höchste Verkehrsaufkommen (ca. 40.000 Kfz/24h in der Hölländischen Straße). In Abbildung 10 ist das Netz der Autobahnen und Bundesstraßen im ZRK-Gebiet dargestellt. Auf diesem Straßennetz wird etwa die Hälfte der Fahrleistung im ZRK-Gebiet erbracht. Ergänzend ist aus Abbildung 10 noch die mittlere Verkehrsdichte - angegeben als DTV-Wert - aus der Breite der Linien zu ersehen.

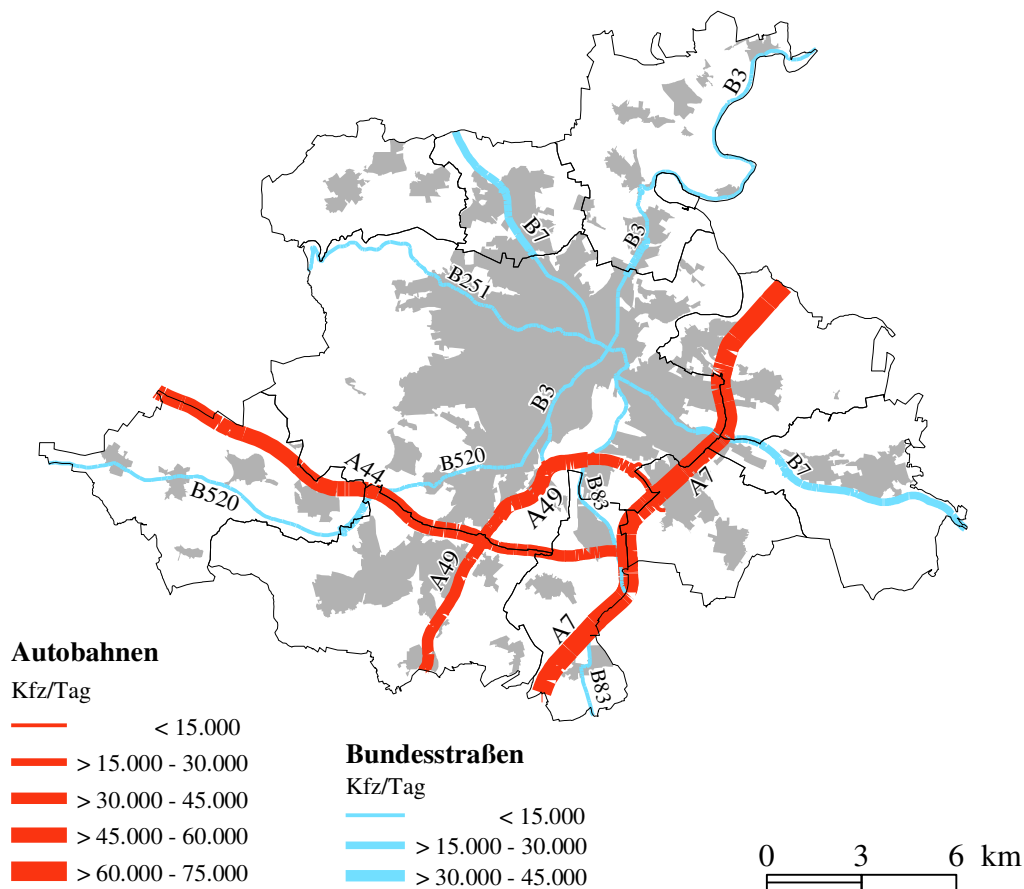


Abbildung 10: Verkehrsaufkommen aus Zählungen auf Autobahnen und Bundesstraßen im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel (Stand 2000)

Quelle: Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen [62]

In Tabelle 6 sind die Jahresfahrleistungen im ZRK-Gebiet aufgelistet. Kassel hat dabei einen Anteil von rund 40 % an der Gesamtsumme, was durch die Größe der Stadt zu erklären ist. Differenziert man nach den einzelnen Straßentypen, kommen aber deutliche Unterschiede zutage. Bei den Autobahnkilometern im ZRK-Gebiet hat Kassel einen Anteil von rund 25 %, bei der Fahrleistung auf Autobahnen aber nur einen Anteil von rund 15 %. Die Verkehrsstruktur beeinflusst die Emissionsstruktur im Ballungsraum entscheidend (siehe Kapitel 4).

Neben dem Fernverkehr hat auch der Berufsverkehr einen wichtigen Anteil an dem Verkehrsaufkommen. Bei den Pendlerzahlen für das ZRK-Gebiet in Tabelle 7 fällt auf, dass es nur in Kassel und Baunatal mehr Einpendler als Auspendler gibt. Angaben zu den überregionalen Pendlerströmen enthält der Gesamtverkehrsplan des Zweckverbandes Raum Kassel [63]. Von den rund 48.000 Pendlern, die täglich in das ZRK-Gebiet kommen, fahren die meisten nach Kassel (33.000) bzw. Baunatal (9.500); umgekehrt verlassen nur rund 12.000 Pendler das ZRK-Gebiet Kassel. Die zeigt die Bedeutung von Kassel als regionales Zentrum für die Region Nordhessen (siehe auch Kapitel 2.3).

Kommunen/Gebiet	Fahrleistung in 10 ⁶ km pro Jahr					Summe
	Autobahn	Bundesstr.	Kreisstr.	Landesstr.	Gemeindestr.	
Baunatal	174,14	4,98	8,58	41,04	28,58	257,33
Fuldabrück	116,99	24,68	3,41	9,97	4,55	159,60
Fuldatal		35,32	4,84	16,85	7,16	64,17
Kassel	128,62	73,11	53,07	97,36	510,89	863,04
Kaufungen	13,66	70,56	20,85	0,80	11,40	117,28
Lohfelden	127,49		10,92	17,59	6,65	162,66
Niestetal	131,01	2,75	8,38	22,63	4,74	169,51
Vellmar		42,20	3,68	26,57	14,72	87,16
ZRK	825,67	284,20	135,37	246,61	602,98	1.880,75
Hessen	22.129,10	12.491,98	4.442,08	9.113,44	7.914,33	56.090,94

Tabelle 6: Fahrleistung auf den Straßen im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel für das Jahr 2000 nach Straßentypen

Kommunen	Einpendler		Auspendler	
	insgesamt	Prod.-Gewerbe ¹⁾	insgesamt	Prod.-Gewerbe ¹⁾
Baunatal	17.295	14.144	5.185	1.380
Fuldabrück	2.856	1.077	2.721	894
Fuldatal	1.218	226	3.230	966
Kassel	55.124	14.750	17.544	6.662
Kaufungen	1.886	628	3.451	1.154
Lohfelden	3.285	454	3.836	1.346
Niestetal	2.100	1.196	3.064	921
Vellmar	2.028	390	5.142	1.544

1) Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe, Energie- und Wasserversorgung und Baugewerbe

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt [61]

Tabelle 7: Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Pendler im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel (Stichtag: 30.06.2002)

Entscheidend für die Tageszeit, zu der eine Ortsveränderung unternommen wird sowie für die Anforderung an das benutzte Verkehrsmittel, ist der Zweck der Fahrt. Untersuchungen im Auftrag des ZRK [63] haben ergeben, dass die Fahrten zur Arbeit nur noch einen Anteil von rund 19 % haben (siehe Abbildung 11). Der Anteil ist in den Gemeinden des ZRK etwas höher, da hier der Pendleranteil größer ist. Die meisten Fahrten dienen der Versorgung bzw. finden in der Freizeit statt.

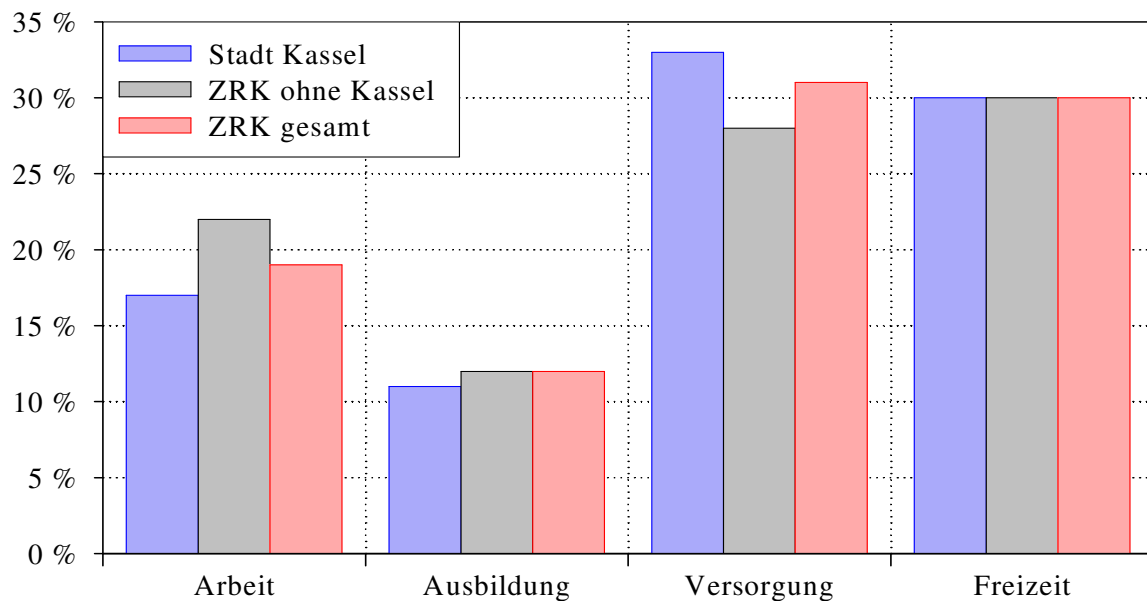


Abbildung 11: Zweck der Fahrten im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel

Quelle: Gesamtverkehrsplan des Zweckverbandes Raum Kassel [63]

Bei der Wahl des Verkehrsmittels gibt es, bezogen auf die Anzahl der Wege pro Tag, zwischen der Stadt Kassel und den ZRK-Gemeinden deutliche Unterschiede (siehe Abbildung 12). Der Motorisierte Individualverkehr (MIV) ist der am stärksten genutzte Verkehrsträger, wobei der Anteil in den ZRK-Gemeinden gegenüber Kassel höher ist. Da der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) in Kassel besser erschlossen ist, hat er in Kassel einen höhern Anteil als in den ZRK-Gemeinden.

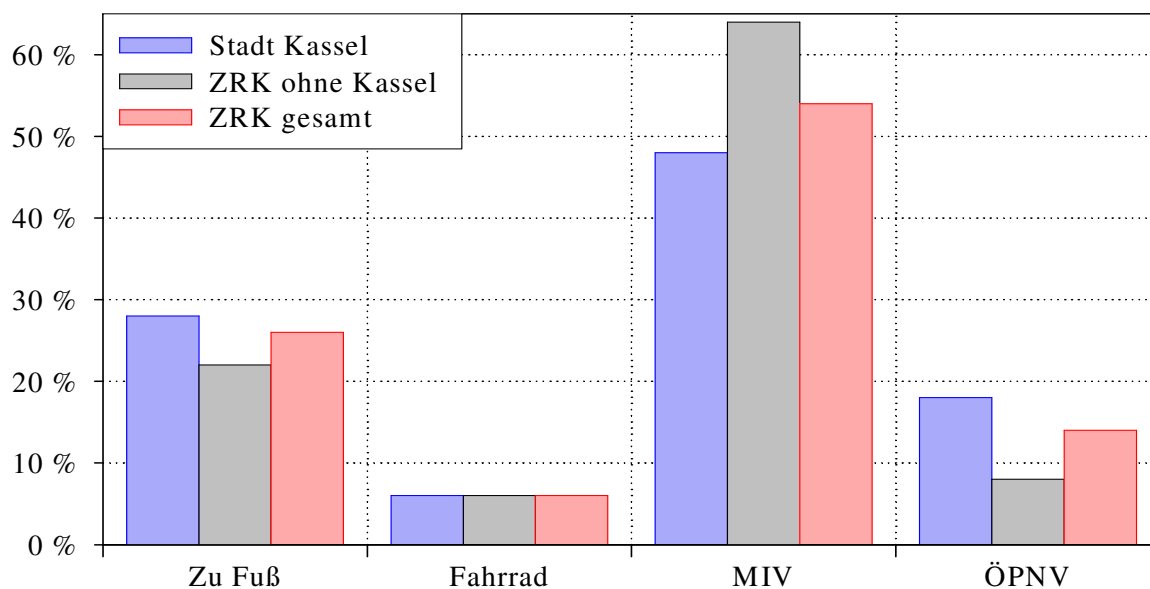


Abbildung 12: Modal-Split-Werte in der Stadt Kassel und den übrigen ZRK-Gemeinden

Quelle: Gesamtverkehrsplan des Zweckverbandes Raum Kassel [63]

3 Art und Beurteilung der Immissionsbelastung

Die 22. BImSchV [16] enthält bisher für sechs Schadstoffe Immissionsgrenzwerte und zwar für die Komponenten:

- Schwefeldioxid (SO_2),
- Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickoxide (NO_x),
- Feinstaub (PM_{10}),
- Blei (Pb) als Bestandteil des Feinstaubes,
- Benzol (C_6H_6) und
- Kohlenmonoxid (CO).

Die Ergebnisse der Immissionsüberwachung werden regelmäßig u. a. in dem „Lufthygienischen Jahresbericht“ veröffentlicht. Außer bei den Komponenten PM_{10} und NO_2 sind bei den anderen Komponenten die Immissionsgrenzwerte sicher eingehalten. Deshalb kann sich der vorliegende Luftreinhalteplan auf die Komponenten PM_{10} und NO_2 beschränken.

Die Beurteilung der Immissionssituation für PM_{10} und NO_2 erfolgt anhand der seit 2002 gültigen Immissionsgrenzwerte der 22. BImSchV [16] (siehe Tabelle 1 in Kapitel 1.3). Die Messstationen, die für die Beurteilung im Ballungsraum Kassel herangezogen wurden, sind im Anhang A beschrieben. Als Vergleichsstationen mit guter Luftqualität dienen die Stationen Bad Arolsen und Witzenhausen, die beide außerhalb des Ballungsraumes im ländlichen Raum liegen.

3.1 Belastungssituation bei PM_{10}

In Kapitel 1.5 wurde das Auslösekriterium für die Erstellung eines Luftreinhalteplans beschrieben.

Mit Inkrafttreten der 1. Tochterrichtlinie zur Luftqualitätsrahmenrichtlinie [30] galt für Feinstaub ein Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit einer Toleranzmarge von $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die seit dem 01. Januar 2001 jährlich um den gleichen Prozentsatz bis zur Erreichung der $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} am 01. Januar 2005 reduziert wurde. Analog dazu galt ein Tagesmittelwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} mit einer Toleranzmarge von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Um diesen Einfluss der sich von Jahr zu Jahr bis 2005 ändernden Toleranzmarge auszuklammern wurde für die Jahre 2001 bis 2004 die Kenngröße „Tag“ so berechnet als gäbe es für diese Jahre keine Toleranzmarge.

In den fünf Jahren von 2001 bis 2005 war der seit dem 1. Januar 2005 geltende Jahresgrenzwert bereits eingehalten. In der Tabelle 8 sind die gemessenen Immissionskenngrößen für PM_{10} von 2001 bis 2005 aufgeführt.

Kritischer ist die Situation bei der Kurzzeitkenngröße. 2002 und 2003 war bei beiden Stationen in Kassel mehr als die 35 zulässigen Überschreitungen bezogen auf den seit 1. Januar 2005 gültigen Grenzwert zu verzeichnen. Aber nur im Messjahr 2003 war auch der gültige Grenzwert plus Toleranzmarge - und zwar an beiden Kasseler Stationen - überschritten. Darüber hinaus wurde auch im Messjahr 2005 der Kurzzeitgrenzwert an der Messstation Kassel-Fünffensterstraße überschritten.

Die Immissionsbelastung schwankt infolge unterschiedlich ausgeprägter Witterung von Jahr zu Jahr und dies prägt sich bei den Kurzzeitkenngrößen besonders deutlich aus. In den Jahren 2001, 2004 und 2005 war die Immissionsbelastung niedriger als in den Jahren 2002 und 2003.

Station	Jahr	Jahresmittelwert ¹⁾ [µg/m³]	Überschreitungshäufigkeit beim Tagesmittelwert ²⁾	
			mit Toleranzmarge [Anzahl] ³⁾	ohne Toleranzmarge [Anzahl] ⁴⁾
Kassel-Fünffensterstraße	2001	34 (46,4)	12 (70 µg/m³)	43 (50 µg/m³)
	2002	36 (44,8)	17 (65 µg/m³)	57 (50 µg/m³)
	2003	38 (43,2)	42 (60 µg/m³)	75 (50 µg/m³)
	2004	33 (41,6)	28 (55 µg/m³)	35 (50 µg/m³)
	2005	32 (40)		48
Kassel-Nord	2001	22 (46,4)	4 (70 µg/m³)	14 (50 µg/m³)
	2002	33 (44,8)	18 (65 µg/m³)	61 (50 µg/m³)
	2003	37 (43,2)	40 (60 µg/m³)	72 (50 µg/m³)
	2004	24 (41,6)	13 (55 µg/m³)	17 (50 µg/m³)
	2005	25 (40)		12
Bad Arolsen	2001	19 (46,4)	0 (70 µg/m³)	8 (50 µg/m³)
	2002	21 (44,8)	7 (65 µg/m³)	14 (50 µg/m³)
	2003	20 (43,2)	5 (60 µg/m³)	11 (50 µg/m³)
	2004	18 (41,6)	6 (55 µg/m³)	6 (50 µg/m³)
	2005	17 (40)		5
Witzenhausen	2004	18 (41,6)	2 (55 µg/m³)	8 (50 µg/m³)
	2005	14 (40)		3

1) in Klammern der im Jahr gültige Grenzwert plus Toleranzmarge (ab 2005: 40 µg/m³) [30].

2) im Jahr sind 35 Überschreitungen zulässig [30].

3) in Klammern der im Jahr gültige Schwellenwert plus Toleranzmarge [30].

4) in Klammern der ab 2005 gültige Schwellenwert [30].

rot: Überschreitung von Grenzwert + Toleranzmarge.

blau: Überschreitung des Grenzwertes (gültig ab 2005).

Tabelle 8: Gemessene Immissionskenngrößen für PM10 von 2001 bis 2005

In Abbildung 13 ist die Häufigkeit der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg PM10/m³ dargestellt – aufgegliedert für die 12 Monate des Jahres 2003. An der Stadtstation Kassel-Nord kommt es zum Jahresanfang zu einer hohen Anzahl von Überschreitungen, weshalb im März bereits die 35 Überschreitungen erreicht waren. In den Monaten Mai, Juni und Juli wurden keine Überschreitungen gemessen. Ein zweites Maximum gab es im Monat August. Danach reduziert sich wieder die Anzahl der Überschreitungen auf einzelne Tage. Die Verteilung an der Verkehrsstation Kassel-Fünffensterstraße sieht zwar ähnlich aus, unterscheidet sich aber in einigen Punkten: Der Februar ist ebenfalls der Monat mit den meisten Überschreitungen von 50 µg/m³, aber das Frühjahrsmaximum ist deutlich niedriger. An der Station gibt es keinen Monat, an dem die 50 µg/m³ nicht überschritten werden. Die 35 Überschreitungen werden erst im Juli erreicht. Im August steigt die Anzahl der Überschreitungen wieder an um für den Rest des Jahres auf diesem Niveau zu verbleiben. In der Abbildung 13 ist auch die Auswertung für die emissionsferne Messstation Bad Arolsen eingezeichnet. Die Belastung mit PM10 ist deutlich niedriger. In den Monaten Februar und März treten aber auch hier Tagesmittelwerte größer 50 µg PM10/m³ auf.

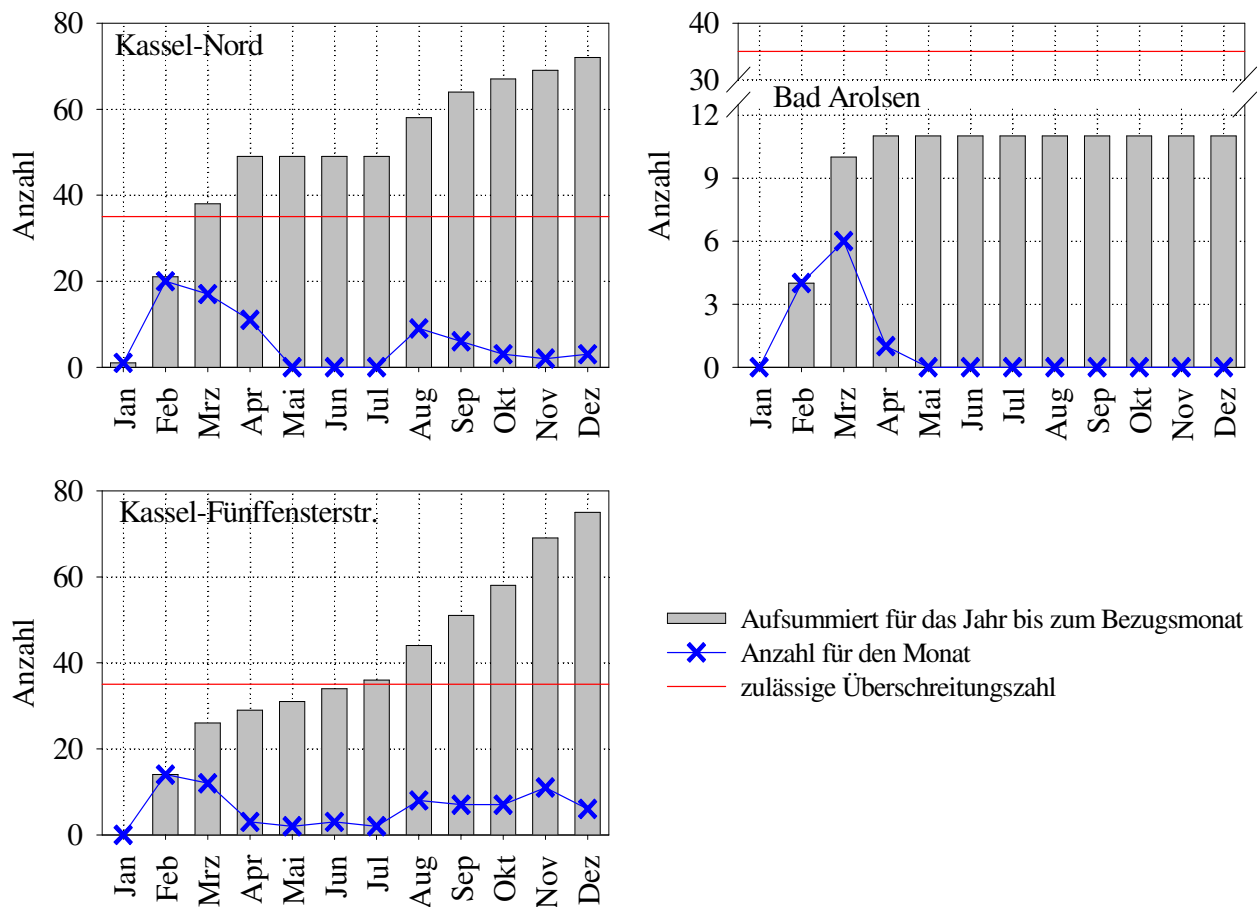


Abbildung 13: Anzahl der Tagesmittelwerte größer $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM10 pro Monat im Messjahr 2003

Die Abbildung 14 stellt die Folge der 365 Tagesmittelwerte von PM10 für das Messjahr 2003 als Zeitreihe für die fünf Stationen Kassel-Fünffensterstraße, Kassel-Nord, Bad Arolsen, Marburg und Frankfurt-Ost untereinander so zusammen, dass die Gleichzeitigkeit von Episoden erhöhter PM10-Belastung erkennbar werden. Die Stadtstationen Marburg (Mittelhessen) und Frankfurt-Ost (Süd-hessen) sind mit herangezogen worden, um zu zeigen, dass Episoden erhöhter PM10-Belastung großräumig auftreten und nicht auf das Kasseler Becken beschränkt sind; natürlich gibt es aber auch Ereignisse erhöhter PM10-Belastung, die lokal begrenzt sind. Bei dem Vergleich der Tagesmittelwert von PM10 fällt die Episode vom 25.02. bis 01.04. als Struktur auf, die an allen fünf Stationen ähnlich deutlich ausgeprägt ist. So hatten in der Zeit vom 25.02. bis zum 28.02. rund 2/3 der Stationen mit PM10-Messgerät ihren maximalen Tagesmittelwert für das Jahr 2003. Im August, September und Oktober kommt es zu weiteren PM10-Episoden, die aber nicht mehr die hohen Konzentrationen vom Frühjahr erreichen. Bei der Episode Anfang August 2003 kam es durch eine Schönwetterperiode zu einer verstärkten Ozonbildung und -anreicherung [60]. In dieser Periode wurde der Informationswert von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Ozon täglich überschritten. Die Episoden erhöhter PM10-Belastung ab Mitte September bis Mitte Dezember sind Hochdruckwetterlagen mit eingeschränkter Durchlüftung. Die PM10-Tagesmittelwerte sind allerdings nicht so deutlich erhöht wie während der Hochdruckepisoden im Februar und März.

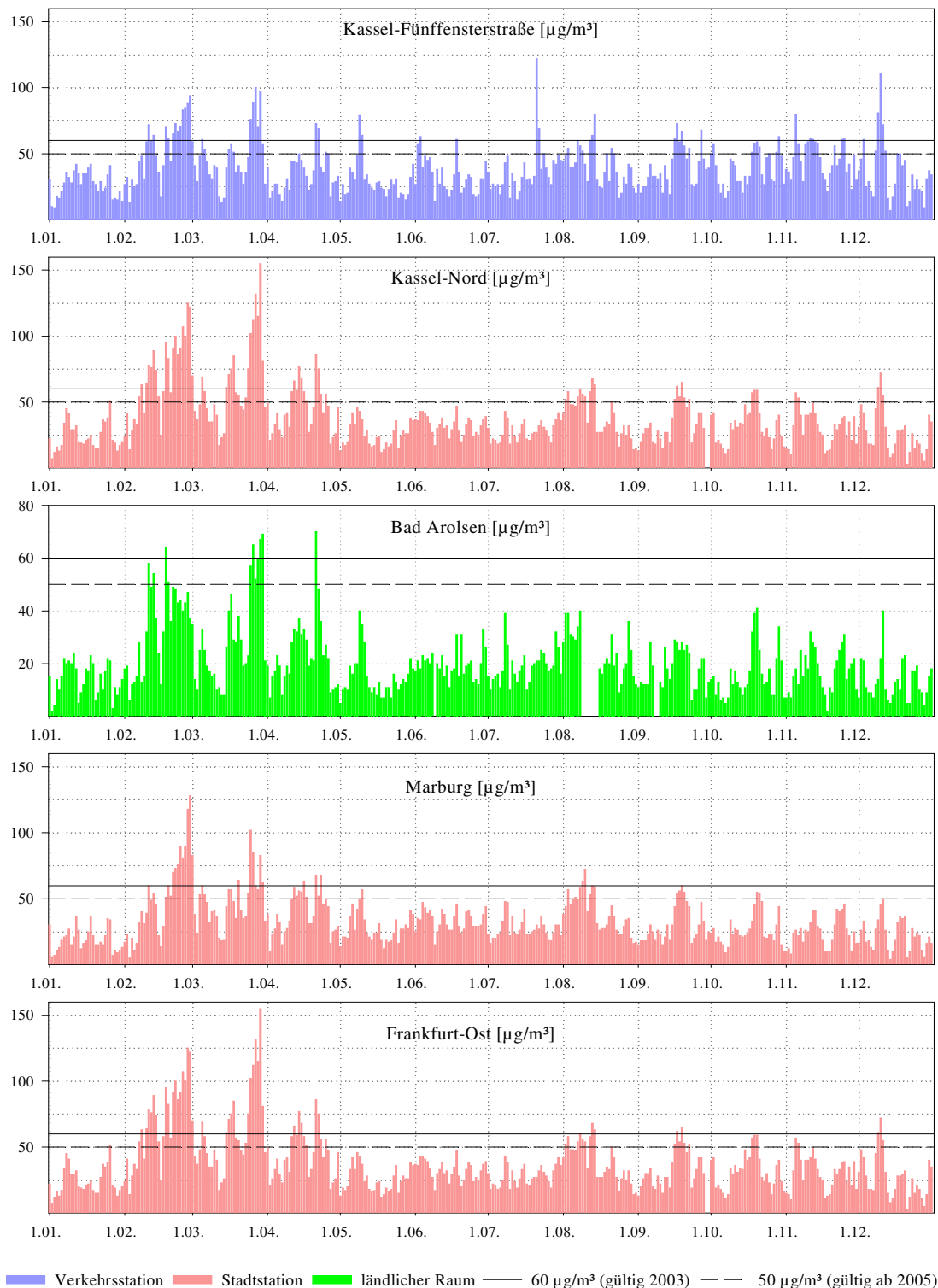


Abbildung 14: Tagesmittelwerte von PM₁₀ für das Messjahr 2003

Um den mittleren Jahresgang von PM₁₀ (siehe Abbildung 15) herauszuarbeiten, wurden die Messjahre 2001 bis 2004 gemeinsam ausgewertet. Die mittleren Jahresgänge der Immissionskonzentration sind ein charakteristisches Merkmal der Immissionssituation an einem Standort und beschreiben einen systematischen Anteil der zunächst zufällig erscheinenden Konzentrationsschwankungen. Die Stadtstation Kassel-Nord zeigt dabei den deutlichsten Jahresgang. In der kalten Jahreszeit tritt das

Maximum der Immissionsbelastung auf. Deutlich erkennbar ist auch ein Maximum im Sommer. Die Verkehrsstation Kassel-Fünffensterstraße zeigt im Mittel vor allem in den Sommermonaten höhere PM10-Belastungen als die Station Kassel-Nord. Der Jahresgang der PM10-Konzentration ist an den Kasseler Stationen auf einen Grundpegel von etwa $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aufgesetzt. Bei der Station Bad Arolsen, die im ländlichen Raum liegt, ist das Maximum im Sommer deutlich ausgeprägt. Die Ursachen für die erhöhte PM10-Belastung im Winter sind zum einem, dass im Winter die Emissionen aus dem Bereich Gebäudeheizung in Abhängigkeit von der Lufttemperatur verstärkt freigesetzt werden. Im Winter kommt es aber auch zu anhaltend austauscharmen Wetterlagen, die zu einer Verschlechterung der Immissionssituation führen (siehe auch Abbildung 13). Ein PM10-Jahresgang mit dem Maximum im Sommer wird nicht an allen Stationen in Hessen gemessen, ist aber für Kassel schon früher nachgewiesen worden. Die erhöhten PM10-Werte im Sommer treten während anhaltender Hochdruckwetterlagen auf, für die auch erhöhte Ozonkonzentrationen charakteristisch sind; deshalb besteht die Vermutung, dass partikelbildende Reaktionen mit Ozon wie Nitrat- und Sulfat-Bildung eine zwar schwache, aber durch die Andauer der Wetterlage doch merkliche Staubquelle in der Atmosphäre bilden.

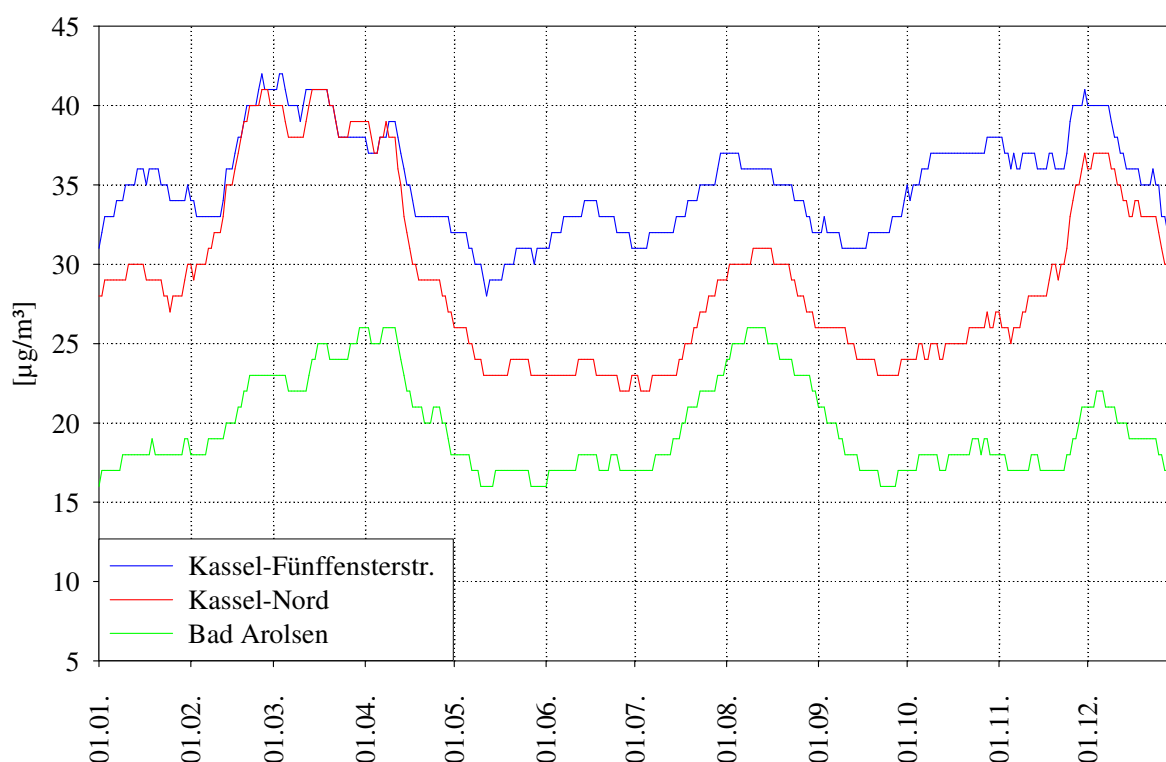


Abbildung 15: Mittlerer Jahresgang von PM10 für die Jahre 2001 bis 2004

3.2 Belastungssituation bei Stickstoffdioxid (NO_2)

Die Immissionskenngrößen für NO_2 sind in der Tabelle 9 aufgelistet. Neben den beiden Messstationen im Ballungsraum sind als Vergleichstationen Bad Arolsen und Witzenhausen aufgeführt (siehe Anhang A). Die Kurzzeitkenngröße (Überschreitungshäufigkeit des 1-Stunden-Wertes) ist sicher eingehalten. Der Immissionsgrenzwert „Jahr“ unter Berücksichtigung der Toleranzmarge wird ebenfalls seit Jahren an beiden Stationen in Kassel eingehalten. Unter Zugrundelegung des ab dem 1. Januar 2010 geltenden Immissionsgrenzwertes für NO_2 von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, wäre bereits seit dem Jahr 2001 an der Messstation Kassel-Fünffensterstraße der Jahresmittelwert überschritten gewesen.

Station	Jahr	Jahresmittelwert ¹⁾ [µg/m³]	Überschreitungshäufigkeit beim 1-Stunden-Wert ²⁾	
			mit Toleranzmarge [Anzahl] ³⁾	ohne Toleranzmarge [Anzahl] ⁴⁾
Kassel-Fünffensterstraße	2001	49 (58)	0 (290 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2002	50 (56)	0 (280 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2003	47 (54)	0 (270 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2004	46 (52)	0 (260 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2005	49 (50)	0 (250 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
Kassel-Nord	2001	32 (58)	0 (290 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2002	36 (56)	0 (280 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2003	38 (54)	0 (270 µg/m³)	1 (200 µg/m³)
	2004	32 (52)	0 (260 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2005	32 (50)	0 (250 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
Bad Arolsen	2001	12(58)	0 (290 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2002	13 (56)	0 (280 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2003	13 (54)	0 (270 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2004	11 (52)	0 (260 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2005	11 (50)	0 (250 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
Witzenhausen	2001	10(58)	0 (290 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2002	10 (56)	0 (280 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2003	10 (54)	0 (270 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2004	9 (52)	0 (260 µg/m³)	0 (200 µg/m³)
	2005	9 (50)	0 (250 µg/m³)	0 (200 µg/m³)

1) in Klammern der im Jahr gültige Grenzwert plus Toleranzmarge (ab 2010: 40µg/m³ [30].

2) im Jahr sind 18 Überschreitungen zulässig [30].

3) in Klammern der im Jahr gültige Schwellenwert plus Toleranzmarge [30].

4) in Klammern ab 2005 gültige Schwellenwert [30].

rot: Überschreitung von Grenzwert + Toleranzmarge.

blau: Überschreitung des Grenzwertes (gültig ab 2010).

Tabelle 9: Gemessene Immissionskenngrößen für NO₂ von 2001 bis 2005

Will man die Belastungssituation durch NO₂ vollständig erfassen, muss die vorhandene Konzentration von NO (Stickstoffmonoxid) mit berücksichtigt werden. Bei der Verbrennung entsteht ein Gemisch von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid (NO). Bei hohen Temperaturen überwiegt der Anteil von NO – z. B. wird am Auspuff eines Autos mit Otto-Motor im Allgemeinen ein Verhältnis von NO zu NO₂ von 95 zu 5 gemessen. In der Atmosphäre wird das NO dann schrittweise zu NO₂ oxidiert; an den Stationen an emissionsfernen Standorten werden im Allgemeinen NO-Konzentrationen kleiner 10 % der NO₂-Konzentration gefunden.

In Abbildung 16 ist der mittlere Jahresgang von NO für die beiden Kasseler Stationen und die zwei Vergleichsstationen dargestellt. Die beiden Stationen im Ballungsraum weisen einen deutlichen Jahresgang auf. Die NO-Konzentration an der Station Fünffensterstraße ist beim Jahresgang in allen Monaten immer deutlich über den Werten der Station Kassel-Nord. Die beiden Stationen im ländlichen Raum, Bad Arolsen und Witzenhausen zeigen auf niedrigem Konzentrationsniveau einen kaum mehr erkennbaren Jahresgang ebenfalls mit Wintermaximum.

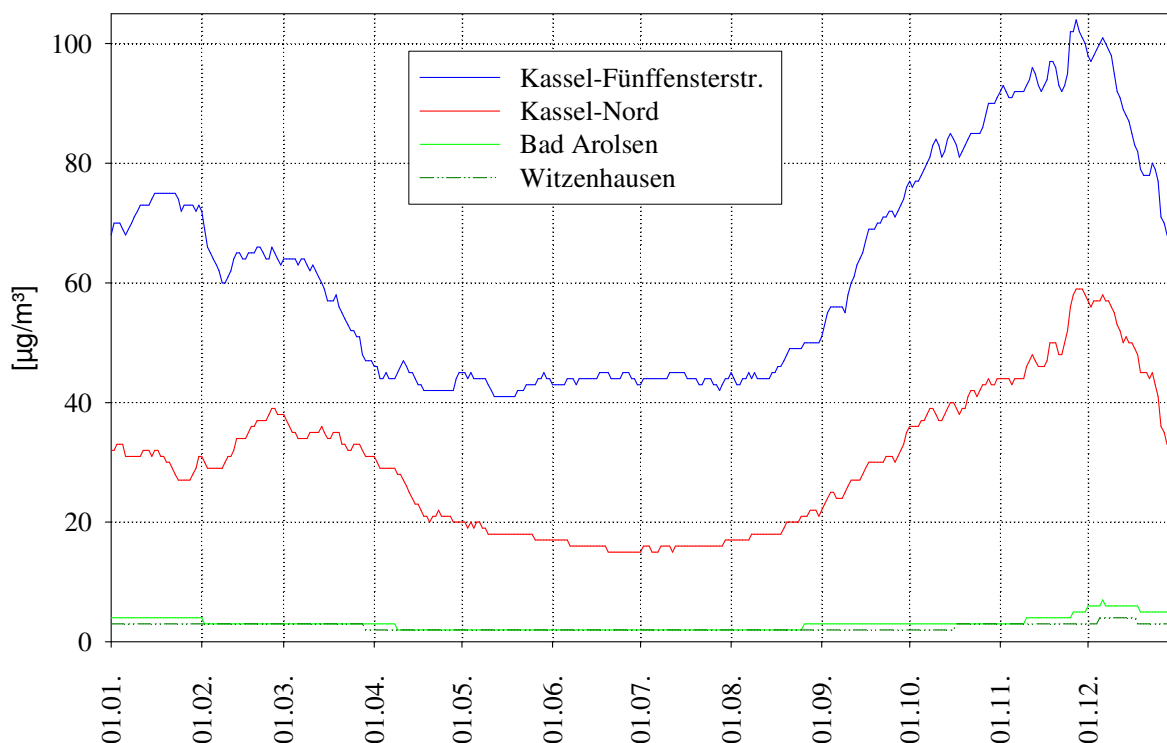


Abbildung 16: Mittlerer Jahresgang von NO für die Jahre 2001 bis 2004

Abbildung 17 zeigt den mittleren Jahresgang von NO₂. Die NO₂-Jahresgänge an den beiden Kasseler Stationen zeigen ein anderes Bild als die NO-Jahresgänge an diesen beiden Stationen (siehe Abbildung 16) und ähneln mehr den PM₁₀-Jahresgängen (siehe Abbildung 15). Wenn man – wie bei PM₁₀ – den NO₂-Jahresgang als Überlagerung zweier Einflüsse versteht - Jahresgang mit Doppelmaximum im Winter und Jahresgang mit Sommermaximum – sind auch die Gegensätze zwischen dem Jahresgang den Stationsstandorten Kassel-Fünffensterstraße und Kassel-Nord nicht so grundsätzlich wie es auf den ersten Blick erscheint. An der Station Kassel-Fünffensterstraße hat der Jahresganganteil mit dem Sommermaximum deutlich mehr Gewicht als an der Station Kassel-Nord. Bei der Diskussion des PM₁₀-Jahresganges wurde auf die partikelbildenden Reaktionen mit Ozon hingewiesen. Die Oxidation von NO zu NO₂ gehört in dieses Reaktionssystem zur Erklärung der photochemischen Ozonbildung und des Abbaus. Legt man solche Thesen für die Erklärung der unterschiedlichen Jahresgänge der zwei Kasseler Stationen zu Grunde, bedeutet dies, dass eine verstärkte Umsetzung von NO zu NO₂ im Sommer mit Ursache für das Sommermaximum im NO₂-Jahresgang an der Station Kassel-Fünffensterstraße wäre.

Ein Jahresgang analog zu NO ist dagegen bei den ländlichen Stationen zu erkennen. Hier ist davon auszugehen, dass auf dem Weg bis zur ländlichen Station das emittierte NO dann schon – unabhängig von der Jahreszeit – weitgehend zu NO₂ umgewandelt ist.

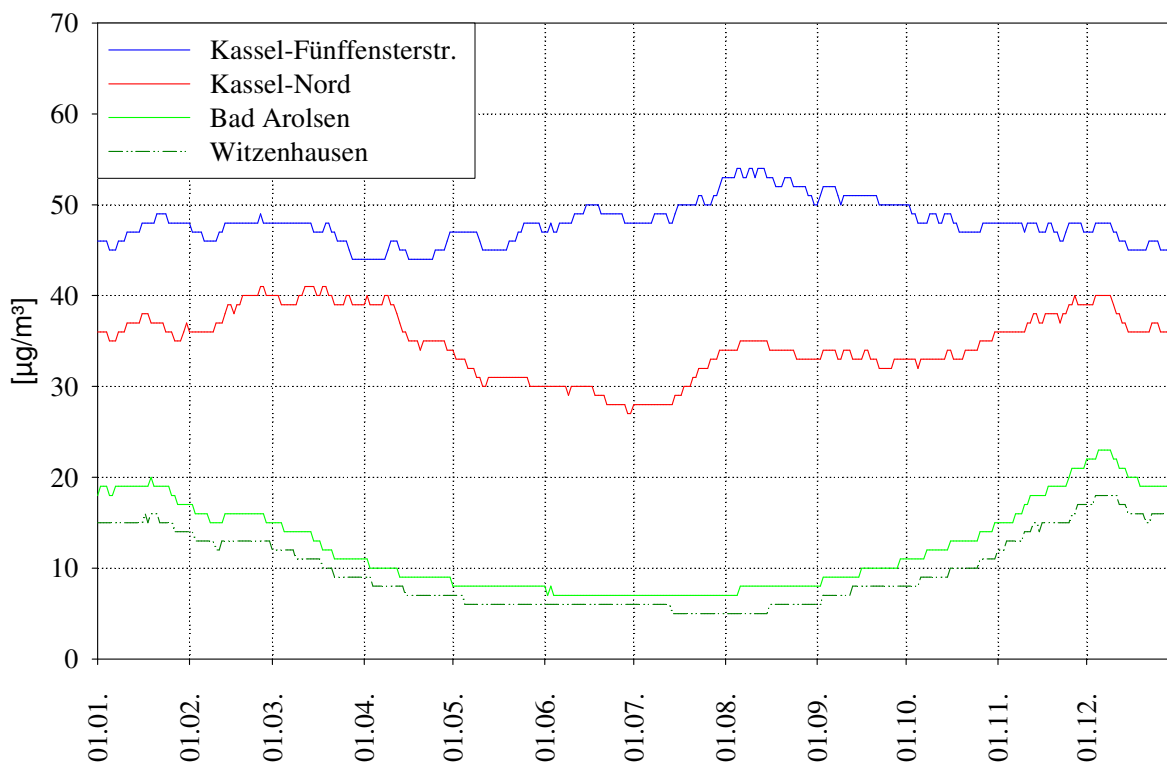


Abbildung 17: Mittlerer Jahresgang von NO₂ für die Jahre 2001 bis 2004

3.3 Bewertung der Immissionsbelastung

Die Darstellung der Belastungssituation hat durch Vergleich der Immissionskenngrößen im Zeitraum von 2001 bis 2005 einen Eindruck der zeitlichen Schwankung der für das Jahr 2003 ermittelten Immissionskenngrößen vermittelt. Die Darstellung der Jahresgänge zeigt, wie weit sich die Zeiten mit erhöhter Immissionsbelastung auf einzelne Jahreszeiten bzw. Monate beschränken oder ob Tage erhöhter Immissionsbelastung über das ganze Jahr verteilt auftreten können.

Bei PM₁₀ ist die Immissionskenngröße „Tag“ – also die Kurzzeitbelastung - im Bezugsjahr 2003 an beiden Kasseler Immissionsmessstationen überschritten. Von 2002 bis 2004 ist die mittlere Immissionsbelastung durch PM₁₀ zurückgegangen. Auch die Kurzzeitbelastung, charakterisiert durch die Zahl der Tage mit einem Tagesmittelwert größer 50 µg PM₁₀/m³ ist gesunken. Da von 2001 auf 2002 die PM₁₀-Belastung aber angestiegen war, lässt sich derzeit die Frage nicht beantworten, ob es sich um eine der üblichen durch unterschiedliche Ausprägung der Witterung von Jahr zu Jahr verursachte Schwankung der Immissionsbelastung oder um einen nachhaltigen Trend in der Immissionsentwicklung handelt. Eine Prognose für die für das Messjahr 2006 zu erwartenden Immissionskenngrößen ist bei diesem uneinheitlichen Trend schwierig. Die nach Monaten aufgeschlüsselte Zahl der Überschreitungen des Tagesmittels von 50 µg PM₁₀/m³ (siehe Abbildung 13) zeigt, dass in den Monaten Februar bis März die meisten Überschreitungen auftreten; entsprechend ist es sinnvoll vorrangig in dieser Zeit Maßnahmen zur Minderung der Überschreitungshäufigkeit umzusetzen.

Die NO₂-Belastung übersteigt an der Station Kassel-Fünffensterstraße im Jahresmittel den ab dem Jahr 2010 geltenden Immissionsgrenzwert „Jahr“ für NO₂. In den Jahren 2001 bis 2005 wurden dabei nur geringe Belastungsunterschiede zwischen den einzelnen Messjahren gefunden. Damit sind Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung dieses Luftschadstoffes festzulegen, um bis zum Jahr 2010 den Anforderungen der 22. BImSchV zu genügen. Wichtig ist aber, dass zur Minderung der PM₁₀-Belastung nicht Maßnahmen eingesetzt werden, die für die Minderung der NO₂-Belastung kontraproduktiv sind.

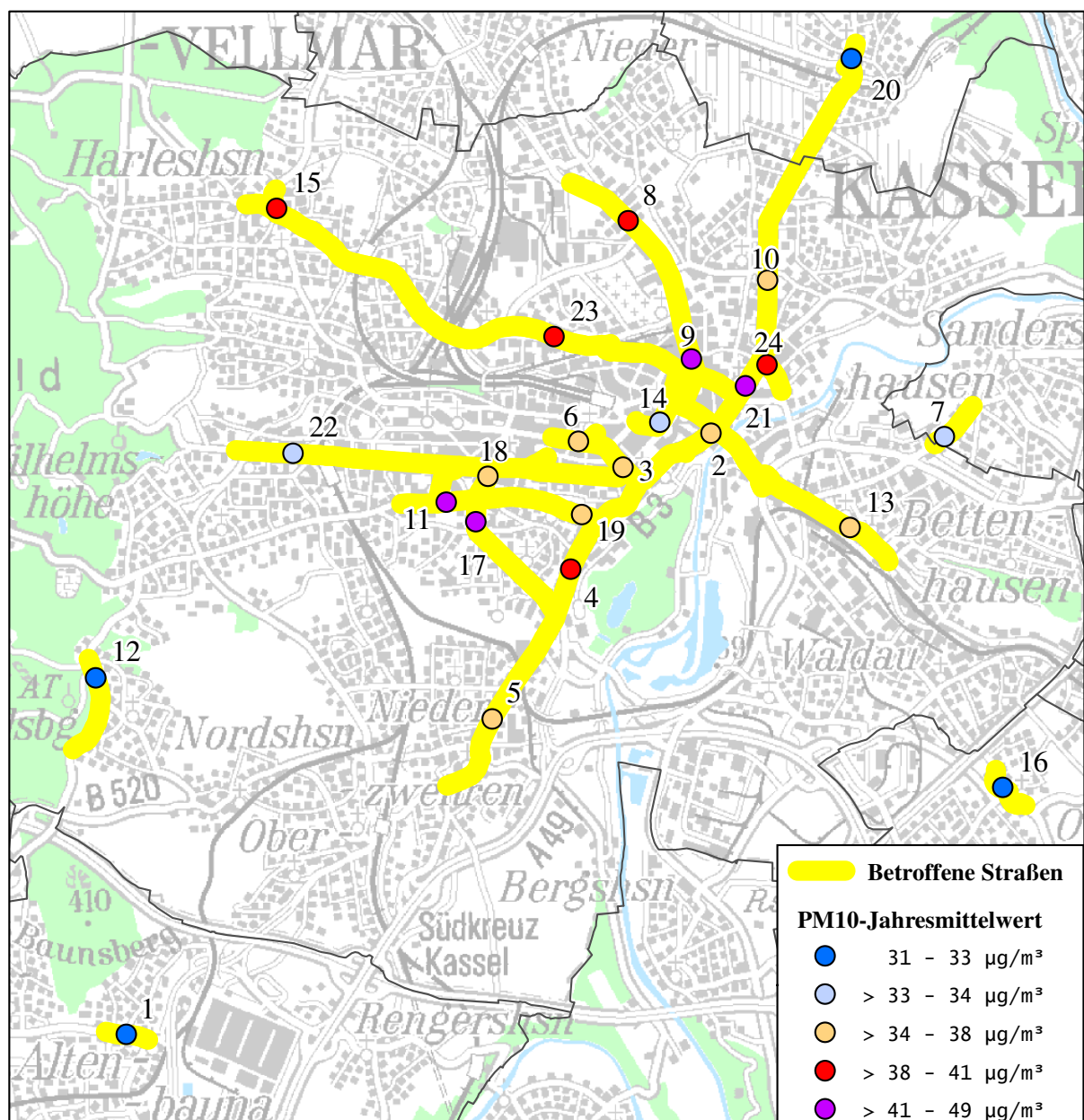
3.4 Betroffenheit der Bevölkerung

Nach Anlage 6 der 22. BImSchV ist in einem Luftreinhalteplan die Ausdehnung des Gebietes mit Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten und die der Verschmutzung ausgesetzte Bevölkerung abzuschätzen.

Relevant ist die Immissionsbelastung durch PM₁₀ – und zwar insbesondere durch die Überschreitung des Kurzzeitwertes (siehe Kap. 3.1). Da die Immissionsgrenzwerte für NO₂ ohne Berücksichtigung einer Toleranzmarge erst ab dem Jahr 2010 einzuhalten sind und an den beiden Messstationen bisher der Grenzwert mit Toleranzmarge eingehalten ist (siehe Kap. 3.3), wird die Betroffenheit der Bevölkerung durch die Größe der Fläche des Gebietes mit Immissionsgrenzwertüberschreitung bei PM₁₀ bestimmt.

Die Fläche mit PM₁₀-Immissionsgrenzwertüberschreitung wurde für den Kernbereich des Ballungsraums mittels Ausbreitungsrechnung simuliert (siehe Kap. 5). Dabei wurde für ein Gitternetz von Aufpunkten zunächst die Immissionskonzentration über Dach berechnet und für zusätzlich 24 Aufpunkte die Immissionsbelastung in der Straßenschlucht (siehe Tabelle 23). Daraus ergibt sich die Gesamtkonzentration an den 24 Aufpunkten (siehe Abbildung 18). Ergebnis der Ausbreitungsrechnung ist, dass im Bereich des Kasseler Beckens der Kurzzeitgrenzwert für PM₁₀ – zumindest in den Hauptverkehrsstraßen – verbreitet überschritten ist. Dieses Ergebnis wird durch die Kessellage von Kassel plausibel: Wenn bei einer austauscharmen Wetterlage das Kasseler Becken durch eine Inversion abgeschlossen ist, führt der schwache Luftaustausch unterhalb der Inversion zu einer weitgehend einheitlichen Immissionskonzentration innerhalb des Kasseler Beckens. Dies schließt nicht aus, dass in Zeiten ohne Inversion sich durchaus Konzentrationsunterschiede entsprechend der Emissionsstruktur aufbauen können.

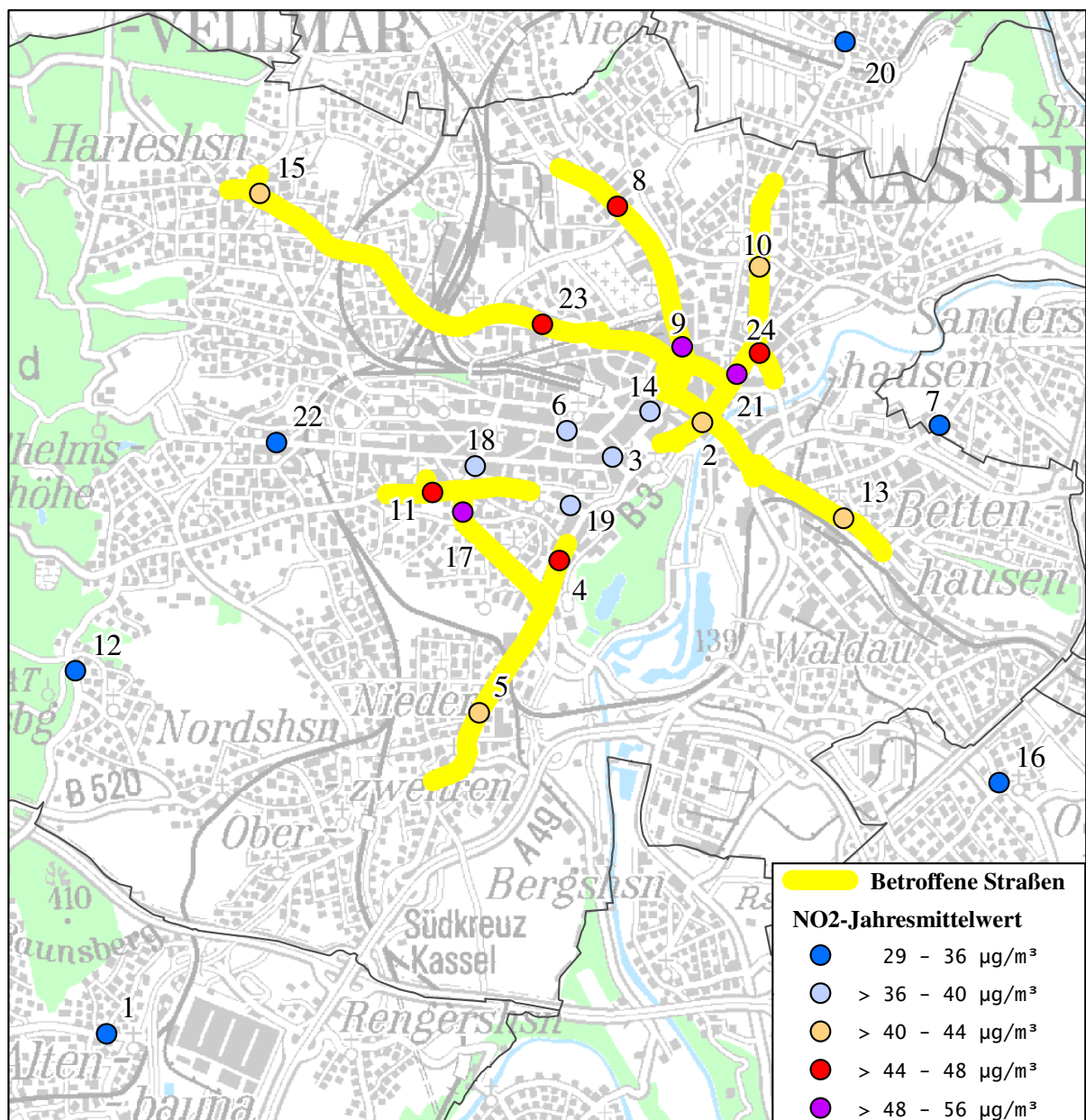
In Abbildung 18 ist die Lage der Aufpunkte, für die die PM₁₀-Gesamtbelastung im Bezugsjahr 2003 berechnet wurde, eingetragen. Der Straßenabschnitt, für den die berechnete Immissionsbelastung als repräsentativ angesehen wird, wurde gelb markiert, wenn die Kurzzeitkenngroße von PM₁₀ überschritten ist. Die Farbe des Aufpunktes gibt an, welcher Konzentrationswert als Jahresmittelwert durch die Ausbreitungsrechnung ermittelt wird. Diese Betrachtungsweise führt zu der Aussage, dass auf 36,8 Kilometern der Innenstadtstraßen der Kurzzeitgrenzwert von PM₁₀ überschritten ist. Nimmt man weiterhin an, dass die Bewohner bis 50 m links und rechts des Straßenabschnittes mit erhöhter Immissionsbelastung von der Immissionsbelastung in der Straßenschlucht direkt betroffen sind, ergibt sich eine Fläche von ca. 3,6 km² als Fläche, in der der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert von PM₁₀ überschritten ist. Dies entspricht unter Berücksichtigung der mittleren Einwohnerdichte für den Innenstadtbereich einer Zahl von 13.410 Einwohnern, welche durch die erhöhte Immissionsbelastung betroffen sind. Unter der Annahme, dass unter einer das Kasseler Becken abschließenden Inversion alle Einwohner von der erhöhten Immissionsbelastung betroffen sind und nicht nur die Einwohner links und rechts der Straßen mit hoher Verkehrsbelastung und ungünstiger Durchlüftung ist dies eher als untere Grenze für die Zahl der Betroffenen anzusehen.



Aufpunkte:

1: Altenritter Str. 15 (Baunatal); 2: Brüderstr. 5; 3: Fünffensterstr. 14; 4: Frankfurter Str. 102; 5: Frankfurter Str. 247; 6: Friedrich-Ebert-Str. 32; 7: Hannoversche Str. 8 (Niestetal); 8: Holländische Str. 157; 9: Holländische Str. 28; 10: Ihringshäuser Str. 43; 11: Kohlenstr. 40; 12: Konrad-Adenauer-Str. 73; 13: Leipziger Str. 159; 14: Mauerstr. 11; 15: Obervellmarer Str. 4; 16: Ochshäuser Dorfstr. 12 (Lohfelden); 17: Schönfelder Str. 50; 18: Schönfelder Str. 6; 19: Tischbeinstr. 18; 20: Veckerhagener Str. 66 (Fulda); 21: Weserstr. 17; 22: Wilhelmshöher Allee 286; 23: Wolfhager Str. 124; 24: Ysenburgstr. 29

Abbildung 18: Von PM10 betroffene Straßen im Ballungsraum Kassel auf Basis der Ausbreitungsrechnung (Bezugsjahr 2003)



Aufpunkte:

1: Altenritter Str. 15 (Baunatal); 2: Brüderstr. 5; 3: Fünffensterstr. 14; 4: Frankfurter Str. 102; 5: Frankfurter Str. 247; 6: Friedrich-Ebert-Str. 32; 7: Hannoversche Str. 8 (Niestetal); 8: Holländische Str. 157; 9: Holländische Str. 28; 10: Ihringshäuser Str. 43; 11: Kohlenstr. 40; 12: Konrad-Adenauer-Str. 73; 13: Leipziger Str. 159; 14: Mauerstr. 11; 15: Obervellmarer Str. 4; 16: Ochshäuser Dorfstr. 12 (Lohfelden); 17: Schönfelder Str. 50; 18: Schönfelder Str. 6; 19: Tischbeinstr. 18; 20: Veckerhagener Str. 66 (Fuldatal); 21: Weserstr. 17; 22: Wilhelmshöher Allee 286; 23: Wolfhager Str. 124; 24: Ysenburgstr. 29

Abbildung 19: Von NO₂ betroffene Straßen im Ballungsraum Kassel auf Basis der Ausbreitungsrechnung (Bezugsjahr 2003)

4 Ursachen der Immissionsbelastung

Nach § 47 Abs. 4 BImSchG [1] sind die Maßnahmen entsprechend des Verursacheranteils unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Emittenten zu richten, die zum Überschreiten der Immissionsgrenzwerte beitragen. Mit Hilfe der emittentenbezogenen Ursachenanalyse wird ermittelt, welche Emittenten welchen Anteil zur Immissionsbelastung an den Aufpunkten beitragen, an denen Immissionsgrenzwertüberschreitungen festgestellt wurden.

Dazu wurden folgende Grundlagen herangezogen:

- Aussagen auf Basis des Emissionskatasters und der anlagenbezogenen Angaben über die Emissionsraten,
- Auswertung der Immissionsmessungen auf emittentenbezogene Hinweise,
- emittentenbezogene Ursachenanalyse mittels Ausbreitungsrechnung (Kapitel 5).

4.1 Emissionsstrukturen und Emissionsverhältnisse im Ballungsraum Kassel

Das Emissionskataster umfasst die erhobenen Emissionsmengen gasförmiger und staubförmiger Luftverunreinigungen, die von den unterschiedlichen Emittentengruppen (Quellengruppen) freigesetzt werden. Es wird für das Bundesland Hessen vom HLUG geführt [68]. Nähere Informationen zum Emissionskataster Hessen können auch auf der Internetseite des HLUG (www.hlug.de) abgerufen werden. Von den sechs Emittentengruppen Industrie, Kleingewerbe, Gebäudeheizung, Kfz-Verkehr, Biogene und nicht gefasste Quellen, Privater Verbrauch und Handwerk haben Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr die größte Relevanz für die Luftreinhalteplanung in Ballungsräumen.

4.1.1 Emissionsstruktur für PM₁₀

Die Emissionsbilanz von PM₁₀ für den Bereich des Ballungsraumes Kassel ist für die drei Teilkataster Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr in Tabelle 10 für das derzeit verfügbare Bezugsjahr 2000 zusammengestellt. Die Fortschreibung für das Emissionskataster Hessen wird nicht vor Ende 2006 für alle Teilkataster verfügbar sein und kann daher noch nicht genutzt werden. Ergänzend sind in der Tabelle auch die Ergebnisse der vorhergehenden Emissionserhebung für den Bereich des Ballungsraumes Kassel angegeben. Nicht in der Bilanz enthalten sind die Emissionen des außerhalb des Ballungsraumes Kassel liegenden Flughafens Kassel-Calden. Die Emissionen des Schiffsverkehrs auf der Fulda sind vernachlässigbar. Die Emissionen der Eisenbahn (Diesellokomotiven) wurden auf ca. 5 % der Kfz-Emissionen geschätzt.

Emittentengruppe	aktuelle Erhebung			vorhergehende Erhebung			Änderung
	[t/a]	Jahr	[%]	[t/a]	Jahr	[%]	
Kfz-Verkehr	100,3	2000	56	134,2	1995	42	-25
Gebäudeheizung	39,1	2000	22	119,3	1994	38	-67
Industrie	39,4	2000	22	63,8	1996	20	-38
davon Großfeuerungsanlagen	6,5	2000		15,8	1996		-59
Summe	179		100	317		100	

Tabelle 10: Emissionsbilanz von PM₁₀ für den Ballungsraum Kassel

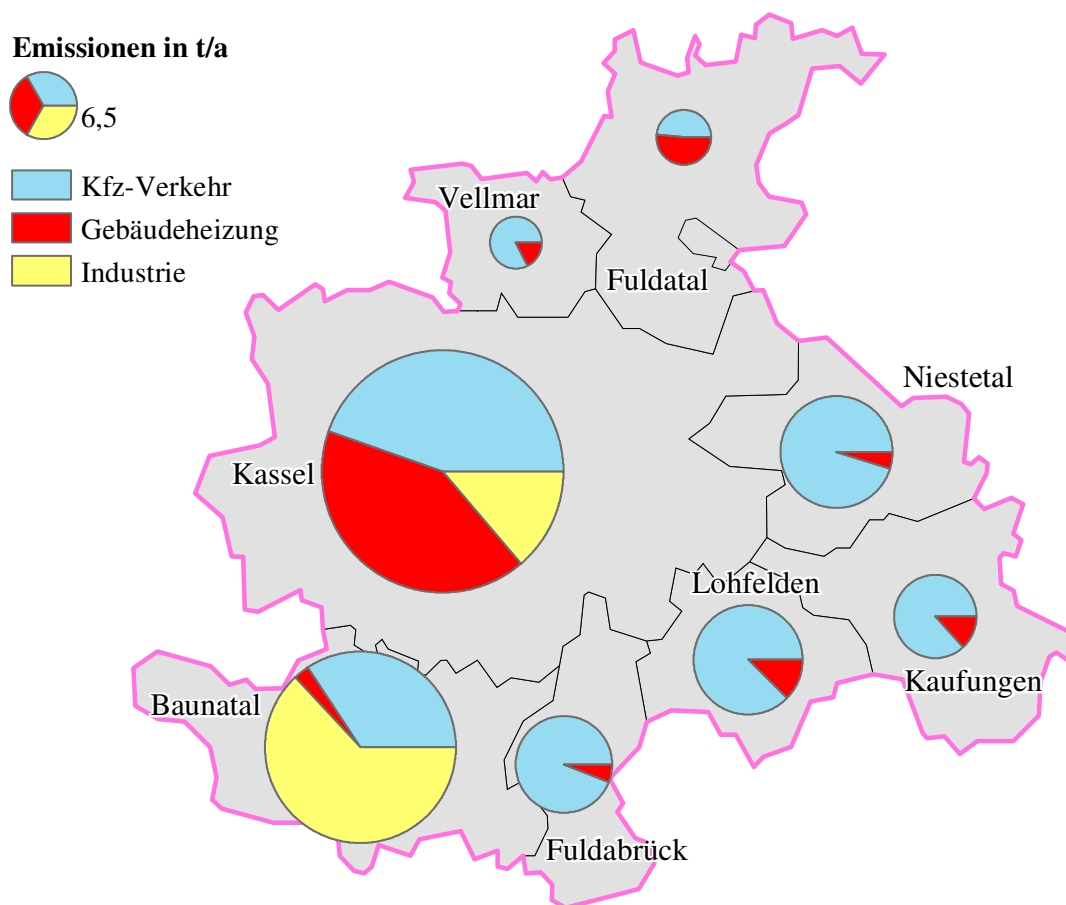


Abbildung 20: Räumliche Struktur der PM10-Emissionen für das Bezugsjahr 2000

Um die räumliche Verteilung der Emissionen zu verdeutlichen, sind in der Abbildung 20 die Emissionen gemeindespezifisch - jeweils aufgegliedert nach den drei Emittentengruppen - als Tortendiagramm dargestellt. Die Größe der Kreise entspricht der emittierten Menge. Tabelle 11 enthält die Zahlenangaben für die Abbildung 20. Die meisten Emissionen werden in Kassel freigesetzt. Die beiden wichtigsten Emittentengruppen sind Verkehr und Gebäudeheizung. Bei Kommunen mit hohem Verkehrsaufkommen ist der Verkehr sogar die wichtigste Emittentengruppe (siehe Abbildung 10 und Tabelle 6). Die Bedeutung von Baunatal als Industriestandort wird durch PM10-Emissionen aus dieser Quellgruppe bestätigt. Darauf hinzuweisen ist, dass in dem Kataster Kfz-Verkehr bisher aber nur die PM10-Emissionen aus dem Auspuff enthalten sind. Zusätzliche Staubquellen im Bereich Kfz-Verkehr sind z. B. der Abrieb von den Bremsen oder die Staubaufwirbelung durch das Fahrzeug; dieser Beitrag kann dieselbe Größenordnung wie die PM10-Emissionen aus dem Auspuff erreichen. Diese zusätzlichen Staubquellen sind im Gegensatz zu den Angaben im Kapitel 4 bei den Modellrechnungen berücksichtigt worden.

Kommunen/Gebiet	Summe [t/a]	Kfz-Verkehr [%]	Gebäudeheizung [%]	Industrie [%]
Baunatal	46,3	34	3	63
Fuldabrück	11,8	94	6	0,18
Fuldaatal	3,8	48	51	0,32
Kassel	74,1	45	42	14
Kaufungen	8,6	87	13	-
Lohfelden	15,0	88	12	-
Niestetal	15,9	95	5	-
Vellmar	3,4	82	18	-
Ballungsraum	179	56	22	22
Hessen	6.190	47	17	36

Tabelle 11: Prozentuale Verteilung der Emissionen von PM10, aufgeschlüsselt nach Gemeinden (Bezugsjahr 2000)

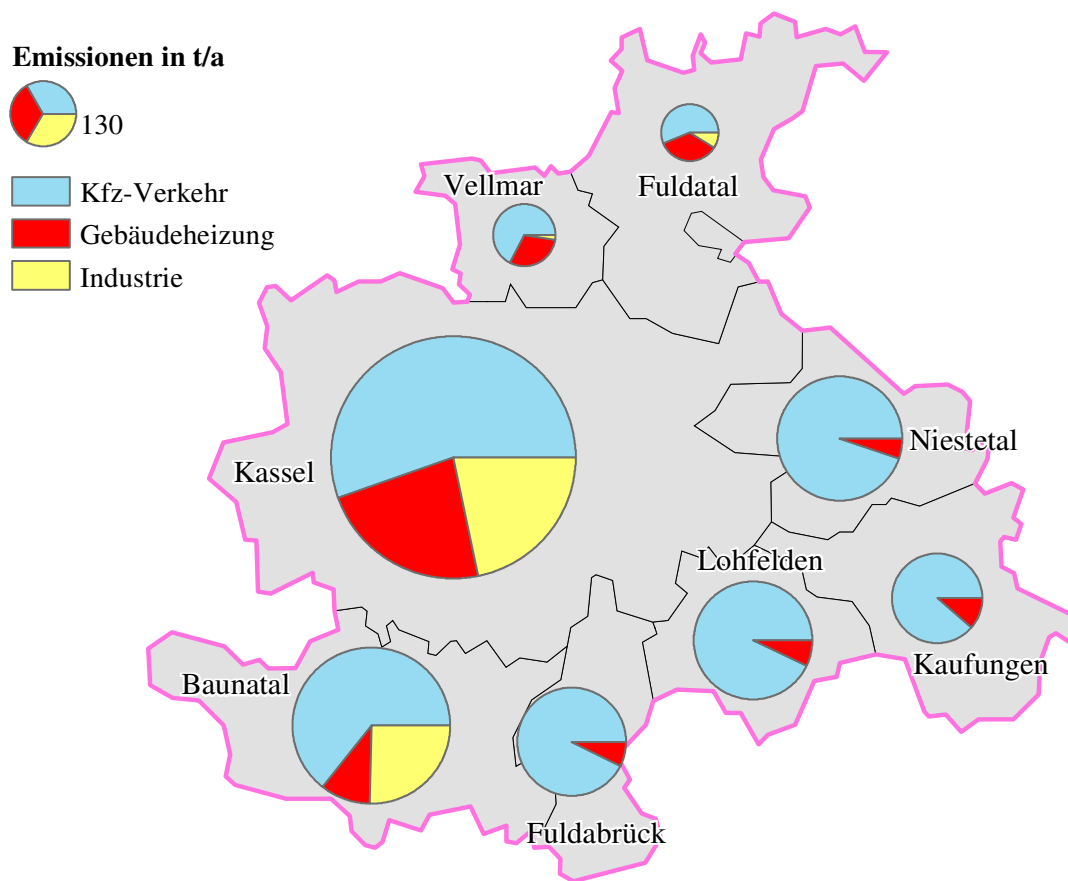
4.1.2 Emissionsstruktur für die Stickstoffoxide (NO_x)

Entsprechend der Emissionsbilanz für PM10 (siehe Tabelle 10) ist in Tabelle 12 für den Ballungsraum Kassel die Emissionsbilanz für Stickstoffoxide (NO_x) für das Erhebungsjahr 2000 zusammengestellt. Die Emissionsbilanz ist aufgegliedert nach den Emissionsbeiträgen der Emittentengruppen Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr. Um die Emissionsentwicklung zu beschreiben, sind in Tabelle 12 auch die Ergebnisse der vorhergehende Emissionserhebung mit angegeben. Hinsichtlich der Emissionen des Flughafens Kassel-Calden, des Schiffsverkehrs und der Eisenbahn gilt das oben zur Emissionsbilanz von PM10 Gesagte auch für die NO_x-Emissionen.

Emittentengruppe	aktuelle Erhebung			vorhergehende Erhebung			Änderung
	[t/a]	Jahr	[%]	[t/a]	Jahr	[%]	[%]
Kfz-Verkehr	2.610	2000	70	3.120	1995	66	-16
Gebäudeheizung	579	2000	16	770	1994	16	-25
Industrie	514	2000	14	834	1996	18	-38
davon Großfeuerungsanlagen	228	2000		348	1996		-34
Summe	3.700		100	4.720		100	

Tabelle 12: Emissionsbilanz von NO_x für den Ballungsraum Kassel

In der Abbildung 21 sind die NO_x-Emissionen als Tortendiagramm dargestellt. Die Struktur bei NO_x ist vergleichbar mit der von PM10, wobei der Verkehr als wichtigste Quellgruppe für NO_x viel deutlicher in Erscheinung tritt. Den niedrigsten Verkehrsanteil hat Kassel mit 55 %, während in drei Kommunen der Anteil bei über 90 % liegt (siehe Tabelle 13). Bei dem Vergleich mit der Tabelle 6 fällt auf, dass in diesen Gemeinden ein hoher Anteil der Verkehrsleistung auf den Autobahnen stattfindet.



**Abbildung 21: Räumliche Struktur der NO_x-Emissionen für das Bezugsjahr 2000
(angegeben als NO₂)**

Kommunen/ Gebiet	Summe [t/a]	Kfz-Verkehr [%]	Gebäudeheizung [%]	Industrie [%]
Baunatal	649	64	10	25
Fuldabrück	310	93	7,4	< 0,01
Fuldataal	86,4	56	35	8,8
Kassel	1560	55	23	22
Kaufungen	213	89	11	-
Lohfelden	367	93	7,0	-
Niestetal	410	95	5,2	-
Vellmar	102	67	30	2,5
Ballungsraum	3.700	70	16	14
Hessen	101.000	71	12	17

**Tabelle 13: Prozentuale Verteilung der Emissionen von NO_x, aufgeschlüsselt nach
Gemeinden für das Bezugsjahr 2000 (angegeben als NO₂)**

4.2 Emittentenbezogene Ursachenanalyse

4.2.1 Analyse für die Emittentengruppe Kfz-Verkehr

Bei der Ermittlung der Emissionen je Straßenabschnitt wird berücksichtigt, dass die Emissionen je Kfz-Klasse bzw. je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich sind. Diese Aufgliederung der Kfz-Emissionsraten nach Kfz-Klassen bringt für die Entwicklung von Maßnahmenkonzepten wesentliche Ansatzpunkte. Abbildung 22 zeigt die Auswertung der Emissionsdaten für die Fünffensterstraße in Kassel (Standort der verkehrsbezogenen Luftmessstation). Grundlage hierfür ist ein Verkehrsaufkommen von ca. 23.000 Fahrzeugen pro Tag im Jahr 2004 mit einem geschätzten Anteil von 7,9 % Lkw-Verkehr und 0,7 % Bus-Verkehr (Quelle: Zweckverband Raum Kassel). Die Emissionsfaktoren für das Jahr 2005 wurden dem Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA-Handbuch) [85] entnommen. Bei den Emissionen überwiegt der Lkw-Anteil deutlich. Auch die Busse haben, verglichen mit ihrem Verkehrsanteil, einen hohen Anteil an den Emissionen. Bei den Pkws haben die Fahrzeuge mit einem Otto-Motor bei den NO_x -Emissionen nur einen Anteil von 11,6 % obwohl sie rund 73 % der Fahrzeuge stellen. Diesel-Pkws emittieren pro Fahrzeug mehr NO_x als Pkws mit Otto-Motor; deshalb verursachen sie 4,5 % der NO_x -Emissionen bei einem Verkehrsanteil von rund 13 %. Ähnlich wie bei den NO_x -Emissionen dominiert auch bei PM_{10} der Lkw-Verkehr die Emissionsrate. Entscheidend für die Höhe der Emissionen ist also nicht nur ein hohes Verkehrsaufkommen, sondern auch die Zusammensetzung der Kfz-Flotte (siehe Tabelle 16). Maßnahmen zur Minderung der Immissionsbelastung beim Kfz-Verkehr sind für NO_x und PM_{10} am effizientesten bei den schweren Lkws und Bussen mit Dieselmotor, soweit diese noch keinen leistungsfähigen Partikelfilter und keine funktionsfähige Vorrichtung zur NO_x -Minderung haben.

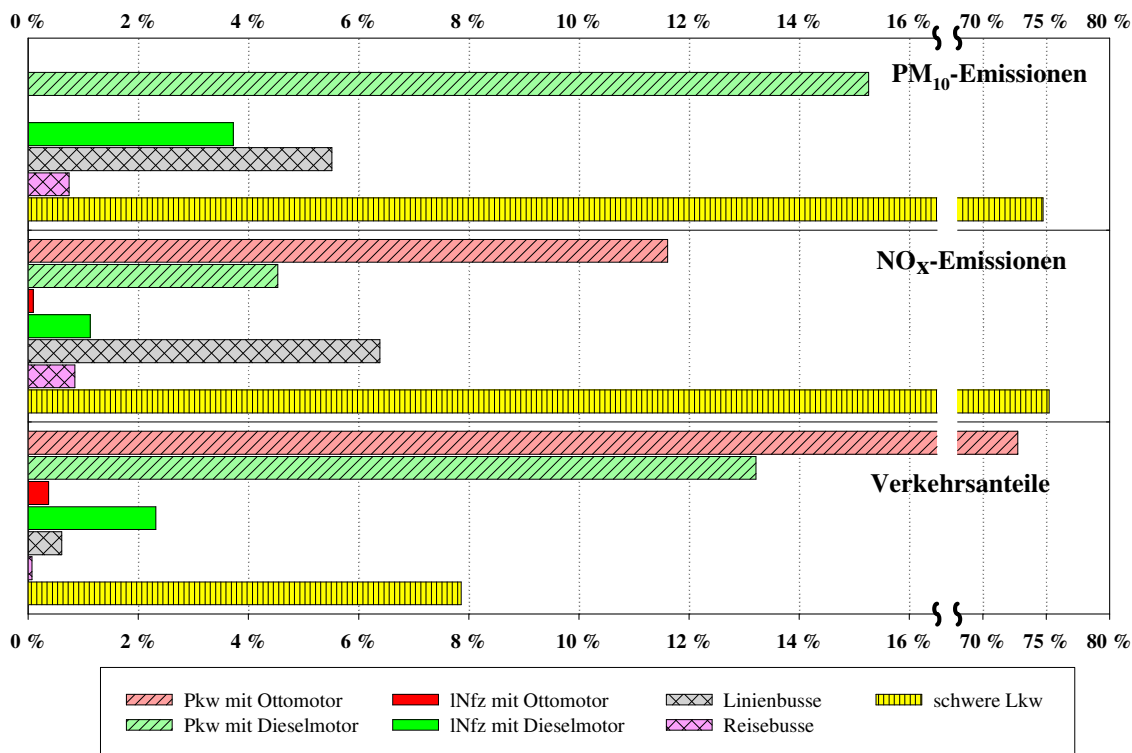


Abbildung 22: Aufschlüsselung der Emissionen des Kfz-Verkehrs nach Kfz-Klassen für die Fünffensterstraße in Kassel

In Abbildung 10 ist das Verkehrsaufkommen auf den Fernstraßen im Kasseler Raum abgebildet. Für drei Straßenabschnitte wurden die Emissionen von PM₁₀ (siehe Tabelle 14) und NO_x (siehe Tabelle 15) berechnet. Wie in der Fünffensterstraße liegt der Anteil der durch Lkws mit Dieselmotor verursachten Emissionen sowohl bei PM₁₀ als auch bei NO_x bei rund 70 %.

Straße	von bis	Länge [km] [km]	Emis- sionen [t/a]	Otto- motor [%]	Diesel- motor [%]	Pkw + leichte Nfz [%]	schwere Lkw [%]	Busse [%]
Bundesstr. B 7	Kaufungen - Niestetal	10,6	5	0	100	18,2	79,2	2,7
Autobahn A 7	Fuldabrück - Niestetal	27,9	40	0	100	26,7	71,2	2,1
Autobahn A 44	Schauenburg - Südkreuz Kassel	15,5	20	0	100	25,6	72,7	1,7

Tabelle 14: PM₁₀-Emissionen auf ausgewählten Straßen im Raum Kassel für das Bezugsjahr 2000

Straße	von bis	Länge [km] [km]	Emis- sionen [t/a]	Otto- motor [%]	Diesel- motor [%]	Pkw + leichte Nfz [%]	schwere Lkw [%]	Busse [%]
Bundesstr. B 7	Kaufungen - Niestetal	10,6	123	16,5	83,5	4,7	75,6	3,2
Autobahn A 7	Fuldabrück - Niestetal	27,9	1.024	19,0	81,0	4,8	73,4	2,7
Autobahn A 44	Schauenburg - Südkreuz Kassel	15,5	526	18,7	81,3	4,8	74,4	2,2

Tabelle 15: NO_x-Emissionen auf ausgewählten Straßen im Raum Kassel für das Bezugsjahr 2000 (angegeben als NO₂)

In der Tabelle 16 sind die Emissionsfaktoren für PM₁₀ und NO_x zur Berechnung der Kfz-Emissionen aufgelistet. Die Anteile von Benzin- und Dieselmotoren an der jeweiligen Fahrzeugkategorie für das Bezugsjahr 2005 bilden die Grundlage für die Berechnung der durchschnittlichen Emissionsfaktoren [86]. Die Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge und Busse sind deutlich höher als die der Pkws. Insbesondere die schweren Nutzfahrzeuge > 7,5 t können aufgrund der hohen Emissionsfaktoren die Immissionssituation innerorts verschärfen. Bei Fahrzeugen mit Benzinmotor wird grundsätzlich von keinen PM₁₀-Emissionen ausgegangen. Durch die Ausrüstung der Benzin-Pkws mit Katalysatoren sind die NO_x-Emissionsfaktoren für diese Fahrzeuge relativ niedrig mit nur geringen Unterschieden je Straßenkategorie.

Fahrzeugkategorien	Emissionsfaktoren für die Verkehrssituation					
	PM10 [g PM10 /km]			NO _x [g NO ₂ /km]		
	innerorts	außerorts	Autobahn	innerorts	außerorts	Autobahn
Pkw Benzin	-	-	-	0,16	0,16	0,21
Pkw Diesel	0,04	0,03	0,05	0,52	0,42	0,60
leichte Nfz Benzin	-	-	-	0,46	0,55	0,99
leichte Nfz Diesel	0,06	0,05	0,10	0,65	0,56	0,90
schwere Nfz < 7,5 t	0,16	0,09	0,09	3,69	3,15	3,49
schwere Nfz > 7,5 t	0,32	0,16	0,15	11,1	7,41	7,36
Reisebus	0,36	0,16	0,16	13,5	7,51	7,51
Linienbus	0,34	0,19	-	11,5	7,55	-

Tabelle 16: Durchschnittliche Emissionsfaktoren für PM10 und NO_x nach Straßen- und Fahrzeugkategorien für gewichtete Verkehrssituationen [86]

Neben den Partikelemissionen aus dem Auspuff setzt der Kfz-Verkehr auch durch Abrieb (z. B. der Autoreifen oder der Bremsen) und Aufwirbelung Partikel frei. Die Rußpartikel, die aus den Abgasen von Dieselmotoren stammen, weisen überwiegend einen aerodynamischen Durchmesser < 1 µm auf [77]. Die Staubpartikel, die durch Abrieb bzw. Aufwirbelung entstehen, haben einen größeren Durchmesser. Es wurden Untersuchungen durchgeführt, an Hand von Immissionsmessung von PM1 und PM10 zwischen den Emissionen aus dem Auspuff und den Abrieb- und Aufwirbelungsemissionen zu unterscheiden [73, 81]. Der Einfluss verschiedener Faktoren wie Fahrzeuggeschwindigkeit oder Qualität des Straßenbelags wurde ebenfalls untersucht [82]. In den Mengenangaben zu den Kfz-Emissionen in Kapitel 4.1.1 und 4.2.1 ist der Anteil aus Aufwirbelung bzw. Abrieb nicht enthalten. Rechnet man diesen Anteil hinzu, würden sich die Kfz-Emissionen etwa verdoppeln.

Im Gegensatz zu den Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung weisen die Emissionen des Kfz-Verkehrs eine sehr niedrige Quellhöhe auf. Bei der Emissionssituation in einer engen Straßenschlucht mit schlechten Austauschverhältnissen ist es daher plausibel, dass der Kfz-Verkehr immisionsseitig eine hohe Relevanz hat.

4.2.2 Analyse für die Emittentengruppe Gebäudeheizung

Das Emissionskataster Gebäudeheizung enthält die Daten der nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen [70]. In ihm 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 nach § 4 BImSchG [1] in Verbindung mit § 1 4. BImSchV [8] der Genehmigungspflicht unterliegen. Die Emittentengruppe Gebäudeheizung setzt sich deshalb aus den Bereichen „private Haushalte“ und „sonstige Kleinverbraucher“ zusammen.

Da die Emittentengruppe Gebäudeheizung für die Komponente PM10 von Bedeutung ist, sind die Angaben für die Bereiche „private Haushalte“ und „sonstige Kleinverbraucher“ in der Tabelle 17 aufgeführt. Die Emissionsrate von 30,9 t PM10/a für die Stadt Kassel wird aber nicht nur durch die hohe Anzahl von Wohnungen bestimmt sondern auch durch die Emissionen der Heizungen für die „sonstigen Gebäude“ wie Bürogebäude, Läden, Werkstätten usw. Zum Vergleich enthält die Tabelle auch die Angaben für den Odenwaldkreis – eines Kreises mit einem hohen Anteil von Öl- und Feststofffeuerungen - und für das Land Hessen. Die für eine Gemeinde ermittelte Emissionsrate hängt aber nicht nur von der Anzahl der beheizten Gebäude ab, sondern wird wesentlich auch davon bestimmt, welche Brennstoffe eingesetzt werden.

Kommunen/Gebiet	private Haushalte			sonstige Kleinverbraucher		Gebäude- heizung
	Emissionen	Wohnungen	Emissionen/ Wohnung	Emissionen	Anteil an Ge- bäudeheizun- g	
	t/a	Anzahl	kg/a	t/a	[%]	
Baunatal	0,42	12.330	0,03	0,81	65,8	1,22
Fuldabrück	0,36	4.165	0,09	0,34	48,4	0,70
Fuldata	0,76	5.792	0,13	1,20	61,4	1,96
Kassel (Stadt)	15,9	100.960	0,16	15,0	48,5	30,9
Kaufungen	0,51	5.808	0,09	0,63	55,2	1,15
Lohfelden	1,31	6.346	0,21	0,54	29,1	1,85
Niestetal	0,45	4.972	0,09	0,31	41,0	0,76
Vellmar	0,28	8.457	0,03	0,32	53,0	0,60
Ballungsraum Kassel	22,5	108.403	0,21	18,0	44,5	40,5
Odenwaldkreis	21,1	41.405	0,51	20,2	49,0	41,3
Hessen	563	2.734.399	0,21	516	47,8	1.079

Tabelle 17: PM10-Emissionen der Emittentengruppe Gebäudeheizung (Bezugsjahr 2000)

In der Tabelle 18 sind für einige Energieträger die Emissionsfaktoren von PM10 und NO_x aufgelistet. Vor allem bei PM10 sind die Unterschiede zwischen Gas und den festen Brennstoffen deutlich. Durch einen Wechsel des Energieträgers können die Emissionen deutlich reduziert werden.

Energieträger	Heizwert [kWh/Kg]	PM10 [g/MWh]	NO _x ¹⁾ [g/MWh]
Heizöl EL	11,86	5,4	162
Erdgas	12,78	0,11	151
Flüssiggas	12,78	0,11	299
Holz, natur luftgetrocknet	4,17	140	216
Stroh	4,25	1.188	198
Braunkohlebrikett Lausitz	5,25	130	324
Braunkohlebrikett Rheinland	5,47	263	360
Koks (Steinkohle)	7,97	83	234
Anthrazit (Steinkohle)	8,92	19,4	126

¹⁾ Summe aus NO und NO₂, angegeben als NO₂

Tabelle 18: Beispiele für Emissionsfaktoren der Emittentengruppe Gebäudeheizung [70]

Immissionsseitig ist noch zu beachten, dass die Emissionen aus dem Bereich Gebäudeheizung hauptsächlich in der kalten Jahreszeit freigesetzt werden (siehe Tabelle 2). Die Freisetzung der Emissionen erfolgt durch Schornstein auf dem Dach und damit oberhalb der Straßenschluchten. Darüber hinaus müssen die Schornsteine von Wohngebäuden eine weitgehend freie Abströmung der Abgase gewährleisten.

4.2.3 Analyse für die Emittentengruppe Industrie

Das Emissionskataster Industrie erfasst die Emissionen der im Anhang der 4. BImSchV [8] genannten genehmigungsbedürftigen Anlagen. Die 11. BImSchV [10] verpflichtet die Betreiber dieser Anlagen, Emissionserklärungen der zuständigen Überwachungsbehörde vorzulegen. Betreiber von Anlagen, von denen nur in geringem Umfang Luftverunreinigungen ausgehen können, sind von der Pflicht zur Abgabe einer Emissionserklärung befreit. Die Befreiung von der Erklärungspflicht ist in § 1 der 11. BImSchV [10] geregelt.

Die Auswertungen beruhen auf den Daten der Emissionserklärungen für das Jahr 2000, da die Daten der Emissionserklärungen 2004 erst nach der Überprüfung Anfang 2006 für Auswertungen zur Verfügung stehen. In der Tabelle 19 sind die Emissionen aus dem Bereich Industrie getrennt nach den Obergruppen der 4. BImSchV [8] aufgelistet. Den Hauptanteil der NO_x-Emissionen haben die Kraftwerke, während bei PM10 die metallverarbeitende Industrie dominiert.

Hauptgruppe	Beschreibung	Anlagenzahl	PM10 [t/a]	NO _x [t/a]
01	Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie	26	6,64	316
02	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe	3	0,11	
03	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung	9	28,8	71,8
04	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung	1		
05	Oberflächenbehandlung mit org. Stoffen, Herst. bahnförmiger Materialien aus Kunststoffen, sonst. Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen	5	0,01	29,8
06	Holz, Zellstoff	0		
07	Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse	3	0,69	1,6
08	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen	3	0,67	74,4
09	Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Zubereitungen	4	0,81	
10	Sonstiges	12	1,71	20,4
Gesamt		66	39,4	514

Tabelle 19: Aufteilung der Industrieemissionen im Ballungsraum Kassel auf die Obergruppen der 4. BImSchV (Bezugsjahr 2000)

Die Quelhöhe über Grund ist für die lufthygienische Bewertung der immissionsseitigen Auswirkung von Emissionen ein wichtiges Kriterium. Hohe Schornsteine bewirken eine relativ gleichmäßige Verteilung der Emissionen in der Atmosphäre. Auch bei hohen Emissionsmassenströmen ist bei der Emissionsableitung über ausreichend dimensionierte Schornsteine, die aus diesen Emissionen resultierende Immissionsbelastung im Einwirkungsbereich nur gering. Bei größeren Quellentfernungen verliert die ursprüngliche Emissionsmenge durch den Verdünnungseffekt für die resultierende Immissionsbelastung an Bedeutung. Wenn die Emissionen dagegen über niedrige Schornsteine freigesetzt werden, können auch geringe Emissionsmassenströme - gemessen an den Emissionen - zu deutlichen Immissionseinwirkungen im Nahbereich um die Quelle führen. In Abbildung 23 sind für NO_x und PM10 die Emissionen nach den Quelhöhen aufgegliedert. Die Quelhöhen sind hierbei zu Höhenklassen zusammengefasst. Die Abbildung zeigt, dass sowohl bei PM10 als auch bei NO_x über 50 % der Industrie-Emissionen über Schornsteine größer 60 m Bauhöhe abgeleitet werden und damit bezogen auf die Emissionsrate nur einen geringen Beitrag zur Immissionsbelastung leisten.

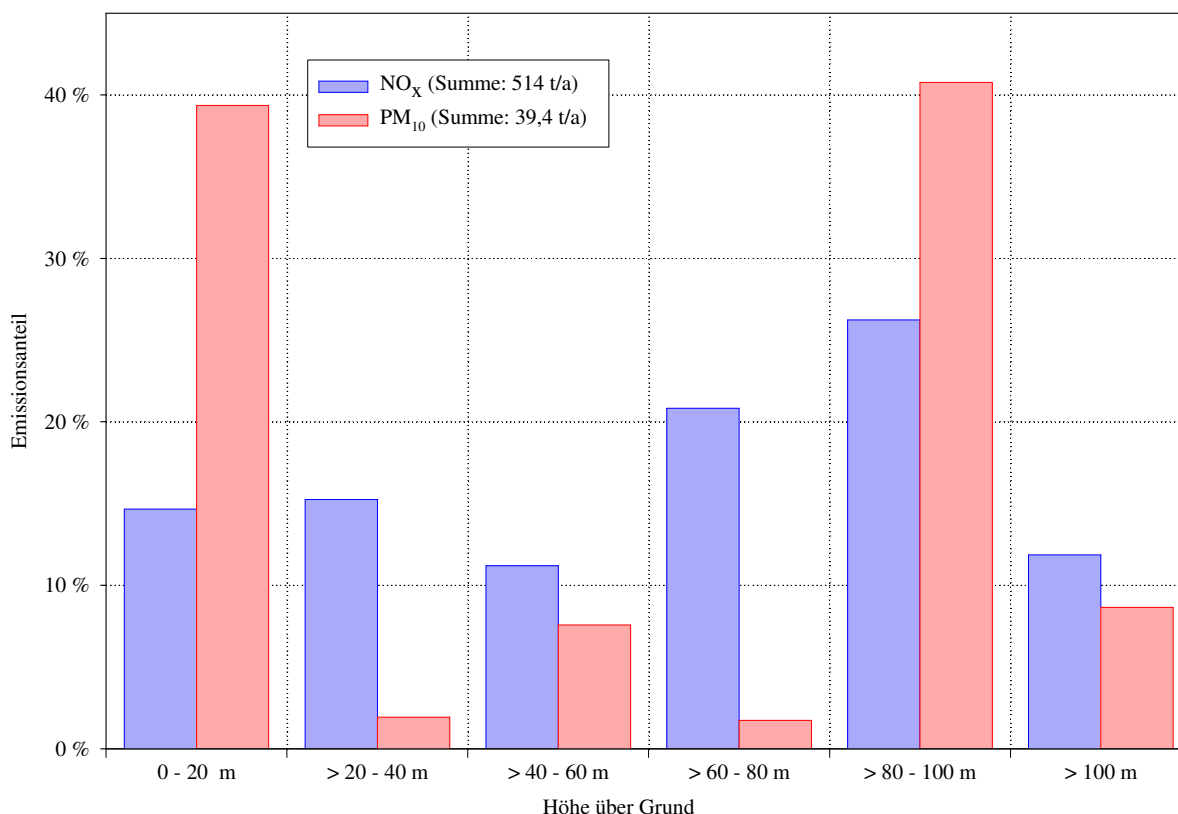


Abbildung 23: Quellhöhe für die Emissionen der Emittentengruppe Industrie im Bezugsjahr 2000

4.3 Analyse auf Basis der Auswertung der Immissionsmessungen

Die in Kassel gemessene - bzw. allgemein die an einem Aufpunkt gemessene - Immissionsgesamtbelastung setzt sich zusammen aus dem Beitrag

- der von außen in den Ballungsraum eingetragen wird (Hintergrundbelastung),
- der von den Emissionen im Ballungsraum (Städtische Vorbelastung) verursacht wird und
- der Emissionen aus dem direkten Umfeldes des Aufpunktes in der Straßenschlucht (Straßenanteil).

Die Beiträge dieser drei Bereiche addieren sich zu der Immissionsgesamtbelastung. Diese Einflüsse zu trennen, ist generell schwierig, da die Beiträge dieser drei Quellbereiche zur Immissionsgesamtbelastung an den betrachteten Aufpunkten wegen unterschiedlicher Wetterbedingungen, aber auch wegen variierender Emissionsverhältnisse nicht konstant sind.

4.3.1 Auswertung der Messdaten von PM10

Abbildung 24 zeigt den mittleren Wochengang von PM10, getrennt nach Sommer und Winter auf Basis der Halbstundenmittelwerte. Durch die zeitliche Auflösung ist auch der Tagesgang von PM10 erkennbar. Ursache für diesen Tagesgang sind neben dem Tagesgang der Emissionen (z. B. Kfz-Verkehr) vor allem die unterschiedlichen Ausbreitungsverhältnisse im Verlauf des Tages. Es kommt außerdem deutlich heraus, dass PM10 einen sehr hohen Grundpegel aufweist, da auch die Werte an der ländlichen Messstation Bad Arolsen um die 20 µg/m³ liegen und die PM10-Konzentration zur Zeit des Minimums nicht unter 10 µg/m³ zurückgeht. Der Wochengang im Winter weist ein höheres Konzentrationsniveau als im Sommer auf.

Am Wochenende ist die PM10-Belastung an beiden Kasseler Stationen sowohl im Sommer als auch im Winter niedriger als an Werktagen. Der Rückgang der PM10-Belastung am Wochenende ist im

Wesentlichen durch den Wochengang der Kfz-Emissionen zu erklären. Ab Samstagmittag dürfen Lkw nicht mehr fahren und ein merklicher Berufsverkehr findet am Wochenende ebenfalls nicht statt. Für den Winter ist nicht vollkommen auszuschließen, dass außer dem Kfz-Verkehr auch die Gebäudeheizungsemissionen einen für die Immissionssituation relevanten Wochengang aufweisen; zumindest im Sommer ist es der Wochengang der Kfz-Emissionen, der den Wochengang der PM10-Konzentration prägt. Der Rückgang der PM10-Belastung von einem Werktag zum Sonntag beträgt an beiden Kasseler Stationen etwa 30 % und zwar nicht nur im Sommer, sondern auch im Winter. An der Vergleichsstation Bad Arolsen sind im Sommer Tagesgänge der PM10-Konzentration deutlich zu erkennen und im Winter noch leicht angedeutet, aber von einem Wochengang kann man weder im Sommer noch im Winter sprechen.

Die Wochengänge der PM10-Konzentration in Kassel sind zunächst der direkte Nachweis, dass die Emissionen des Kfz-Verkehr erkennbar zur PM10-Belastung in Kassel beitragen und gleichzeitig auch der Beleg dafür, dass durch emissionsmindernde Maßnahmen bei der Emittentengruppe Kfz-Verkehr die PM10-Belastung reduziert werden kann.

Der Nachweis, dass durch emissionsmindernde Maßnahmen der Jahresmittelwert effektiv gesenkt werden kann, bedeutet nicht automatisch, dass damit auch die Kurzzeitkenngroße „Tag“ wirkungsvoll reduziert werden kann. Um diese Frage abzuklären, wurde die Häufigkeit von Tagesmittelwerten der PM10-Konzentration über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgewertet – siehe Tabelle 20. Hierbei zeigen sich systematische Unterschiede zwischen Werktagen und Sonntagen, die an der verkehrsbezogenen Messstation besonders ausgeprägt sind. Der Unterschied ist im Wesentlichen durch das Fahrverbot für Lkws am Sonntag zu erklären. Auswertungen der Zähl Schleife in der Frankfurter Höhenstraße haben gezeigt, dass sich die Anzahl der Lkws am Sonntag deutlich reduziert während die Anzahl der Pkws nur wenig abnimmt [72]. Ähnliche Ergebnisse wurden für den Brudermühltunnel in München publiziert [73].

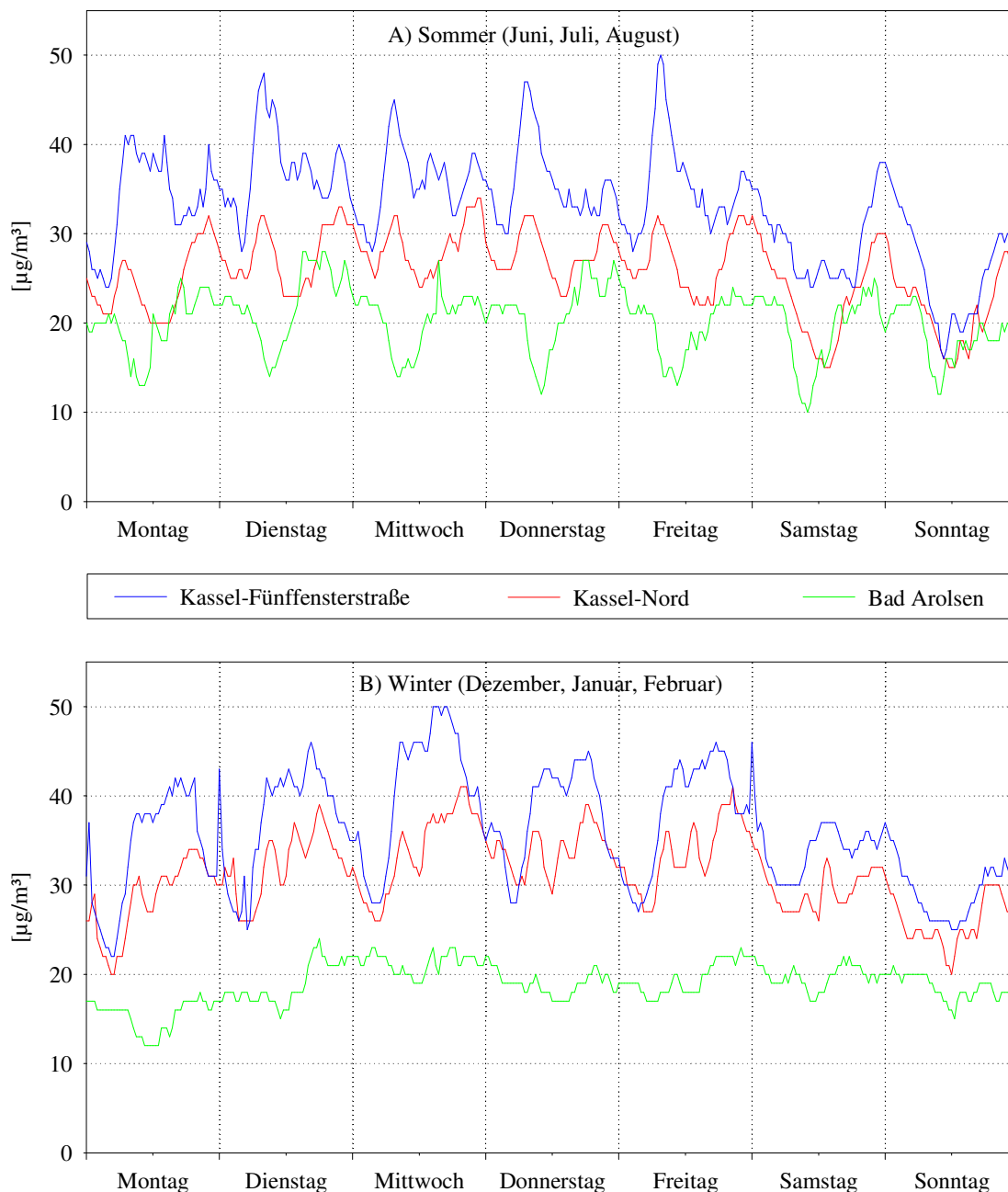


Abbildung 24: Mittlerer Wochengang von PM₁₀, getrennt nach Jahreszeiten (Messzeitraum 2000 bis 2004)

Abbildung 25 zeigt die Abhängigkeit zwischen dem Jahresmittelwert der PM₁₀-Belastung und der Zahl der Tage mit einem Tagesmittelwert größer 50 µg PM₁₀/m³ für die mit PM₁₀-Messgeräten ausgestatteten Stationen des Immissionsmessnetzes für die Jahre 2001 bis 2004. Diese Darstellung zeigt dabei, dass für Jahresmittelwerte größer 25 µg PM₁₀/m³ die Regressionsgerade die Messwerte recht gut beschreibt. D. h. man kann im Wertebereich der Jahresmittelwerte von 25 – 40 µg/m³ im Allgemeinen davon ausgehen, dass ein Rückgang des Jahresmittelwertes von 5 µg/m³ zu einer Abnahme der Überschreitungsfälle um etwa 20 Fälle führt. Die Zahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ spricht also deutlich auf Änderungen des Jahresmittelwertes an.

Wochentag	Kassel-Fünffensterstr.	Kassel-Nord	Bad Arolsen
Montag	25	16	4
Dienstag	40	27	6
Mittwoch	41	28	8
Donnerstag	42	30	9
Freitag	34	25	9
Samstag	27	20	7
Sonntag	15	18	3

Tabelle 20: Verteilung der Tage mit einem Tagesmittelwert größer $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ auf die Wochentage (Summe der Jahre 2001 bis 2004)

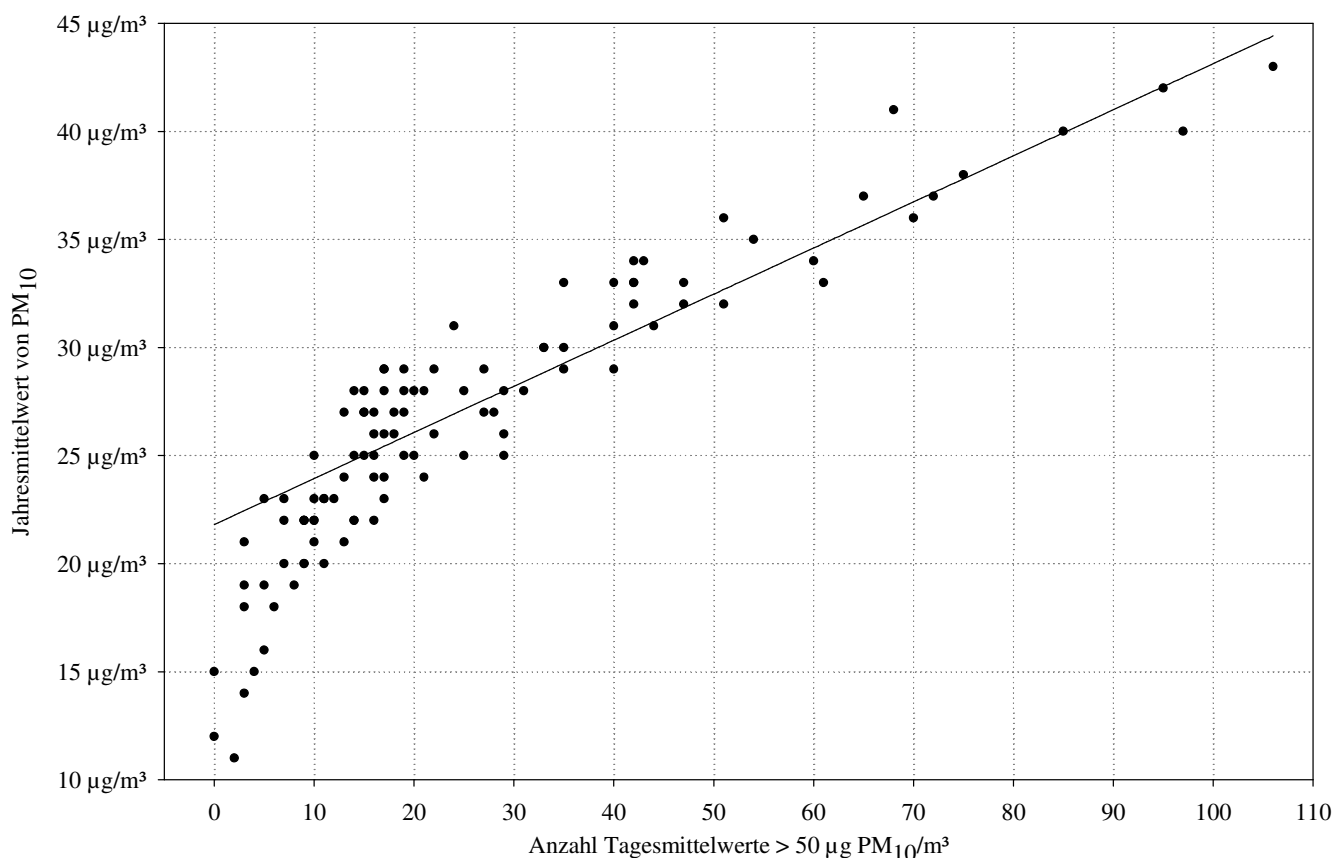


Abbildung 25: Vergleich der PM_{10} -Jahresmittelwerte und Anzahl der Tage über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an den Messstationen in Hessen (Bezugszeitraum 2001 bis 2004)

4.3.2 Auswertung der Messdaten von NO und NO_2

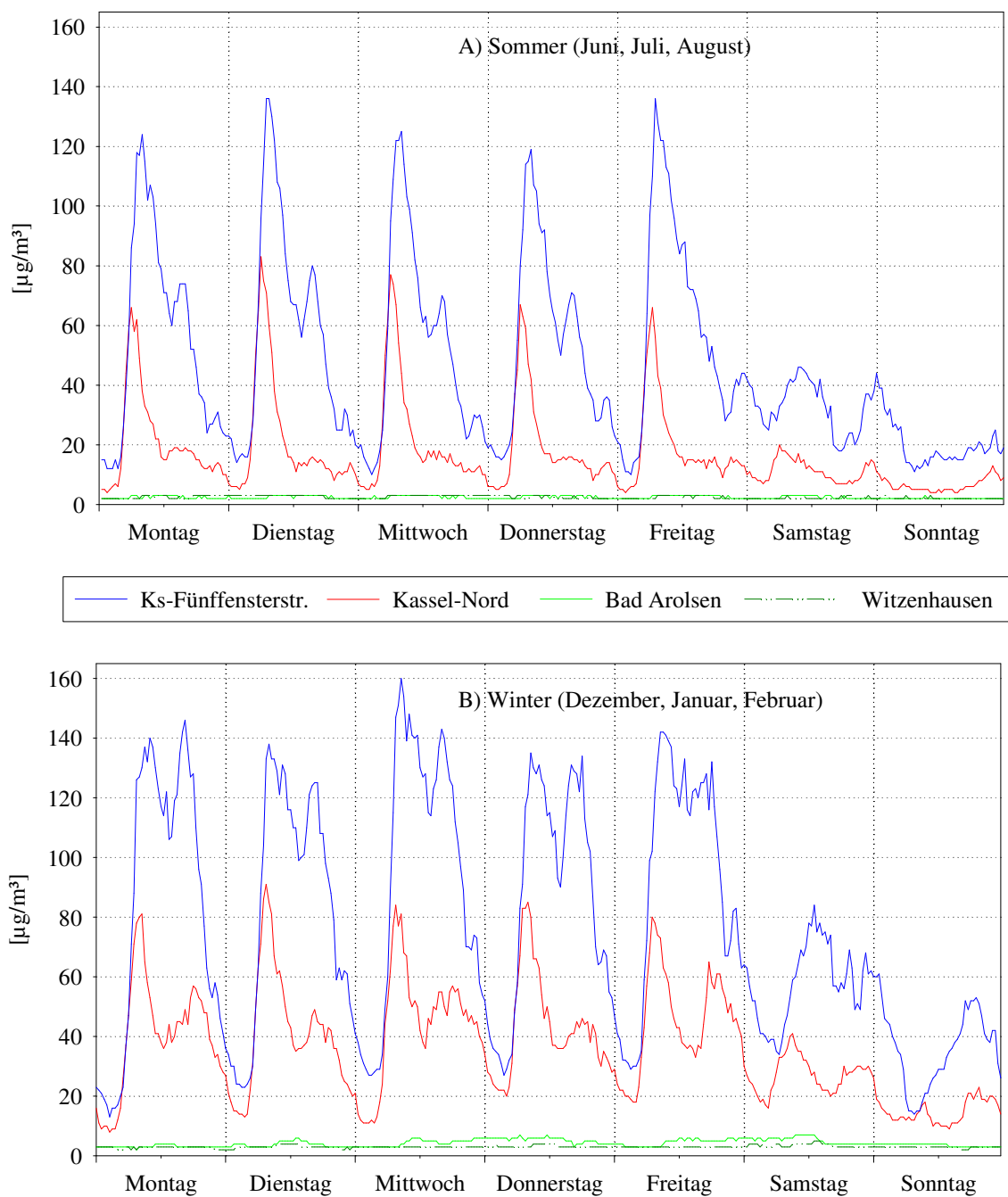
In Kapitel 3.2 wurde schon darauf hingewiesen, dass NO_2 bei Immissionsbetrachtungen immer zusammen mit NO zu sehen ist, da in der Atmosphäre durch Oxidation ständig NO zu NO_2 umgewandelt wird.

Die NO -Wochengänge für Sommer und für Winter sind in Abbildung 26 dargestellt. Eingetragen sind in der Abbildung die Wochengänge für die beiden Kasseler Messstationen und auch für Bad Arolsen und Witzenhausen als Messstationen im ländlichen Raum. Die Wochengänge an den beiden

Kasseler Messstationen zeigen am Wochenende niedrigere Konzentrationswerte als an den Werktagen. Die Konzentrationsdifferenz zwischen einem Werktag und dem Sonntag beträgt etwa 60 % und ist damit deutlich größer als bei PM₁₀. Bemerkenswert ist auch, dass in den Nachtstunden zur Zeit minimaler Belastung sich die NO-Konzentration im Sommer dem Konzentrationsniveau an den Vergleichsstationen stark annähert, während im Winter ein Grundpegel auch bei NO im Kasseler Becken verbleibt. Im Winter ist der Wochengang ausgeprägter als im Sommer, da sich im Sommer wegen der besseren Austauschverhältnisse die Kfz-Emissionen im Straßenraum weniger anreichern. An den Messstationen Bad Arolsen und Witzenhausen sind bei NO keine Wochengänge zu erkennen. Dies ist als Nachweis zu sehen, dass beide Standorte als „emissionsfern“ hinsichtlich NO-Emissionen einzustufen sind.

Der Wochengang von NO₂ in Abbildung 27 ähnelt dem Wochengang von NO. Auch bei NO₂ ist an den beiden Kasseler Stationen der Sonntag deutlich niedriger belastet als der Samstag. An der Fünffensterstraße ist zur Zeit maximaler Konzentration an Werktagen im Sommer die NO₂-Konzentration höher als im Winter. Da die Austauschverhältnisse im Sommer besser sind als im Winter und die NO-Konzentrationswerte nicht für eine wesentlich höhere Kfz-Emissionsrate sprechen, ist dieses Verhalten der NO₂-Konzentration durch eine verstärkte Reaktion von NO mit Ozon zu NO₂ zu erklären.

An den ländlichen Stationen Bad Arolsen und Witzenhausen werden im Winter NO₂-Konzentrationen im Bereich um 15 µg/m³ im Mittel gemessen und die Ansätze von Tages- und Wochengängen sind auch nachgewiesen.



**Abbildung 26: Mittlerer Wochengang von NO, getrennt nach Jahreszeiten
(Messzeitraum 2000 bis 2004)**

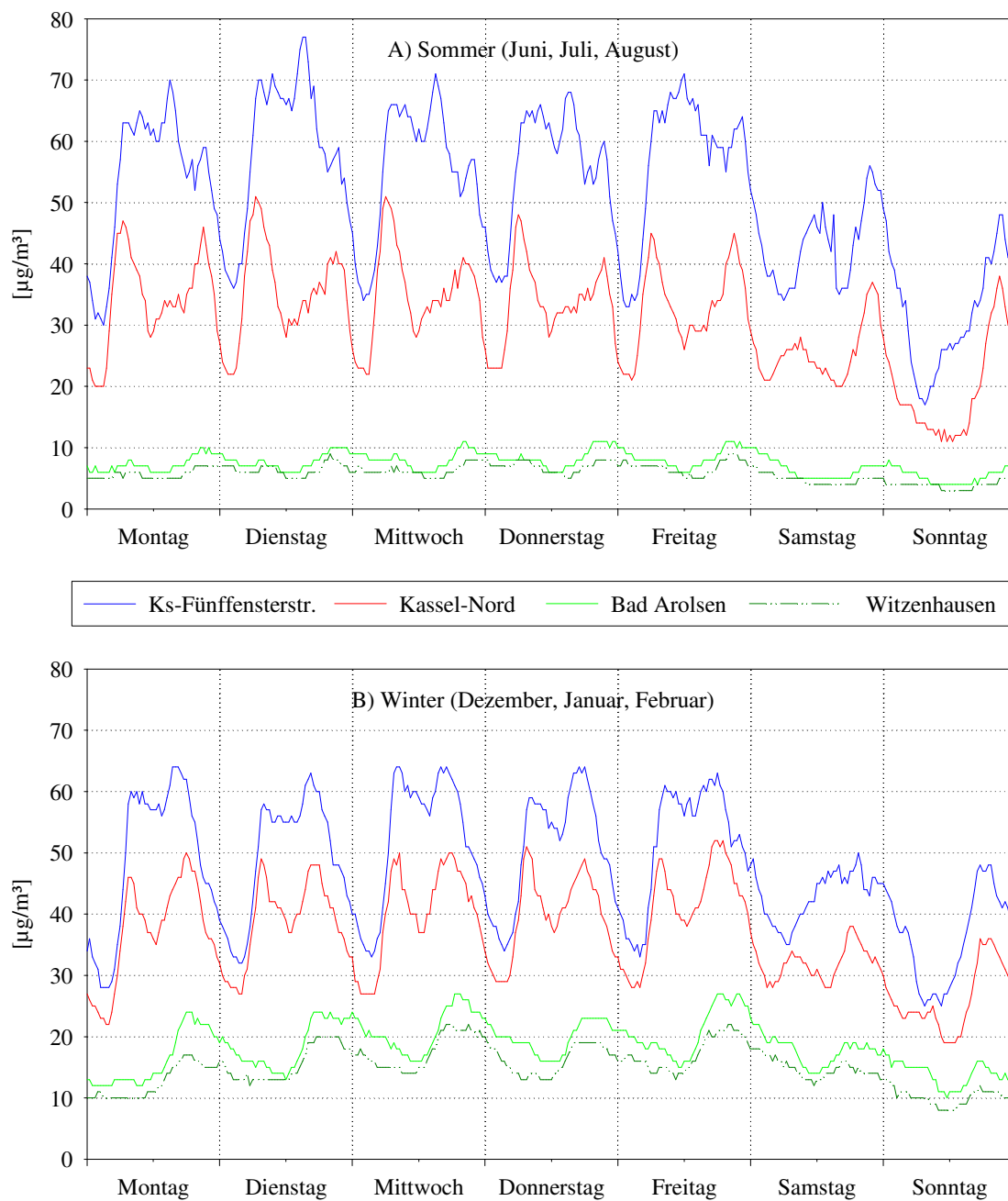


Abbildung 27: Mittlerer Wochengang von NO_2 , getrennt nach Jahreszeiten (Messzeitraum 2000 bis 2004)

4.3.3 Inhaltstoffe im Feinstaub

Die chemische Zusammensetzung von Staub gibt einen Hinweis auf seine Herkunft. Während früher die Untersuchung auf Schwermetalle die wichtigste Fragestellung war, gewinnen heute Komponenten wie Nitrat, Sulfat oder elementarer Kohlenstoff an Bedeutung. Die Zusammensetzung von Staub ändert sich und hängt ab

- von der untersuchten Korngrößenfraktion,
- dem Standort der Messstation (ländlicher Raum, Stadtstation, Verkehrsstation, industrie-naher Standort) sowie
- der Jahreszeit.

Die sekundären Partikel, die sich in der Atmosphäre durch die chemische Umsetzung von Gasen bilden, setzen sich hauptsächlich aus Ammoniumsulfat und -nitrat zusammen. Das Sulfat entsteht durch die Oxidation von SO_2 , während sich das Nitrat aus den Stickstoffoxiden bildet. Da die gebildeten Partikel zur Feinstaubfraktion gehören, können sie über weite Strecken transportiert werden. Ammoniumnitrat zerfällt in Abhängigkeit von der Temperatur in die gasförmigen Komponenten Ammoniak (NH_3) und Salpetersäure (HNO_3). Bei Temperaturen oberhalb von 25°C liegt fast kein partikelförmiges Ammoniumnitrat mehr vor [75, 76]. Messstationen im ländlichen Raum weisen mit bis zu 40 % den höchsten Anteil an Ammoniumsulfat und -nitrat auf, dieser Anteil reduziert sich bei Verkehrsstationen deutlich auf ca. 20 % [74, 75]. Die Minderung der Emissionen von SO_2 und NO_x verringert die Bildung der sekundären Partikel und ist deshalb ein Beitrag zu Senkung der PM_{10} -Belastung [76].

Elementarer Kohlenstoff (Ruß) ist ein Staubinhaltsstoff, der aus den Bereichen Gebäudeheizung und Verkehr stammt. Bei den Verkehrsemissionen ist zu unterscheiden zwischen den Rußpartikeln aus den Abgasen von Dieselmotoren (aerodynamischer Durchmesser $< 1 \mu\text{m}$) und dem Abrieb der rußhaltigen Autoreifen. Die Verkehrsstationen haben den höchsten Anteil an elementarem Kohlenstoff (bis zu 19 %) während der Anteil an den Stationen im ländlichen Raum niedriger ist [74, 75, 78]. Ein hoher Anteil von elementarem Kohlenstoff im Feinstaub ist ein Hinweis auf den Verkehr als relevante lokale Quelle.

Der Schwermetallgehalt im Staub hängt von den lokalen Quellen wie Industrie oder Verkehr ab. War der Kfz-Verkehr früher die wichtigste Emissionsquelle für Blei, so hat sich dies durch die Einführung von bleifreiem Benzin geändert [68]. Das relevante Schwermetall für den Kfz-Verkehr ist heute Antimon, da dieses den Asbest in den Bremsbelägen ersetzt hat [79]. Der Antimon-Anteil im Staub ist deshalb ein Anhaltspunkt für die Nichtauspuff-Emissionen aus dem Bereich Kfz-Verkehr [73, 78]. Bei einem in Hessen durchgeführten Messprogramm wurden an der verkehrsbezogenen Messstation die höchsten Antimonkonzentrationen festgestellt [80]. Seit der Einführung des Katalysators zur Abgasreinigung bei Kraftfahrzeugen lassen sich die Katalysatormetalle bei den Staubinhaltsanalysen nachweisen [73, 80].

Natürliche Quellen beeinflussen ebenfalls die Zusammensetzung des Staubes. Bei Messstationen in Küstenähe wird der höchste Anteil von Meersalz im Staub gemessen (ca. $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Durch Aufwirbelung entstandener mineralischer Staub kann sogar über weite Strecken transportiert werden (z. B. Saharastaub). Aus biogenen Quellen stammen die Bioaerosole wie Pollen oder Sporen. Sekundäre Partikel entstehen durch die Oxidation von Terpenen, die ebenfalls aus biogenen Quellen stammen.

5 Aussagemöglichkeiten auf Basis von Ausbreitungsrechnungen

Mit Rechenmodellen lässt sich die Ausbreitung von Luftbeimengungen in der Atmosphäre nachvollziehen. Die Steigerung der Leistungsfähigkeit der Computer hat es möglich gemacht nicht nur die von wenigen Emittenten verursachten Immissionsbelastungen zu berechnen. Es ist auch möglich, die aus allen Emissionen, die in einem Untersuchungsgebiet freigesetzt werden, beliebige Planungssituationen oder auch die Ist-Belastung zu simulieren. Die Simulation der Ist-Belastung ist deshalb interessant, weil durch Vergleich von Messergebnissen und Rechenergebnissen die Qualität der Ausbreitungsrechnung quantifizierbar wird (vgl. Tabelle 22). Außerdem kann bei der Modellrechnung im Gegensatz zur Immissionsmessung aufgeschlüsselt werden, welchen Anteil der einzelne Emittent oder die Emittentengruppe zur Immissionsbelastung beiträgt. Die Ausbreitungsrechnung ist also vielseitig einsetzbar. Man muss sich aber auch immer bewusst machen, welche Aussagequalität bei den zu Grunde gelegten Eingabedaten zu erwarten ist.

5.1 Aufgabenstellung für die Ausbreitungsrechnung

Die Ausbreitungsrechnung soll verschiedenen Fragestellungen bearbeiten:

- eine Karte der Immissionsbelastung (Jahresmittelwert) durch PM₁₀ und NO₂ für das Rechengebiet zur Beschreibung der Belastungsstruktur;
- Aussagen über die Immissionsbelastung in stark befahrenen Straßen mit beidseitiger Bebauung an 25 Aufpunkten mit eingeschränkter Durchlüftung und Prüfung, ob die Grenzwerte an diesen Punkten eingehalten sind;
- Aufgliederung des Immissionsbeitrages für die 25 ausgewählten Aufpunkte nach den drei Emittentengruppen Industrie, Gebäudeheizung und Verkehr;
- die Herkunft der Immissionsbelastung im Bereich jeden Aufpunktes nach Hintergrundbelastung (Transport von außen in den Ballungsraum), Ballungsraumanteil und Straßenanteil;
- die rechnerische Darstellung zweier idealisierter Planungsfälle (Weglassen der Emissionen der Autobahnen; Halbieren der Emissionen in der Innenstadt) als Orientierungshilfe für die Entwicklung des Maßnahmenplanes;
- die Berechnung des „Current Legislation“-Szenario (CLE), in dem die Emissionsentwicklung bei der gültigen Gesetzgebung unter anderem für NO_x und PM₁₀ und deren Aufteilung auf die unterschiedlichen Verursachergruppen beschrieben sind [87].

Auf die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung wird in den Kapiteln 5.3 bis 5.5 dann im Einzelnen eingegangen.

Für den Ballungsraum Kassel wurde mittels der Ausbreitungsrechnung für die Komponenten PM₁₀ der Jahresmittelwert sowie die Überschreitungshäufigkeit von 50 µg/m³ und für NO₂ der Jahresmittelwert berechnet. Eine Aufgabe war die Erstellung einer Rasterkarte der Konzentrationsverteilung über Dach ohne Straßenschluchteffekte für das Kassler Becken. Für 25 ausgewählte Aufpunkte im Ballungsraum Kassel erfolgte die Durchführung einer emittentenbezogene Ursachenanalyse. Die ausgewählten Punkte befinden sich in Straßen mit einem hohen Verkehrsaufkommen und einer dichten Bebauung (Straßenschlucht). Ziel der Ursachenanalyse war die Aufschlüsselung der Immissionsbelastung an diesen Aufpunkten nach den Anteilen aus der Hintergrundbelastung (Advektion), aus dem Ballungsraum und dem Straßenschluchtanteil. Der Ballungsraumanteil wurde zusätzlich nach den Emittentengruppen Kfz-Verkehr, Industrie und Gebäudeheizung aufgegliedert. Die Berechnung von zwei idealisierten Testfällen war ebenfalls Bestandteil der Ausbreitungsrechnung. Für den einen Testfall wurden die Emissionen auf den Autobahnen im Osten und Süden von Kassel auf null gesetzt. Das Szenario für den anderen Testfall war die Halbierung der Kfz-Emissionen in der Kassler Innenstadt.

5.2 Modellkonzept und verwendetes Rechenmodell

Das Ausbreitungsmodell berechnet – ausgehend von den Emissionsdaten der einzelnen Quelle - unter Berücksichtigung der meteorologischen Verhältnisse (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Turbulenzstruktur gegebenenfalls auch Regenintensität) das Konzentrationsfeld im Lee der betrachteten Quelle bzw. aller Quellen, deren Beitrag zur Immissionsbelastung untersucht werden soll. Das aus der Überlagerung der Konzentrationsfelder der einzelnen Quellen resultierende Konzentrationsfeld für die einzelne Stunde wird dann für jede der 8.760 Stunden im Jahr berechnet; damit liegt für jeden betrachteten Aufpunkt ein Datenkollektiv entsprechend den Messwerten einer Messstation vor.

Von der Praktikabilität der Durchführung der Ausbreitungsrechnung her ist es sinnvoll und auch erforderlich die Quellen einzuteilen. Die Einteilung erfolgte in einen Nahbereich, in dem kleinräumige Turbulenzstrukturen z. B. durch die Luftzirkulation in einer Straßenschlucht berücksichtigt werden (Straßenanteil), das eigentliche Untersuchungsgebiet, in dem die Struktur der Emissionen so genau wie sinnvoll und möglich berücksichtigt wird (Ballungsraumanteil), und schließlich der Bereich der Hintergrundbelastung, der bestimmt mit welcher Vorbelastung die Luft in das Rechenggebiet einströmt. Die Hintergrundbelastung bei Ausbreitungsrechnungen für Luftreinhalteplanungen ebenfalls zu simulieren ist dabei eine neue Entwicklung. Dieser Weg setzt ein Europäisches Emissionskataster voraus, ein Chemiemodul im Ausbreitungsmodell, der die Oxidation von NO zu NO₂, Ozonbildung, sekundäre Staubbildung durch partikelbildende Reaktionen, Selbstreinigung der Atmosphäre durch Regen usw. berücksichtigt. Der Vorteil dabei ist, dass nach Jahreszeit und Wetterlage unterschiedliche Vorbelastungswerte angesetzt werden und damit die Realität sachgerechter beschreiben wird.

Die Ausbreitungsrechnung wurde an das Ingenieurbüro IVU Umwelt vergeben, das die Bearbeitung zusammen mit der „Arbeitsgruppe Troposphärische Umweltforschung“ am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin durchführte. Für die Modellrechnung wurde das im Auftrag des Umweltbundesamtes für Fragen der Luftreinhalteplanung entwickelte chemische Transportmodell REM-CALGRID in einer Anwendung auf europäischer Ebene und auf kleinräumiger urbaner Ebene eingesetzt. Der Rechenlauf mit dem kleinsten Rasterpunktgitter liefert die Immissionsbelastung über Dach. Mit dem Straßenschluchtprogramm IMMISCPB wird dann die Immissionsbelastung in der Straßenschlucht berechnet.

Besondere Anforderungen an die Modellrechnung ergeben sich durch das komplexe Windfeld im Kasseler Becken. Testrechnungen zeigten, dass mit einem Rasterpunktabstand von 500 m eine für die Berechnung von Jahreskollektiven hinreichende Beschreibung des Windfeldes möglich ist (siehe auch Kapitel 2.2).

Die Meteorologie des Jahres 2003, also des Jahres, in dem die Immissionsgrenzwertüberschreitungen festgestellt wurden, wurde den Rechenläufen vorgegeben.

Grundlage für die Erstellung der Emissionsdatenbasis war das aktuell verfügbare Emissionskataster Hessen 2000 [68]; die Teilkataster Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr wurden auf das Jahr 2003 fortgeschrieben. Das Teilkataster Kfz-Verkehr, das bisher nur die Emissionen aus dem Auspuff enthielt, wurde ergänzt um die Emissionen durch Aufwirbelung, Reifenabrieb usw. Die PM₁₀ Emissionsbilanz wurde außerdem auf Basis von Literaturwerten noch ergänzt um die Emittentengruppe „Landwirtschaft“ (Feldbearbeitung, Verwehung usw.) und die Emittentengruppe „sonstige Quellen“ (Baustellen usw.).

Eine Beschreibung des Programmsystems, die Beschreibung der Eingabedaten, die Darstellung und Diskussion der Ergebnisse sind in dem Bericht „Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Kassel“ [90] dokumentiert. Die Kurzfassung des Berichtes ist im Internet eingestellt unter „http://www.hlug.de/medien/luft/planung/dokumente/Kassel_zu.pdf“.

5.3 Hintergrundbelastung im Kasseler Becken

5.3.1 Immissionsbelastung im Kasseler Becken durch PM₁₀

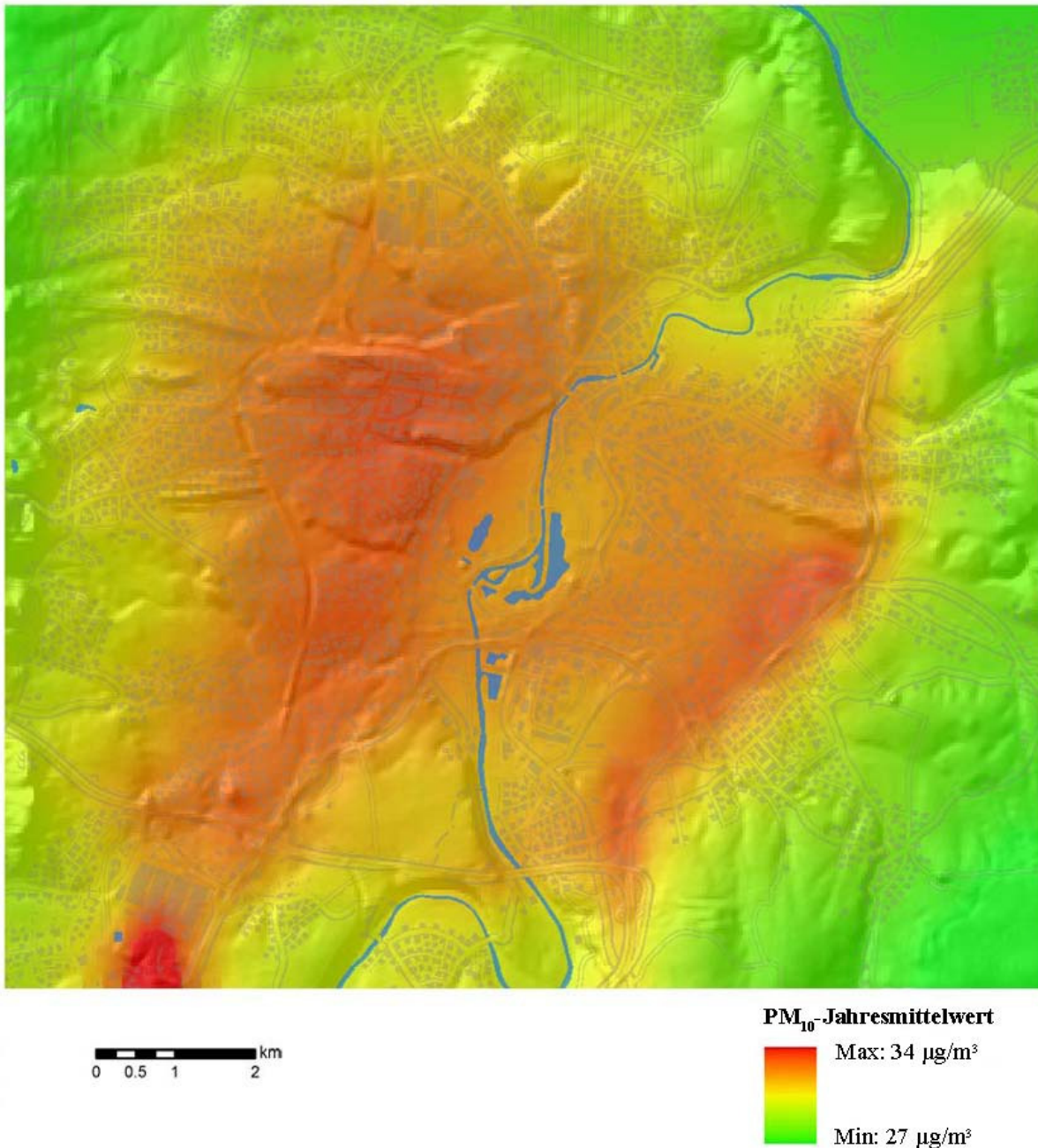


Abbildung 28: Berechneter PM₁₀-Jahresmittelwert der städtische Hintergrundbelastung

Die Verteilung der Immissionsbelastung durch PM₁₀ im Ballungsraum Kassel ist in Abbildung 28 dargestellt. Eingetragen sind Jahresmittelwerte, berechnet als Summe der aus den Emissionen im Ballungsraum resultierenden Immissionsbelastung (Ballungsraumanteil) und die von außen in den Ballungsraum eingetragene Immissionsbelastung (Advektionsbeitrag; im Allgemeinen je nach Windrichtung unterschiedlicher Wert). Kleinräumige Belastungsspitzen – wie zum Beispiel erhöhte Immissionskonzentrationen in verkehrsreichen Straßenschluchten (Straßenanteil) – werden bei dieser Darstellung nicht abgebildet. Aus Sicht der Immissionsbelastung in einer Straßenschlucht wird diese

für die Immissionssituation über Dach repräsentative Immissionsbelastung meist als Vorbelastung bezeichnet. Sachgerechter ist die Bezeichnung: „Hintergrundbelastung“, da sie die Immissionssituation einer städtischen Hintergrundstation erfasst. Nach Ziffer 1 a) Abs. 2 der 22. BImSchV [16] soll allerdings eine Hintergrundstation – sei es im städtischen Bereich oder auf dem Lande - für einen Bereich von mehreren Quadratkilometern repräsentativ sein.

Der Schwerpunkt der PM₁₀-Belastung liegt im Bereich der Kassler Kernstadt; auch der Verlauf der Autobahn A 7 zeichnet sich als Belastungsband erkennbar ab. Die Fuldaaue mit ihren Parkflächen lässt die PM₁₀-Belastung etwas abklingen. Im Industriegebiet von Baunatal werden aber insgesamt die höchsten Konzentrationswerte ausgewiesen. Trotzdem sind die Konzentrationsdifferenzen innerhalb des Ballungsraums als eher klein zu bezeichnen, da die Konzentrationsdifferenz zwischen dem Maximum von 34 µg/m³ und dem Minimum von 27 µg/m³ nur 7 µg/m³ beträgt.

Dass der Bereich der Kernstadt und die Bereiche dichter Wohnbebauung im Westen des Kasseler Beckens durch PM₁₀ teils höher belastet sind als die Randzonen der Autobahn A 7 im Osten der Stadt Kassel zeigt, dass die Gebäudeheizungen einen erkennbaren Anteil zur PM₁₀-Belastung beitragen. Darauf hinzuweisen ist noch mal, dass die Immissionsbelastung über Dach dargestellt ist. Diese enthält die hohen Grundpegel von ca. 27 µg/m³, den vom außen in den Ballungsraum eingetragenen Belastungsanteil, nicht aber den Straßenschluchtbeitrag.

5.3.2 Immissionsbelastung im Kassler Becken durch NO₂

Entsprechend Abbildung 28 ist in Abbildung 29 die berechnete Verteilung der NO₂-Belastung im Ballungsraum Kassel dargestellt; eingetragen sind Jahresmittelwerte, berechnet als Summe der von außen in den Ballungsraum eingetragenen NO₂-Konzentration und der durch die Stickstoffdioxid Emissionen im Ballungsraum verursachten NO₂-Zusatzbelastung ohne Berücksichtigung der Immissionssituation in der Straßenschlucht; d. h. dargestellt ist die Immissionssituation über Dach bzw. die städtische Hintergrundbelastung.

Deutlich zeichnen sich im NO₂-Konzentrationsfeld die Linienführungen der A 7 im Osten sowie der A 44 und A 49 im Süden von Kassel als Bereiche erhöhter Belastung ab. Die Kernstadt von Kassel und die Bereiche dichter Wohnbebauung im Westen des Kasseler Beckens weisen eher eine mittlere Belastung auf. Der Streubereich der Jahresmittelwerte liegt zwischen 20 und 37 µg NO₂/m³ – d. h. in Bereichen erhöhter Belastung müssen nur etwa 5 µg/m³ durch die Emissionen in der Straßenschlucht dazu kommen und dann ist der ab dem Jahr 2010 verbindlich einzuhaltende Immissionsgrenzwert „Jahr“ für NO₂ von 40 µg/m³ überschritten.

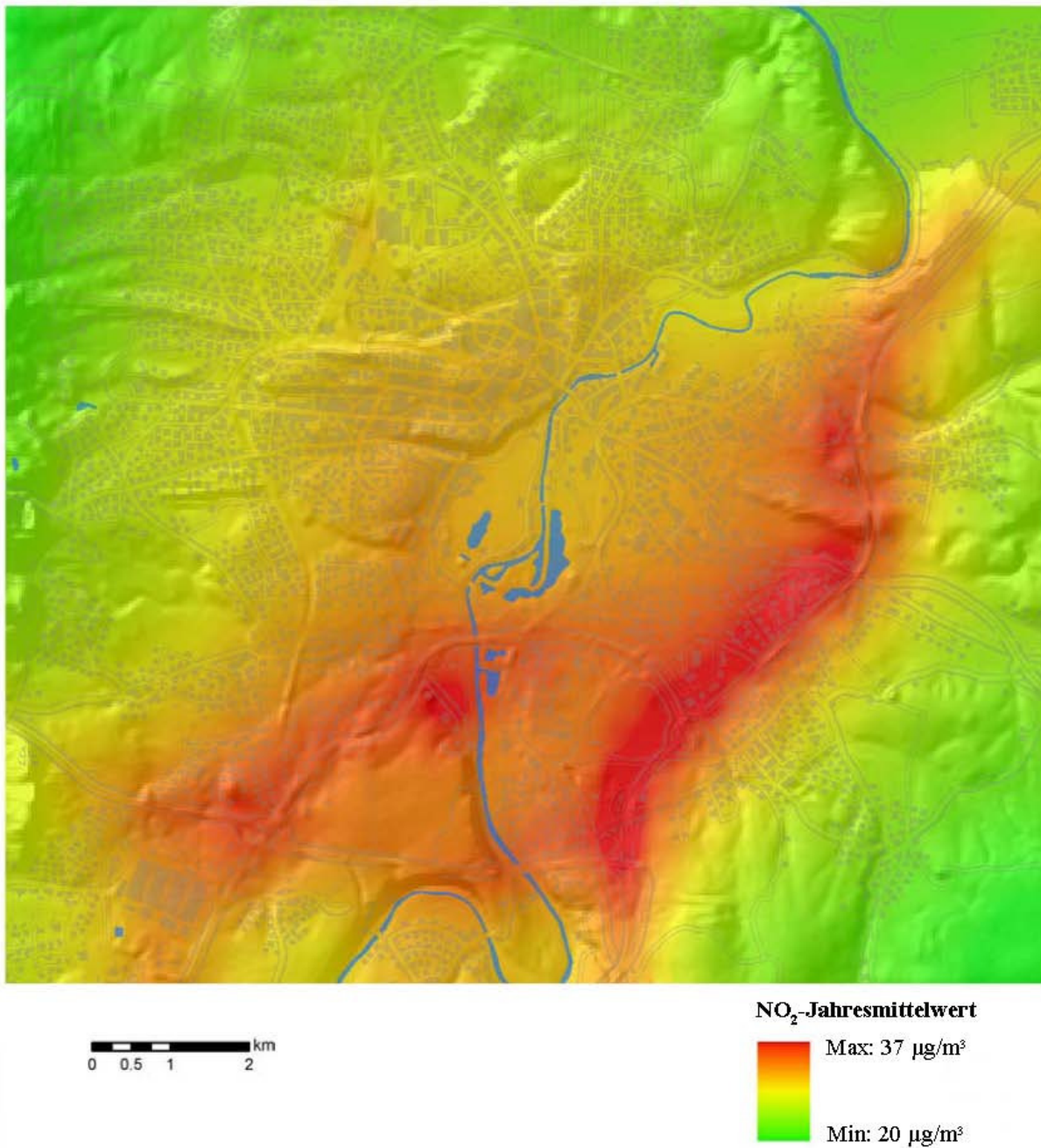


Abbildung 29: Berechneter NO_2 -Jahresmittelwert der städtische Hintergrundbelastung

5.4 Immissionsbelastung in Hauptverkehrsstraßen mit Randbebauung

5.4.1 Immissionskenngrößen und Immissionsbewertung

Im Anschluss an die für den Ballungsraum Kassel flächendeckend berechneten Hintergrundbelastung wurde die Immissionsbelastung für 25 Aufpunkte an verkehrsreichen Straßen mit der Durchlüftung einschränkender Bebauung mit einem Straßenschluchtmodell ermittelt (siehe Kap. 5.2). Die Aussage, ob die für die 25 Aufpunkte berechneten Immissionskenngrößen die Immissionsgrenzwerte einhalten oder überschreiten, ist für PM_{10} und NO_2 in Tabelle 21 zusammengestellt. Die Immissionskenngröße „Jahresmittelwert“ ist mit dem Zahlenwert angegeben. Für die Kurzzeitkenngröße ist nur eingetragen,

ob der Immissionsgrenzwert eingehalten oder überschritten ist; da die Rechengenauigkeit mit steigender Überschreitungshäufigkeit des Schwellenwertes stark abnimmt, werden die berechneten Überschreitungshäufigkeiten sonst leicht überinterpretiert.

Nr. ¹⁾	Straße	NO ₂			PM10		
		Jahresmittel -wert [µg/m ³]	Grenzwert Jahr ²⁾	Grenzwert 1-h-Wert ²⁾	Jahresmittel -wert [µg/m ³]	Grenzwert Jahr ²⁾	Grenzwert 24h-Wert ²⁾
1	Altenritter Str. 15	35,2	nein	nein	31,9	nein	ja
2	Brüderstr. 5	41,8	ja	nein	36,8	nein	ja
3	Fünffensterstr. 14	40,2	ja	nein	35,7	nein	ja
4	Frankfurter Str. 102	45,3	ja	nein	38,2	nein	ja
5	Frankfurter Str. 247	42,0	ja	nein	36,7	nein	ja
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	40,6	ja	nein	36,2	nein	ja
7	Hannoversche Str. 8	36,6	nein	nein	33,2	nein	ja
8	Holländische Str. 157	49,1	ja	nein	40,8	ja	ja
9	Holländische Str. 28	58,0	ja	nein	47,1	ja	ja
10	Ihringshäuser Str. 43	41,3	ja	nein	36,8	nein	ja
11	Kohlenstr. 40	48,8	ja	nein	41,1	ja	ja
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	30,2	nein	nein	31,0	nein	ja
13	Leipziger Str. 159	45,0	ja	nein	37,5	nein	ja
14	Mauerstr. 11	41,0	ja	nein	34,0	nein	ja
15	Obervellmarer Str. 4	44,8	ja	nein	39,8	nein	ja
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	36,3	nein	nein	32,4	nein	ja
17	Schönfelder Str. 50	50,9	ja	nein	41,7	ja	ja
18	Schönfelder Str. 6	39,6	nein	nein	36,4	nein	ja
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	42,5	ja	nein	37,7	nein	ja
19	Tischbeinstr. 18	39,9	nein	nein	36,2	nein	ja
20	Veckerhagener Str. 66	34,3	nein	nein	32,7	nein	ja
21	Weserstr. 17	56,4	ja	nein	48,9	ja	ja
22	Wilhelmshöher Allee 286	34,4	nein	nein	33,5	nein	ja
23	Wolfhager Str. 124	46,8	ja	nein	39,8	nein	ja
24	Ysenburgstr. 29	46,4	ja	nein	39,0	nein	ja

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 18 und Abbildung 19

²⁾ Erläuterung der Grenzwerte in Tabelle 1

rot: Überschreitung von Grenzwert, gültig ab 2005.

blau: Überschreitung des Grenzwertes, gültig ab 2010.

Tabelle 21: Überschreitung der Grenzwerte der 22. BImSchV [16] für NO₂ und PM10 als Ergebnis der Modellrechnungen für das Bezugsjahr 2003

Die Bewertung der PM10-Belastung - mit Stand der Immissionsgrenzwerte entsprechen 2005 – ergibt: An 5 der 25 Aufpunkte ist der Immissionsgrenzwert Jahr von 40 µg PM10/m³ überschritten und an allen 25 Aufpunkten der Immissionsgrenzwert „Tag“.

Für NO₂ stellt sich die Belastungssituation etwas günstiger dar – auch wenn man die erst ab 2010 gültigen Immissionsgrenzwerte ohne Toleranzmarge ansetzt: Der Immissionsgrenzwert Jahr von 40 µg NO₂/m³ wird an 17 der 25 Aufpunkte überschritten; die Kurzzeitkenngröße „1-Stunde“ für NO₂ ist an allen Aufpunkten eingehalten.

Zunächst ist festzustellen, dass im Ballungsraum Kassel die PM10-Belastung derzeit im Vergleich mit der NO₂-Belastung das größere Problem darstellt. Ein entsprechendes Bild der Bewertung der Immissionsituation ergibt sich, wenn man die Immissionsgrenzwerte Stand 2003 für die Bewertung der

Immissionssituation an den 25 Straßenschluchtaufpunkten ansetzt. Zu den Aufpunkten ist noch anzumerken, dass der Aufpunkt 18 und der Aufpunkt 18A sich beide auf denselben Standort Schönfelder Straße 6 beziehen, der Aufpunkt 18 aber die Ist-Situation beschreibt mit Baulücke auf der einen Straßenseite und Aufpunkt 18A die Situation, wenn die Baulücke geschlossen wäre.

Die Anforderungen der Anlage 4 der 22. BImSchV [16] legt die Datenqualitätsziele für Modellrechnungen fest. Diese Qualitätsziele werden von den zugrunde liegenden Ausbreitungsrechnungen sicher eingehalten. Wie der Vergleich Rechnung/Messung zeigt, ist das festgelegte Qualitätsziel mit einem zugelassenen Fehler von z. B. bei NO₂ von 40 % mit einer Abweichung von ca. 20 % zwischen Rechnung und Messung um etwa 50 % übertroffen.

Für den Standort „Kassel-Fünffensterstraße“ (Aufpunkt-Nr. 3) lassen sich die Ergebnisse der Immissionsmessungen mit den Modellergebnissen vergleichen. In Tabelle 22 sind für PM10 und NO₂ die Jahresmittelwerte für Messung und Rechnung gegenübergestellt. Die Abweichung zwischen Messung und Rechnung beträgt für beide Komponenten etwa 20 % und ist damit im Sinne der Datenqualitätsziele der 22. BImSchV [16] als gut zu bezeichnen. Die geringeren Werte der Ausbreitungsberechnung weisen darauf hin, dass die Emissionskataster noch Lücken enthalten wie z. B. dass die Aufwirbelung von Bodenmaterial nicht vollständig erfasst wurde oder ähnliches.

	Rechnung ¹	Messung ²
NO ₂ -Jahresmittelwert [µg/m ³]	39	47
PM10-Jahresmittelwert [µg/m ³]	36	38

¹⁾ siehe Tabelle 23 und 25

²⁾ siehe Tabelle 8 und 9

Tabelle 22: Jahresmittelwerte der Modellrechnungen und der Messungen im Jahr 2003 für die Messstation Kassel-Fünffensterstraße

5.4.2 Analyse der Immissionsbelastung durch PM10

Die Ergebnisse der Straßenschluchtmodellrechnung sind in Tabelle 23 zusammengestellt und in Abbildung 18 standortbezogen dargestellt. In Tabelle 23 ist neben der Gesamtbelastung auch aufgeschlüsselt:

- welcher Anteil an der Gesamtbelastung von außen in den Ballungsraum eingetragen wird (Hintergrundbelastung),
- welcher Anteil durch die Emissionen im Ballungsraum verursacht ist (Städtische Vorbelastung) und
- welcher Anteil aus dem direkten Umfeldes des Aufpunktes in der Straßenschlucht (Straßenanteil) stammt.

Diese Aufschlüsselung nach dem Emissionsbereich ist ein erster Beitrag zur Ursachenanalyse (siehe Tabelle 23). Der Eintrag von außen hat einen Anteil von 60 bis 70 % an der Gesamtbelastung in der Straßenschlucht, die Emissionen aus dem Ballungsraum einen Anteil von 15 bis 30 % und die Emissionen aus dem Abschnitt der Straßenschlucht ebenfalls einen Anteil von ca. 15 bis 20 %. Diese 60 bis 70 % Fremdeintrag bedeuten, dass maximal 30 bis 40 % der Immissionsbelastung durch Maßnahmen im Ballungsraum beeinflusst werden kann.

Nr. ¹)	Straße	Gesamt- belastung [µg/m³]	Hintergrund		städtische Vorbelastung		Straßenanteil	
			[µg/m³]	[%]	[µg/m³]	[%]	[µg/m³]	[%]
1	Altenritter Str. 15	32,0	25,9	81,1	3,3	10,3	2,8	8,6
2	Brüderstr. 5	36,7	25,7	70,0	5,4	14,7	5,6	15,3
3	Fünffensterstr. 14	35,7	25,8	72,2	5,4	15,1	4,5	12,7
4	Frankfurter Str. 102	38,2	25,9	67,7	5,7	14,9	6,6	17,3
5	Frankfurter Str. 247	36,7	25,9	70,5	5,7	15,5	5,1	14,0
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	36,2	25,8	71,2	5,8	16,0	4,6	12,8
7	Hannoversche Str. 8	33,2	25,5	76,8	4,7	14,1	3,0	9,1
8	Holländische Str. 157	40,8	25,6	62,7	4,7	11,5	10,5	25,8
9	Holländische Str. 28	47,1	25,7	54,6	5,4	11,5	16,0	34,0
10	Ihringshäuser Str. 43	36,8	25,6	69,6	5,0	13,6	6,2	16,8
11	Kohlenstr. 40	41,1	25,9	63,0	5,6	13,6	9,6	23,4
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	31,0	26,0	83,9	2,5	8,1	2,5	8,0
13	Leipziger Str. 159	37,5	25,7	68,6	5,0	13,4	6,8	18,0
14	Mauerstr. 11	34,0	25,7	75,7	5,7	16,8	2,6	7,5
15	Obervellmarer Str. 4	39,9	25,8	64,7	3,9	9,8	10,2	25,5
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	32,4	25,5	78,7	4,8	14,8	2,1	6,5
17	Schönfelder Str. 50	41,8	25,9	62,0	5,8	13,9	10,1	24,1
18	Schönfelder Str. 6	36,4	25,9	71,3	5,8	16,0	4,7	12,8
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	37,7	25,9	68,7	5,8	15,4	6,0	15,9
19	Tischbeinstr. 18	36,2	25,8	71,2	5,8	16,0	4,6	12,8
20	Veckerhagener Str. 66	32,6	25,5	78,1	3,2	9,8	3,9	12,1
21	Weserstr. 17	48,9	25,6	52,3	5,2	10,6	18,1	37,0
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,6	25,8	76,8	4,8	14,3	3,0	8,9
23	Wolfhager Str. 124	39,8	25,8	64,9	5,3	13,3	8,7	21,8
24	Ysenburgstr. 29	39,0	25,6	65,6	5,2	13,3	8,2	21,1

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 18

Tabelle 23: Aufteilung der berechneten PM10-Jahresmittelwerte in Hintergrund-, städtische Vorbelastung und Straßenanteil

In Tabelle 24 sind die Beiträge zur Gesamtbelastung für die Emittenten aus dem Ballungsraum nach den Emittentengruppen Kfz-Verkehr, Gebäudeheizung und Industrie aufgeschlüsselt. Der Anteil der Emittentengruppe Kfz-Verkehr liegt nach dieser Auswertung meist zwischen 10 und 25 % der Gesamtimmisionsbelastung am Aufpunkt, der Anteil der Gebäudeheizung bei 1 bis 2 % und die Emittentengruppe Industrie bei 1 %. Der Eintrag von außen in den Ballungsraum wurde bei dieser Betrachtung nicht nach Emittentengruppen unterteilt und dies ist unter anderem die Ursache dafür, dass sich die Beiträge der Emittentengruppen nicht auf 100 % addieren.

Nr. ¹⁾	Straße	Gesamtbelastung [µg/m³]	Anteil Kfz-Verkehr im Ballungsraum [%]	Anteil Gebäudeheizung im Ballungsraum [%]	Anteil Industrie im Ballungsraum [%]
1	Altenritter Str. 15	32,0	12,4	1,3	1,3
2	Brüderstr. 5	36,7	19,4	1,9	0,5
3	Fünffensterstr. 14	35,7	16,9	2,0	0,8
4	Frankfurter Str. 102	38,2	21,5	1,8	1,1
5	Frankfurter Str. 247	36,7	18,8	1,9	1,1
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	36,2	17,3	2,2	0,8
7	Hannoversche Str. 8	33,2	14,9	1,8	0,9
8	Holländische Str. 157	40,8	28,6	1,7	0,7
9	Holländische Str. 28	47,1	37,1	1,5	0,4
10	Ihringshäuser Str. 43	36,8	20,5	1,9	0,5
11	Kohlenstr. 40	41,1	27,1	2,0	0,7
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	31,0	9,9	1,0	0,3
13	Leipziger Str. 159	37,5	22,2	1,6	0,5
14	Mauerstr. 11	34,0	12,2	2,4	0,9
15	Obervellmarer Str. 4	39,9	27,9	1,5	0,5
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	32,4	14,2	1,2	0,6
17	Schönfelder Str. 50	41,8	27,9	1,9	1,0
18	Schönfelder Str. 6	36,4	17,2	2,2	1,1
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	37,7	20,1	2,1	1,1
19	Tischbeinstr. 18	36,2	17,2	2,2	1,1
20	Veckerhagener Str. 66	32,6	14,5	1,2	0,3
21	Weserstr. 17	48,9	40,1	1,4	0,6
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,6	12,4	2,1	0,6
23	Wolfhager Str. 124	39,8	25,0	1,8	0,8
24	Ysenburgstr. 29	39,0	24,9	1,8	0,8

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 18

Tabelle 24: Aufschlüsselung der berechneten PM10-Jahresmittelwerte nach Emittentengruppen

Der Abbildung 18 (S. 32) lässt sich entnehmen, dass die Aufpunkte 1, 12, 16 und 20 in den Randbezirken von Kassel den Jahresmittelwert von PM10 einhalten. Die fünf Aufpunkte 8, 9, 11, 17 und 21 mit einem Jahresmittelwert von größer 40 µg/m³ liegen in der Innenstadt nicht so systematisch zusammen, dass man einzelnen Straßenvierteln insgesamt die für den Aufpunkt berechnete Immissionsbelastung zuweisen kann. Vielmehr sind es besondere Verkehrsdichten oder besonders ungünstige Durchlüftungssituation die in den einzelnen Straßenabschnitten zu erhöhten Immissionsbelastungen führen. An dem Aufpunkt Mauerstraße (Nr. 14) ist es der Busbahnhof bzw. die daraus resultierende hohe Busverkehrsdichte, die an diesem Punkt zu erhöhter PM10-Belastung führt.

Mit dem der Ausbreitungsrechnung zwischengeschalteten Chemiemodell lässt sich auch nachweisen, dass ca. 50 % der berechneten PM10-Konzentration durch sekundäre Staubbildung entstanden ist. Durch Minderung der Partikelemission lässt sich dieser durch Staubbildung in der Atmosphäre entstandene PM10-Staub nicht mindern, wohl aber durch Minderung der NO_x-Emissionen. Allerdings tragen die NO_x-Emissionen im Ballungsraum selbst wenig zur sekundären Partikelbildung bei, da die sekundäre Partikelbildung vergleichsweise langsam erfolgt.

5.4.3 Analyse der Immissionsbelastung durch NO₂

Die NO₂-Belastung an 25 Aufpunkten an verkehrsreichen Straßen mit die Durchlüftung einschränkender Randbebauung zeigt die Karte Abbildung 19. In Tabelle 25 sind die Zahlenwerte der Jahresmittelwerte für die 25 Aufpunkte zusammengestellt; dabei sind die Beiträge der Immissionen außerhalb des Ballungsraumes (Hintergrundbelastung), aus dem Ballungsraum (städtische Vorbelastung) und der betrachteten Straßenschlucht (Straßenanteil) getrennt ausgewiesen.

Nr. ¹⁾	Straße	Gesamtbelastung	Hintergrund		städtische Vorbelastung		Straßenanteil	
		[µg/m³]	[µg/m³]	[%]	[µg/m³]	[%]	[µg/m³]	[%]
1	Altenritter Str. 15	34,0	11,8	34,7	16,1	47,4	6,1	17,9
2	Brüderstr. 5	40,6	11,6	28,6	17,8	43,8	11,2	27,6
3	Fünffensterstr. 14	38,8	11,7	30,1	17,8	45,9	9,3	24,0
4	Frankfurter Str. 102	44,1	11,7	26,5	18,9	42,8	13,5	30,6
5	Frankfurter Str. 247	40,5	11,7	28,9	18,9	46,7	9,9	24,4
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	39,4	11,7	29,7	18,0	45,7	9,7	24,6
7	Hannoversche Str. 8	35,9	11,6	32,3	18,3	51,0	6,0	16,6
8	Holländische Str. 157	46,1	11,7	25,4	15,0	32,6	19,4	42,1
9	Holländische Str. 28	55,7	11,6	20,8	17,5	31,4	26,6	47,8
10	Ihringshäuser Str. 43	40,3	11,6	28,8	16,4	40,7	12,3	30,6
11	Kohlenstr. 40	47,4	11,7	24,7	17,2	36,3	18,5	39,0
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	29,5	11,7	39,7	12,1	41,1	5,7	19,2
13	Leipziger Str. 159	43,8	11,7	26,7	18,2	41,6	13,9	31,7
14	Mauerstr. 11	39,7	11,7	29,5	17,8	44,8	10,2	25,7
15	Obervellmarer Str. 4	43,1	11,7	27,1	13,2	30,6	18,2	42,2
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	35,1	11,6	33,0	19,8	56,4	3,7	10,5
17	Schönfelder Str. 50	48,9	11,7	24,0	18,0	36,8	19,2	39,2
18	Schönfelder Str. 6	38,6	11,7	30,3	18,0	46,6	8,9	23,0
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	41,1	11,7	28,4	18,0	43,8	11,4	27,8
19	Tischbeinstr. 18	38,9	11,7	30,1	18,2	46,8	9,0	23,0
20	Veckerhagener Str. 66	33,7	11,6	34,4	12,5	37,1	9,6	28,5
21	Weserstr. 17	54,0	11,6	21,5	17,2	31,8	25,2	46,7
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,5	11,7	35,0	15,1	45,1	6,7	19,9
23	Wolfhager Str. 124	44,2	11,7	26,5	16,4	37,1	16,1	36,4
24	Ysenburgstr. 29	44,6	11,6	26,0	17,2	38,6	15,8	35,4

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 19

Tabelle 25: Aufteilung der berechneten NO₂-Jahresmittelwerte in Hintergrund-, städtische Vorbelastung und Straßenanteil

Die berechneten Jahresmittelwerte liegen zwischen 30,1 und 56,4 µg NO₂/m³; der Streubereich der Jahresmittelwerte ist damit fast doppelt so groß wie bei PM₁₀. Die mehr am Rande des Ballungsraumes gelegenen Aufpunkte des Ballungsraumes, abgesehen von dem Aufpunkt 15 in der Obervellmarer Straße, unterschreiten den 40 µg/m³-Wert. Die höchsten NO₂-Belastungen treten dabei nicht im direkten Stadtzentrum auf, sondern sind im Wesentlichen längs der Ausfallstraßen zu finden.

Nr. ¹⁾	Straßet	Gesamt- belastung [µg/m³]	Anteil Kfz- Verkehr im Ballungsraum [%]	Anteil Gebäude- heizung im Ballungsraum [%]	Anteil Industrie im Ballungsraum [%]
1	Altenritter Str. 15	34,0	38,6	4,3	2,8
2	Brüderstr. 5	40,6	49,3	6,0	3,6
3	Fünffensterstr. 14	38,8	46,8	6,5	4,0
4	Frankfurter Str. 102	44,1	50,6	6,2	4,6
5	Frankfurter Str. 247	40,5	48,2	6,2	4,1
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	39,4	47,3	6,9	3,2
7	Hannoversche Str. 8	35,9	45,0	5,2	2,7
8	Holländische Str. 157	46,1	58,3	4,9	2,0
9	Holländische Str. 28	55,7	63,9	4,7	2,4
10	Ihringshäuser Str. 43	40,3	50,2	6,1	2,7
11	Kohlenstr. 40	47,4	56,3	5,7	2,3
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	29,5	32,7	5,3	1,3
13	Leipziger Str. 159	43,8	53,5	5,1	3,3
14	Mauerstr. 11	39,7	48,0	6,6	3,4
15	Obervellmarer Str. 4	43,1	55,4	4,7	1,1
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	35,1	46,1	3,6	1,1
17	Schönfelder Str. 50	48,9	57,5	5,5	2,6
18	Schönfelder Str. 6	38,6	45,5	7,1	3,3
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	41,1	49,1	6,6	3,1
19	Tischbeinstr. 18	38,9	46,2	7,0	3,8
20	Veckerhagener Str. 66	33,7	42,5	4,7	1,8
21	Weserstr. 17	54,0	62,8	4,3	2,7
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,5	40,1	7,6	2,0
23	Wolfhager Str. 124	44,2	54,5	5,8	2,8
24	Ysenburgstr. 29	44,6	54,7	5,2	3,2

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 19

**Tabelle 26: Aufschlüsselung der berechneten NO₂-Jahresmittelwerte nach Emittenten-
gruppen**

Den Beitrag der Emissionen der Emittentengruppen Kfz-Verkehr, Industrie und Gebäudeheizung zur Immissionsbelastung an den 25 Aufpunkten enthält Tabelle 26. Im Vergleich mit Tabelle 24, die die emittentenbezogene Aufschlüsselung der Immissionsbeiträge für PM₁₀ enthält, sind bei NO₂ die Beiträge dieser Emittentengruppen aus dem Ballungsraum größer als bei PM₁₀. Der Anteil des Kfz-Verkehrs liegt bei 40 bis 50 %, der der Gebäudeheizung bei 5 bis 6 % und der der Industrie bei 2 bis 3 % der Immissionsbelastung an den Aufpunkten.

5.5 Minderungsszenarien

Zur besseren Abschätzungen der Effektivität möglicher Maßnahmen wurden für zwei Szenarien die resultierenden Minderungen der Immissionsbelastung berechnet:

- Immissionssituation ohne Emissionen der Autobahnen im Ballungsraum Kassel (Szenario 1) und
- Immissionssituation bei einer Halbierung der Kfz-Emissionen im Innenstadtbereich von Kassel (Szenario 2).

Beide Szenarien sind hypothetisch und nur geeignet Maximalwerte für Immissionsminderungen als Bewertungshilfe für die Effektivität realer Maßnahmen zu bekommen. Berechnet wurde, wie sich die Immissionssituation für die 25 Aufpunkte ändert.

Zunächst wurde das Szenario „Autobahnen ohne Emissionen“ bearbeitet und für die 25 Aufpunkte in Straßenschluchten die bei der Modifikation der Emissionsstruktur „ohne Emissionen Autobahnen“ resultierende Immissionsbelastung berechnet. Bei diesem Szenario bleibt der Transport von außen in den Ballungsraum und der Beitrag der Straßenschlucht zur Immissionsbelastung an den Aufpunkten unverändert im Vergleich mit der Simulation der Ist-Belastung. Die Ergebnisse der Szenariorechnung sind in Tabelle 27 für PM₁₀ und in Tabelle 28 für NO₂ zusammengestellt. Die resultierende Immissionsminderung ist

- als Konzentrationswert in µg/m³,
- als Anteil bezogen auf die Gesamtbelastung am Aufpunkt und
- bezogen auf den Anteil aller Kfz-Emissionen an der Immissionsbelastung am jeweiligen Aufpunkt

angegeben.

Nr. ¹⁾	Straße	Situation 2003		Szenario 1 ²⁾		Szenario 2 ³⁾	
		Jahresmittel [µg/m³]	Anteil Kfz [%]	Minderung [µg/m³]	Minderung [%] ⁴⁾	Minderung [µg/m³]	Minderung [%] ⁴⁾
1	Altenritter Str. 15	32,0	12,4	1,0	3,1	0,1	0,3
2	Brüderstr. 5	36,7	19,4	0,6	1,6	0,3	0,8
3	Fünffensterstr. 14	35,7	16,9	0,7	2,0	0,2	0,6
4	Frankfurter Str. 102	38,2	21,5	0,7	1,8	0,2	0,5
5	Frankfurter Str. 247	36,7	18,8	1,0	2,7	0,1	0,3
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	36,2	17,3	0,6	1,7	0,3	0,8
7	Hannoversche Str. 8	33,2	14,9	1,2	3,6	0,1	0,3
8	Holländische Str. 157	40,8	28,6	0,5	1,2	0,1	0,2
9	Holländische Str. 28	47,1	37,1	0,6	1,3	0,3	0,6
10	Ihringshäuser Str. 43	36,8	20,5	0,6	1,6	0,1	0,3
11	Kohlenstr. 40	41,1	27,1	0,6	1,5	0,3	0,7
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	31,0	9,9	0,5	1,6	0,1	0,3
13	Leipziger Str. 159	37,5	22,2	1,0	2,7	0,1	0,3
14	Mauerstr. 11	34,0	12,2	0,6	1,8	0,3	0,9
15	Obervellmarer Str. 4	39,9	27,9	0,3	0,8	0,1	0,3
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	32,4	14,2	2,0	6,2	0,1	0,3
17	Schönfelder Str. 50	41,8	27,9	0,6	1,4	0,3	0,7
18	Schönfelder Str. 6	36,4	17,2	0,6	1,6	0,3	0,8
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	37,7	20,1	0,6	1,6	0,3	0,8
19	Tischbeinstr. 18	36,2	17,2	0,7	1,9	0,3	0,8
20	Veckerhagener Str. 66	32,6	14,5	0,4	1,2	0,1	0,3
21	Weserstr. 17	48,9	40,1	0,7	1,4	0,2	0,4
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,6	12,4	0,5	1,5	0,3	0,9
23	Wolfhager Str. 124	39,8	25,0	0,5	1,3	0,2	0,5
24	Ysenburgstr. 29	39,0	24,9	0,7	1,8	0,2	0,5

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 18.

²⁾ Keine Emissionen der Bundesautobahnen im Untersuchungsgebiet Kassel.

³⁾ Kfz-Verkehr halbiert in der Kasseler Innenstadt.

⁴⁾ Bezogen auf den Jahresmittelwert (= Gesamtbelastung).

Tabelle 27: Ergebnisse der Szenarienrechnungen für PM10

Bei dieser Darstellung wird das wesentlichste Ergebnis dieser Szenarien-Rechnung deutlich. Wegen des hohen Anteils des PM10-Eintrages, der von außen in den Ballungsraum Kassel eingetragen wird, ergibt selbst eine radikale Emissionsminderung bei den Autobahnen im Ballungsraum nur eine relativ bescheidene Änderung – beschrieben in µg/m³ der Immissionsbelastung im Ballungsraum. Gleichwohl zeigt die Szenarienrechnung aber auch, dass die durch den Kfz-Verkehr auf den Autobahnen freigesetzten Emissionen nur bis etwa 10 % der durch Emissionen im Ballungsraum Kassel verursachten Immissionsbelastung erklären. Der Beitrag der Autobahn-Emissionen ist dabei erwartungsgemäß bei den im Osten und Südosten des Ballungsraumes Kassel gelegenen Aufpunkten am Höchsten (bis 2,0 µg PM10/m³) und nimmt im Kasseler Becken nach Westen und Nordwesten hin deutlich ab (bis 0,5 µg/m³). Da bei NO₂ der Anteil des Transportes in den Ballungsraum deutlich kleiner ist als bei PM10, ergeben sich an den Aufpunkten meist Immissionsreduktionen um ca. 10 %, an einzelnen Aufpunkten in Autobahnnähe sogar bis 20 %. Gleichwohl ist - bezogen auf die Höhe der beim Szenario angesetzten Emissionsminderung - die erreichbare Immissionsminderung auch bei NO₂ nicht so, dass bei dem angesetzten Szenario alle Immissionsprobleme gelöst wären.

Nr. ¹⁾	Straße	Situation 2003		Szenario 1 ²⁾		Szenario 2 ³⁾	
		Jahresmittel [µg/m³]	Anteil Kfz [%]	Minderung [µg/m³]	Minderung [%] ⁴⁾	Minderung [µg/m³]	Minderung [%] ⁴⁾
1	Altenritter Str. 15	34,0	38,6	5,1	15,0	0,1	0,3
2	Brüderstr. 5	40,6	49,3	3,2	7,9	1,5	3,7
3	Fünffensterstr. 14	38,8	46,8	3,5	9,0	1,3	3,4
4	Frankfurter Str. 102	44,1	50,6	3,5	7,9	1,3	2,9
5	Frankfurter Str. 247	40,5	48,2	4,6	11,4	0,6	1,5
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	39,4	47,3	2,9	7,4	1,7	4,3
7	Hannoversche Str. 8	35,9	45,0	6,2	17,3	0,3	0,8
8	Holländische Str. 157	46,1	58,3	2,1	4,6	0,7	1,5
9	Holländische Str. 28	55,7	63,9	3	5,4	1,5	2,7
10	Ihringshäuser Str. 43	40,3	50,2	2,8	6,9	0,9	2,2
11	Kohlenstr. 40	47,4	56,3	2,4	5,1	1,7	3,6
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	29,	32,7	2,5	8,5	0,4	1,4
13	Leipziger Str. 159	43,8	53,5	5,3	12,1	0,4	0,9
14	Mauerstr. 11	39,7	48,0	2,9	7,3	1,6	4,0
15	Obervellmarer Str. 4	43,1	55,4	1,2	2,8	0,7	1,6
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	35,1	46,1	9,2	26,2	0,1	0,3
17	Schönfelder Str. 50	48,9	57,5	2,9	5,9	1,6	3,3
18	Schönfelder Str. 6	38,6	45,5	2,9	7,5	1,6	4,1
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	41,1	49,1	2,9	7,1	1,6	3,9
19	Tischbeinstr. 18	38,9	46,2	3,2	8,2	1,5	3,9
20	Veckerhagener Str. 66	33,7	42,5	2,3	6,8	0,3	0,9
21	Weserstr. 17	54,0	62,8	3,2	5,9	1,2	2,2
22	Wilhelmshöher Allee 286	33,5	40,1	1,9	5,7	1,5	4,5
23	Wolfhager Str. 124	44,2	54,5	2,1	4,8	1,3	2,9
24	Ysenburgstr. 29	44,6	54,7	3,2	7,2	1,2	2,7

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 19.

²⁾ Keine Emissionen der Bundesautobahnen im Untersuchungsgebiet Kassel.

³⁾ Kfz-Verkehr halbiert in der Kasseler Innenstadt.

⁴⁾ Bezogen auf den Jahresmittelwert (= Gesamtbelastung).

Tabelle 28: Ergebnisse der Szenarienrechnungen für NO₂

Beim zweiten Szenario wurde für einen abgegrenzten Innenstadtbereich (siehe Abbildung 1) die Emissionen des Kfz-Verkehrs halbiert. Dieses Szenario ändert den Immissionsbeitrag der Kfz-Emissionen aus dem Ballungsraum und den Straßenschlucht-Beitrag, der Transport von außen in den Ballungsraum bleibt unverändert. Die Ergebnisse der Szenario-Rechnung sind für die 25 Aufpunkte – zusammen mit den Ergebnissen des Szenarios 1 für PM₁₀ in Tabelle 29 und für NO₂ in Tabelle 30 zusammengestellt.

Nr. ¹⁾	Straße	Situation 2003		Szenario 1 ²⁾		Szenario 2 ³⁾	
		Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenz- wert 24h- Wert ⁴⁾	Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenz- wert 24h- Wert ⁴⁾	Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenzwert 24h-Wert ⁴⁾
1	Altenritter Str. 15	nein	ja	nein	ja	nein	nein
2	Brüderstr. 5	nein	ja	nein	ja	nein	ja
3	Fünffensterstr. 14	nein	ja	nein	ja	nein	ja
4	Frankfurter Str. 102	nein	ja	nein	ja	nein	ja
5	Frankfurter Str. 247	nein	ja	nein	ja	nein	ja
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	nein	ja	nein	ja	nein	ja
7	Hannoversche Str. 8	nein	ja	nein	nein	nein	nein
8	Holländische Str. 157	ja	ja	ja	ja	nein	ja
9	Holländische Str. 28	ja	ja	ja	ja	nein	ja
10	Ihringshäuser Str. 43	nein	ja	nein	ja	nein	nein
11	Kohlenstr. 40	ja	ja	ja	ja	nein	ja
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	nein	ja	nein	ja	nein	nein
13	Leipziger Str. 159	nein	ja	nein	ja	nein	ja
14	Mauerstr. 11	nein	ja	nein	ja	nein	ja
15	Obervellmarer Str. 4	nein	ja	nein	ja	nein	ja
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	nein	ja	nein	nein	nein	nein
17	Schönfelder Str. 50	ja	ja	ja	ja	nein	ja
18	Schönfelder Str. 6	nein	ja	nein	ja	nein	ja
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	nein	ja	nein	ja	nein	ja
19	Tischbeinstr. 18	nein	ja	nein	ja	nein	ja
20	Veckerhagener Str. 66	nein	ja	nein	nein	nein	nein
21	Weserstr. 17	ja	ja	ja	ja	nein	ja
22	Wilhelmshöher Allee 286	nein	ja	nein	ja	nein	ja
23	Wolfhager Str. 124	nein	ja	nein	ja	nein	ja
24	Ysenburgstr. 29	nein	ja	nein	ja	nein	ja

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 19.

²⁾ Keine Emissionen der Bundesautobahnen im Untersuchungsgebiet Kassel.

³⁾ Kfz-Verkehr halbiert in der Kasseler Innenstadt.

⁴⁾ Erläuterung der Grenzwerte in Tabelle 1

rot: Überschreitung von Grenzwert, gültig ab 2005.

Tabelle 29: Überschreitung der PM10-Grenzwerte der 22. BImSchV [16] als Ergebnis der Modellrechnungen für die beiden Emissionsszenarien

Der Vergleich der Jahreskenngrößen - berechnet für Szenario eins und Szenario zwei – zeigt für die Aufpunkte in der Kasseler Innenstadt; dass der Immissionsrückgang im Szenario zwei ausgeprägter ist als beim Szenario eins. Eine Ursache ist sicher, dass beim Szenario zwei „Verkehrsemissionen in der Kasseler Innenstadt“ der Bereich, wo die Emissionen gemindert werden, und der Bereich, wo die Immissionsbelastung gemindert werden soll, sich weitgehend überdecken. Damit wird die Emissionsminderung voll im untersuchten Bereich in eine Immissionsminderung umgesetzt.

Nr. ¹⁾	Straße	Situation 2003		Szenario 1 ²⁾		Szenario 2 ³⁾	
		Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenz- wert 24h- Wert ⁴⁾	Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenz- wert 24h- Wert ⁴⁾	Grenz- wert Jahr ⁴⁾	Grenz- wert 24h- Wert ⁴⁾
1	Altenritter Str. 15	nein	nein	nein	nein	nein	nein
2	Brüderstr. 5	ja	nein	nein	nein	nein	nein
3	Fünffensterstr. 14	ja	nein	nein	nein	nein	nein
4	Frankfurter Str. 102	ja	nein	ja	nein	nein	nein
5	Frankfurter Str. 247	ja	nein	nein	nein	nein	nein
6	Friedrich-Ebert-Str. 32	ja	nein	nein	nein	nein	nein
7	Hannoversche Str. 8	nein	nein	nein	nein	nein	nein
8	Holländische Str. 157	ja	nein	ja	nein	nein	nein
9	Holländische Str. 28	ja	nein	ja	nein	ja	nein
10	Ihringshäuser Str. 43	ja	nein	nein	nein	nein	nein
11	Kohlenstr. 40	ja	nein	ja	nein	nein	nein
12	Konrad-Adenauer-Str. 73	nein	nein	nein	nein	nein	nein
13	Leipziger Str. 159	ja	nein	ja	nein	nein	nein
14	Mauerstr. 11	ja	nein	nein	nein	nein	nein
15	Obervellmarer Str. 4	ja	nein	ja	nein	nein	nein
16	Ochshäuser Dorfstr. 12	nein	nein	nein	nein	nein	nein
17	Schönfelder Str. 50	ja	nein	ja	nein	ja	nein
18	Schönfelder Str. 6	nein	nein	nein	nein	nein	nein
18A	Schönfelder Str. 6 (Geplant)	ja	nein	ja	nein	nein	nein
19	Tischbeinstr. 18	nein	nein	nein	nein	nein	nein
20	Veckerhagener Str. 66	nein	nein	nein	nein	nein	nein
21	Weserstr. 17	ja	nein	ja	nein	ja	nein
22	Wilhelmshöher Allee 286	nein	nein	nein	nein	nein	nein
23	Wolfhager Str. 124	ja	nein	ja	nein	nein	nein
24	Ysenburgstr. 29	ja	nein	ja	nein	nein	nein

¹⁾ Nummerierung siehe Abbildung 19.

²⁾ Keine Emissionen der Bundesautobahnen im Untersuchungsgebiet Kassel.

³⁾ Kfz-Verkehr halbiert in der Kasseler Innenstadt.

⁴⁾ Erläuterung der Grenzwerte in Tabelle 1

blau: Überschreitung von Grenzwert, gültig ab 2010.

Tabelle 30: Überschreitung der NO₂-Grenzwerte der 22. BImSchV als Ergebnis der Modellrechnungen für die beiden Emissionsszenarien

In Tabelle 31 ist zusammengestellt, wie viele Überschreitungsfälle durch Szenario eins und Szenario 2 abgebaut werden; die Zahl der Immissionsgrenzwertüberschreitung im Ist-Zustand ist zum Vergleich in Tabelle 31 mit aufgelistet. Die Zahl der Immissionsgrenzwertüberschreitungen bei der Immissionskenngröße „Jahr“ bei PM10 ändert sich beim Szenario 1 (ohne Autobahn) gegenüber dem Ist-Zustand nicht und geht bei der Kurzzeitkenngröße Tag von 25 im Ist-Zustand auf 22 beim Szenario 1 bzw. 19 beim Szenario 2 zurück. Bei NO₂ überschreitet in der Ist-Situation die Immissionskenngröße „Jahr“ den Immissionsgrenzwert in 17 von 25 Fällen; beim Szenario 1 geht die Zahl der Überschreitungen des Immissionsgrenzwertes Jahr auf 11 zurück und beim Szenario 2 sogar auf 3 Fälle. Der Kurzzeit-Immissionsgrenzwert „Stunde“ ist bei NO₂ in der Ist-Situation und in den beiden Szenarien eingehalten.

	Gesamt- anzahl	NO ₂ -Grenzwert		PM10-Grenzwert	
		Jahr ³⁾	1-h-Wert ³⁾	Jahr ³⁾	24-h-Wert ³⁾
Situation 2003	25	17	0	5	25
Szenario 1 ¹⁾	25	11	0	5	22
Szenario 2 ²⁾	25	3	0	0	19
CLE-Szenario	25		0		

¹⁾ Keine Emissionen der Bundesautobahnen im Untersuchungsgebiet Kassel.

²⁾ Kfz-Verkehr halbiert in der Kasseler Innenstadt.

³⁾ Erläuterung der Grenzwerte in Tabelle 1

Tabelle 31: Anzahl der Straßen mit Überschreitung der Grenzwerte nach 22. BImSchV [16] als Ergebnis der Modellrechnungen

6 Angaben zu bereits durchgeführten Maßnahmen

Mit der Ausweisung von vier Belastungsgebieten nach § 44 Bundes-Immissionsschutzgesetz alter Fassung in Hessen durch Verordnung vom 5. August 1975 [4] war es erforderlich, die Emissionen und Immissionen in diesen Gebieten zu erfassen. Sie dienten als Grundlage für die damals zu erstellenden Luftreinhaltepläne. Da das ehemalige „Belastungsgebiet Kassel“ vollständig im Gebiet des „Ballungsraumes Kassel“ liegt, kann man für die Zeitreihen über die Entwicklung der Emissionen bzw. der Immissionssituation auf diese Daten zurückgreifen.

6.1 Maßnahmen zur Emissionsminderung

Die Erfolge der früheren Maßnahmen zur Emissionsminderung werden mit den langjährigen Trendkurven zur Emissionsentwicklung aufgezeigt. Da am Anfang nur die Emissionsdaten in dem damaligen Belastungsgebiet Kassel [4] erhoben wurden, werden für die aktuellen Jahre ebenfalls die Emissionsdaten nur für den Bereich des Belastungsgebietes berücksichtigt. Die folgenden Zahlen sind deshalb mit den Angaben für den Ballungsraum Kassel (siehe Tabelle 11 und Tabelle 13) nicht vergleichbar. Für die Jahre, in denen keine Erhebung durchgeführt wurde, sind die Daten durch Interpolation aus den Daten der Erhebungsjahre berechnet.

Abbildung 30 zeigt die Entwicklung der Gesamtstaubemissionen von 1978 bis zum Jahr 2000 im Belastungsgebiet Kassel. Da man früher die Daten für Gesamtstaub und nicht für PM₁₀ erhoben hat, sind in der Abbildung 30 die Emissionen von Gesamtstaub dargestellt. Der Gesamtstaub setzt sich sowohl aus der Grobstaubfraktion als auch aus der Feinstaubfraktion, z. B. PM₁₀, zusammen.

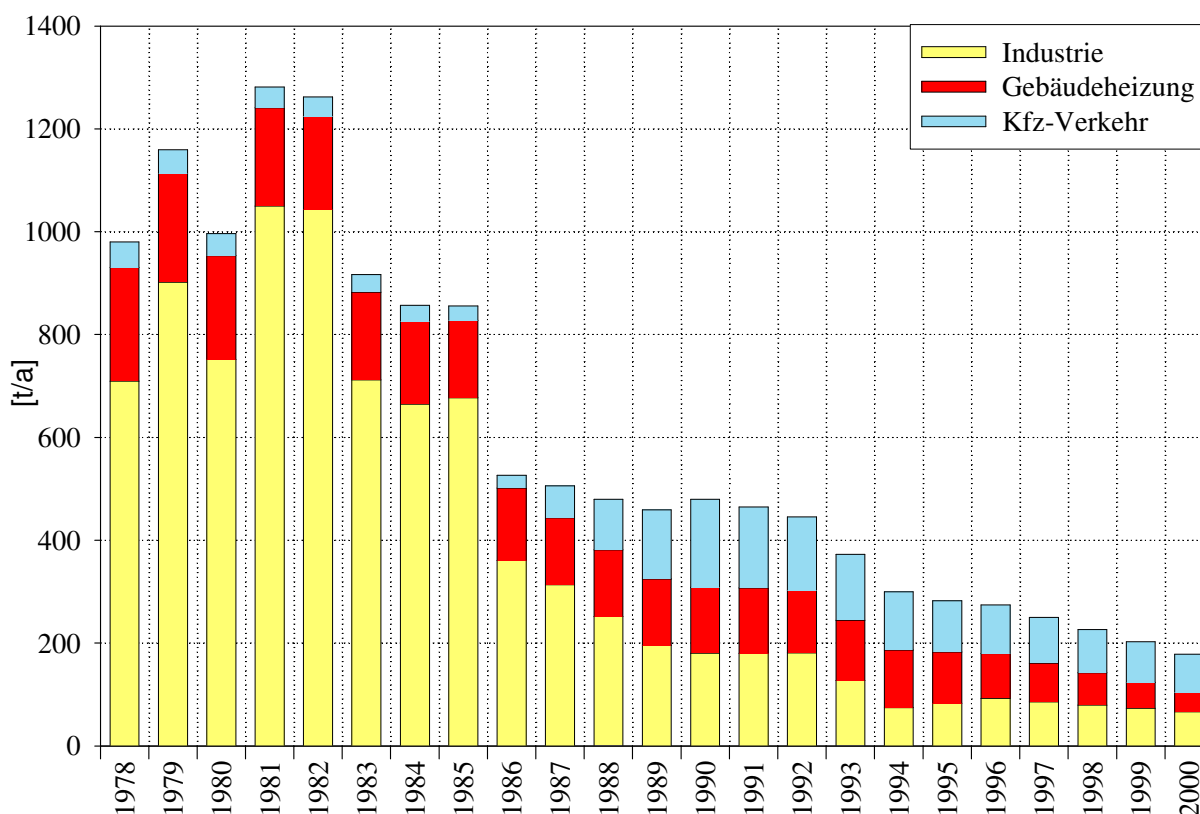


Abbildung 30: Entwicklung der Gesamtstaubemissionen im Belastungsgebiet Kassel von 1978 bis 2000 (interpolierte Angaben)

In der Abbildung 31 ist die Entwicklung der Emissionen von NO_x im Belastungsgebiet Kassel dargestellt. Mit NO_x wird die Summe aus NO und NO₂, angegeben als NO₂, bezeichnet.

Welche Maßnahmen die Emissionsentwicklung beeinflusst haben wird in den folgenden Abschnitten ausgeführt.

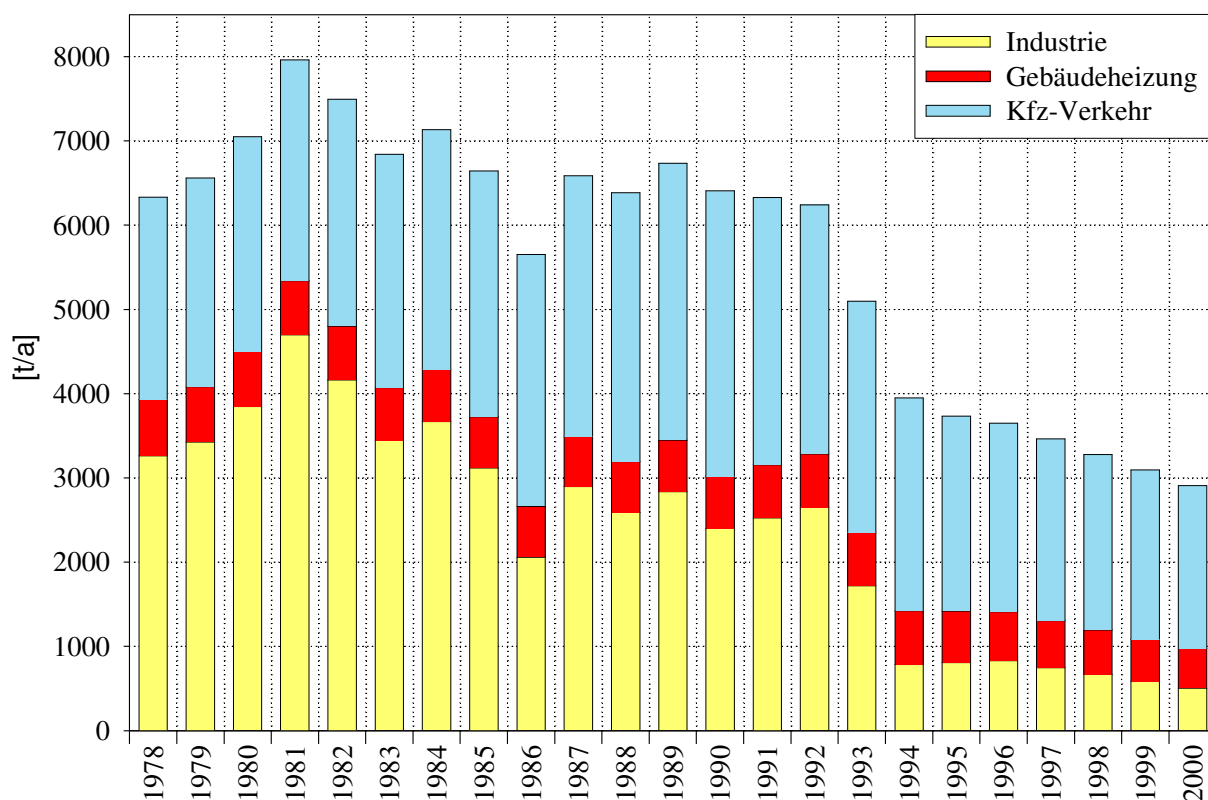


Abbildung 31: Entwicklung der NO_x-Emissionen im Belastungsgebiet Kassel von 1978 bis 2000 (interpolierte Angaben)

6.1.1 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Kfz-Verkehr

Bei den Maßnahmen zur Minderung der Emissionen des Kfz-Verkehrs muss unterschieden werden zwischen den Maßnahmen zur Minderung der spezifischen Emissionen der einzelnen Fahrzeuge und planerischen Maßnahmen zur Vermeidung von Kfz-Fahrten und zur Lenkung der Verkehrsströme. Die Minderung der spezifischen Emissionen am Fahrzeug erfolgt sowohl über die Begrenzung der Fahrzeugemissionen als auch durch erhöhte Anforderungen an die Qualität der zum Betrieb der Kraftfahrzeuge eingesetzten Otto- und Diesel-Kraftstoffe; beide Bereiche werden durch EG-Richtlinien geregelt. Primär ist das Instrument der Emissionsgrenzwerte für die Kraftfahrzeuge selbst zu sehen (vgl. Tabelle 32 mit einer Übersicht über die Abgasnormen und deren In-Kraft-Treten).

Norm	Pkw		Lkw und Busse	
	Jahr	Richtlinie	Jahr	Richtlinie
Euro 0			1988/90	88/77/EWG
Euro 1	1992	91/44/EWG, 93/59/EWG	1992/93	91/542/EWG
Euro 2	1996	94/12/EG, 96/69/EG	1995/96	91/542/EWG
Euro 3	2000	98/69/EG	2000	1999/96/EG
Euro 4	2005	98/96/EG	2005/06	1999/96/EG
Euro 5			2008/09	1999/96/EG

Tabelle 32: Übersicht über die Abgasnormen der EU

Dabei ist zu beachten, dass die verschärften Abgasnormen (Emissionsgrenzwerte) zunächst nur für Neuwagen gelten und erst über das Ausscheiden von Altfahrzeugen eine Senkung der mittleren Emissionswerte der Fahrzeugflotte erfolgt. Kontraproduktiv wirkt sich die in den letzten Jahren gestiegene Verkehrsleistung aus. Ein weiteres Problem stellt der steigende Anteil der Pkws mit Dieselmotor dar, der in Abbildung 32 im Verhältnis zu den Erstzulassungen abgebildet ist. Zwar gilt für Pkws bei den Erstzulassungen die Euro-4-Norm, doch sind die Grenzwerte für Diesel- und Ottomotoren unterschiedlich. Für Pkws mit Ottomotor liegt der NO_x -Grenzwert bei 0,08 g/km während der Grenzwert für Diesel-Fahrzeuge 0,25 g/km beträgt. Wegen der niedrigen Partikelemissionen ist für die Ottomotoren kein Grenzwert festgelegt im Gegensatz zu den Diesel-Pkws mit einem Grenzwert von 0,025 g/km.

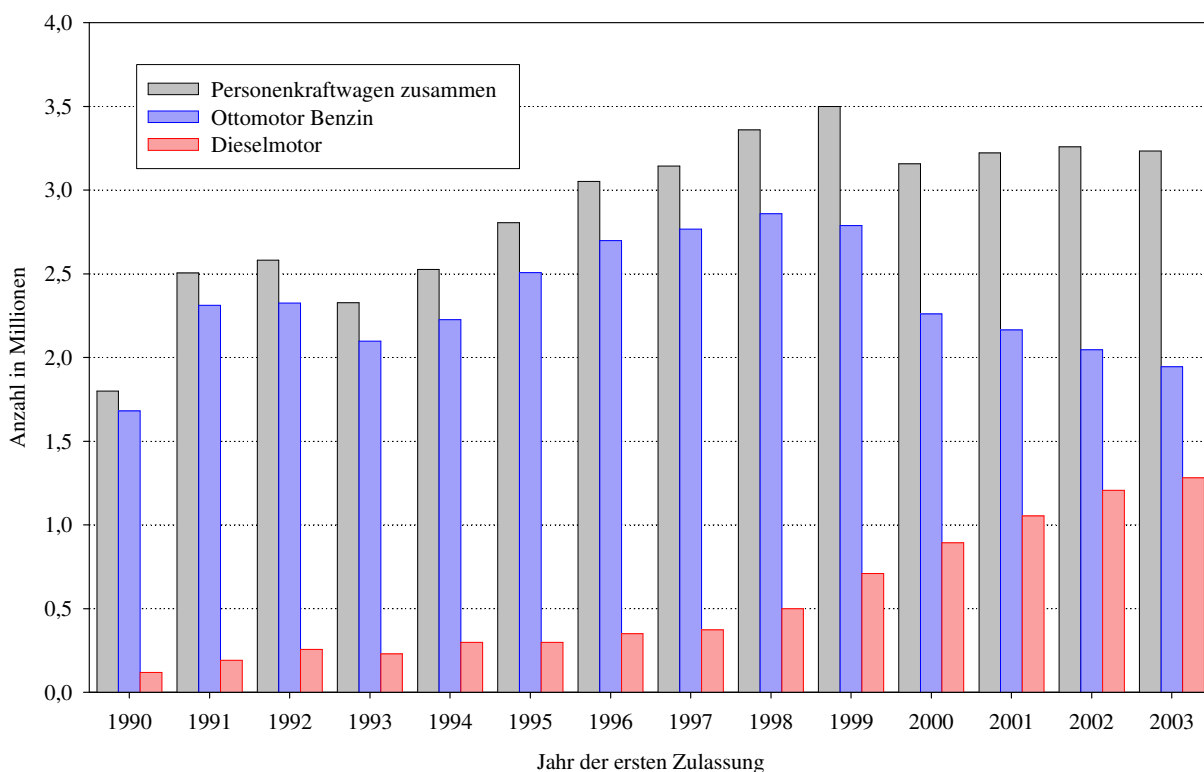


Abbildung 32: Entwicklung des Personenkraftwagenbestandes von 1990 bis 2003 aufgeschlüsselt nach Antriebsarten in der Bundesrepublik

Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Kfz-Emissionen ist der Ausbau des öffentlichen Personen-Nahverkehrs. Hierzu wird in der 1. Fortschreibung des Luftreinhalteplans Kassel von 1999 das Regio-Tram-Konzept für Kassel beschrieben. Inzwischen sind erste Strecken in Betrieb und weitere in Bau.

6.1.2 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Gebäudeheizung

Bei der Emittentengruppe Gebäudeheizung gab es zwischen 1980 und 2002 erhebliche Veränderungen. Günstige Gas- und Heizöl-Preise sowie die Bedienungsfreundlichkeit dieser Heizungsanlagen haben in den 70er und 80er Jahren verbreitet zu einem Ersatz von veralteten Kohlefeuerungen durch mit Gas oder Heizöl betriebene Heizungsanlagen im Bereich der Wohnhäuser geführt. Die 1979 in Kraft gesetzte und seither mehrfach novellierte 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen [6]) hat zusätzlich mit ihren Emissionsgrenzwerten und dem Gebot, die Emissionen einmal im Jahr durch Messungen von Sachverständigen überprüfen zu lassen, eine Basis geschaffen, bei Heizungsanlagen im Bereich der Emittentengruppe Gebäudeheizung eine Emissionsbegrenzung auch durchzusetzen.

Bei den Maßnahmen zur Emissionsminderung im Bereich Gebäudeheizung ist zu unterscheiden zwischen den Anforderungen an die Feuerungsanlagen zur Emissionsminderung bzw. Emissionsbegrenzung und den Anforderung an das Gebäude hinsichtlich Wärmedämmung. Gute Wärmedämmung führt zu einer Minderung des Heizwärmebedarfes und damit zur Vermeidung von Emissionen. Die Mindestanforderungen zur Energieeinsparung bei Gebäuden werden im Wesentlichen durch das Energieeinspargesetz [41] und die Energieeinsparverordnung [42] festgelegt.

Bereits in den Luftreinhalteplänen Kassel von 1986 [64] und 1999 [65] war der Ausbau des Fernwärmenetzes in Kassel als Maßnahme vorgesehen. Abbildung 33 zeigt die Entwicklung der abgegebenen Fernwärmemenge, die sich von 1986 bis 2004 auf das 7fache gesteigert hat.

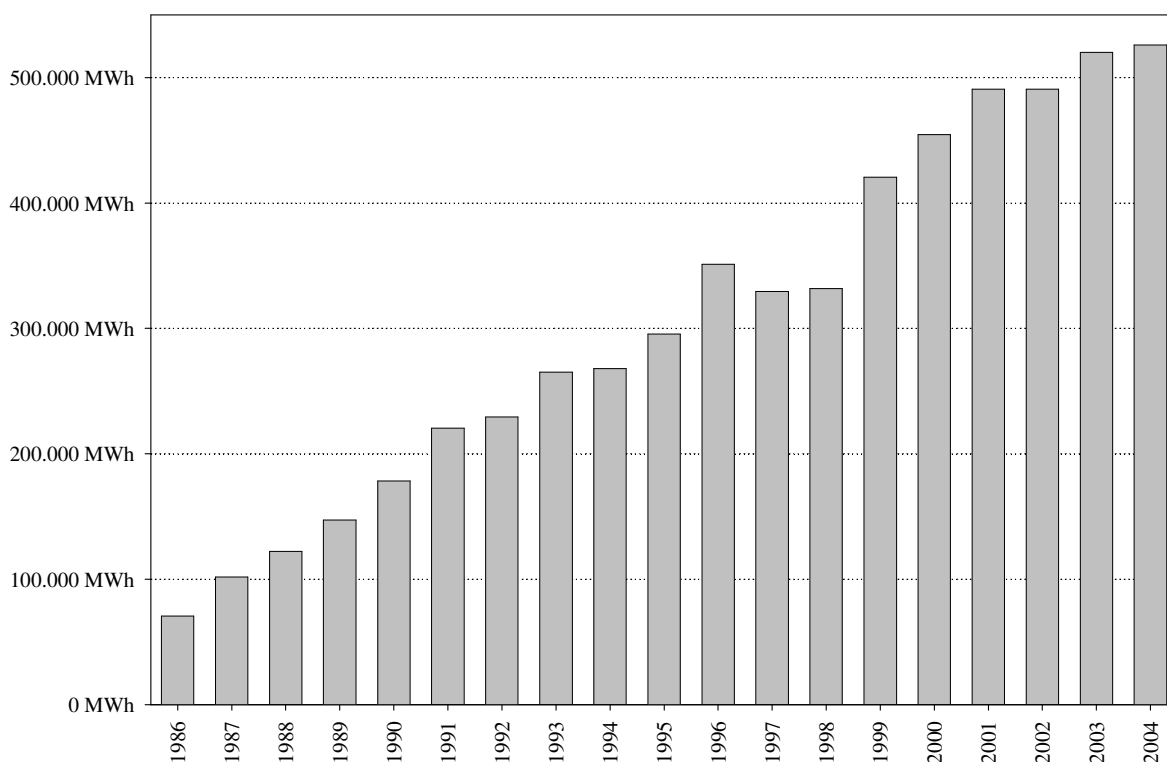


Abbildung 33: Entwicklung der Fernwärmeabgabe in Kassel von 1986 bis 2004

6.1.3 Maßnahmen bei der Emittentengruppe Industrie

Bereits seit Beginn der 70er Jahre sind mit der Festlegung von Standards für die Emissionsminderung bei Industrieanlagen erhebliche Minderungen der Belastungen von NO_x und insbesondere auch von Staub erzielt worden. In Abbildung 30 und Abbildung 31 sind für das Belastungsgebiet Kassel die erreichten Emissionsminderungen bei den Komponenten Gesamtstaub und NO_x für die Emittentengruppe Industrie zusammengestellt. Zu dieser Entwicklung haben die Anforderungen der Groß-

feuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV [11]), das „Altanlagen-sanierungsprogramm“ der TA Luft von 1986 und die Abfallverbrennungsanlagenverordnung (17. BImSchV [12]) wesentlich beigetragen. Die im Juli 2002 erneut gesenkten Emissionsgrenzwerte der TA Luft [2] müssen neu zu errichtende oder zu ändernde Anlagen sofort, bestehende Industrieanlagen spätestens bis zum 30. Oktober 2007 einhalten. Die Absenkung des Staubgrenzwertes um 60 % erfordert in diesem Bereich bei einer ganzen Reihe von Anlagen umfangreiche Nachrüstungsmaßnahmen mit Filteranlagen. Dies geschieht im Rahmen des aktuellen Altanlagen-sanierungsprogramms.

6.2 Längerfristiger Trend der Immissionsbelastung

Zeitreihen von Immissionsmessungen über zehn Jahre und länger sind eine sehr aussagekräftige Grundlage für die Effektivitätskontrolle von Maßnahmen zur Luftreinhaltung. Bei der Immissionsmessung werden die Emissionen aus allen Quellen erfasst. Ohne vollständiges Emissionskataster lassen sich allerdings die Veränderungen der Immissionsbelastung nicht erklären. Erst wenn sich die Aussagen der Emissionserhebung und der Immissionsmessung durch Ausbreitungsrechnungen widerspruchsfrei zu einem Bild zusammenfügen, ist eine umfassende Immissionsüberwachung sichergestellt.

6.2.1 Entwicklung der PM₁₀-Belastung

Die Messstationen wurden im Jahr 2000 zur Messung der PM₁₀-Fraktion umgerüstet. Vorher wurde Gesamtstaub gemessen. Für die Trendbetrachtung wurden die Gesamtstaubwerte mittels eines Faktors in PM₁₀ umgerechnet, da PM₁₀ eine Teilfraktion des Gesamtstaubes ist. Da die Messstationen Kassel-Fünffensterstraße und Bad Arolsen erst in den Jahren 1999/2000 mit PM₁₀-Messgeräten ausgestattet wurden, ist für diese Stationen der Messzeitraum zu kurz, um Trendaussagen zu machen.

In Abbildung 34 sind die Zeitreihen der Jahresmittelwert für PM₁₀ für den Ballungsraum Kassel eingetragen. Neben den Messstationen in Kassel und der Vergleichstation Bad Arolsen ist die 1998 stillgelegte Stadtstation Kassel-Bettenhausen eingetragen. Die Trendkurven für die dokumentierten Stadtstationen zeigen lang- und mittelfristig einen Rückgang der PM₁₀-Belastung auf. In einzelnen Jahren kann es – bedingt durch die von Jahr zu Jahr unterschiedliche Ausprägung der Witterung – zu Abweichungen vom mittleren Trend der PM₁₀-Belastung kommen.

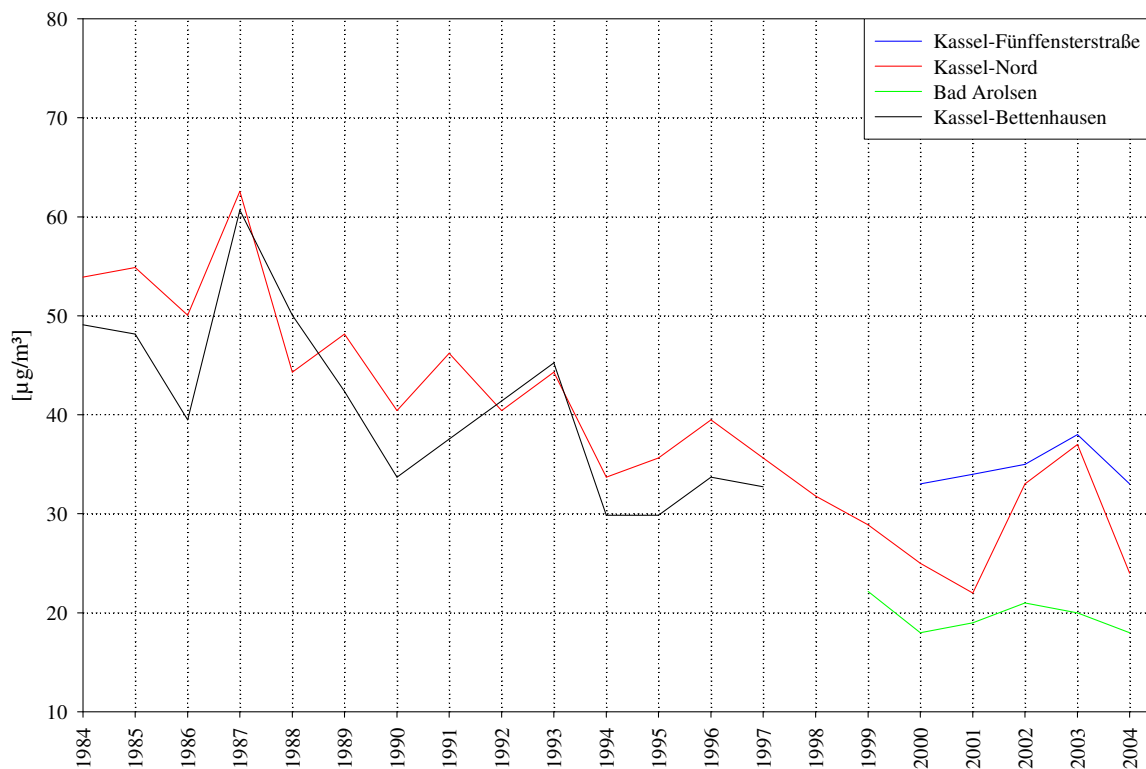


Abbildung 34: Trendkurve der gemessenen PM10-Jahresmittelwerte von 1984 bis 2004

In Abbildung 35 ist die Zeitreihe der Überschreitungshäufigkeit des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ für die Messstationen aus Abbildung 34 dargestellt. Diese Immissionskenngröße „Tag“ charakterisiert die Spitzenbelastung und ist wesentlich stärker vom Wetterablauf beeinflusst als der Jahresmittelwert. Die Schwankungen der Kenngröße „Tag“ von Jahr zu Jahr sind deshalb ausgeprägter als in den Trendkurven für den Jahresmittelwert. Die Zeitreihen der Immissionskenngröße „Tag“ für PM10 zeigen auch bei der Kurzzeitkenngröße einen Rückgang der Belastung an den beiden Stadtstationen. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr in der Zeitreihe zeigen aber auch deutlich, dass Änderungen von 10 Fällen oder mehr von Jahr zu Jahr möglich sind. Tendaussagen sollten daher auf Basis eines mindestens fünfjährigen Datenkollektives erfolgen.

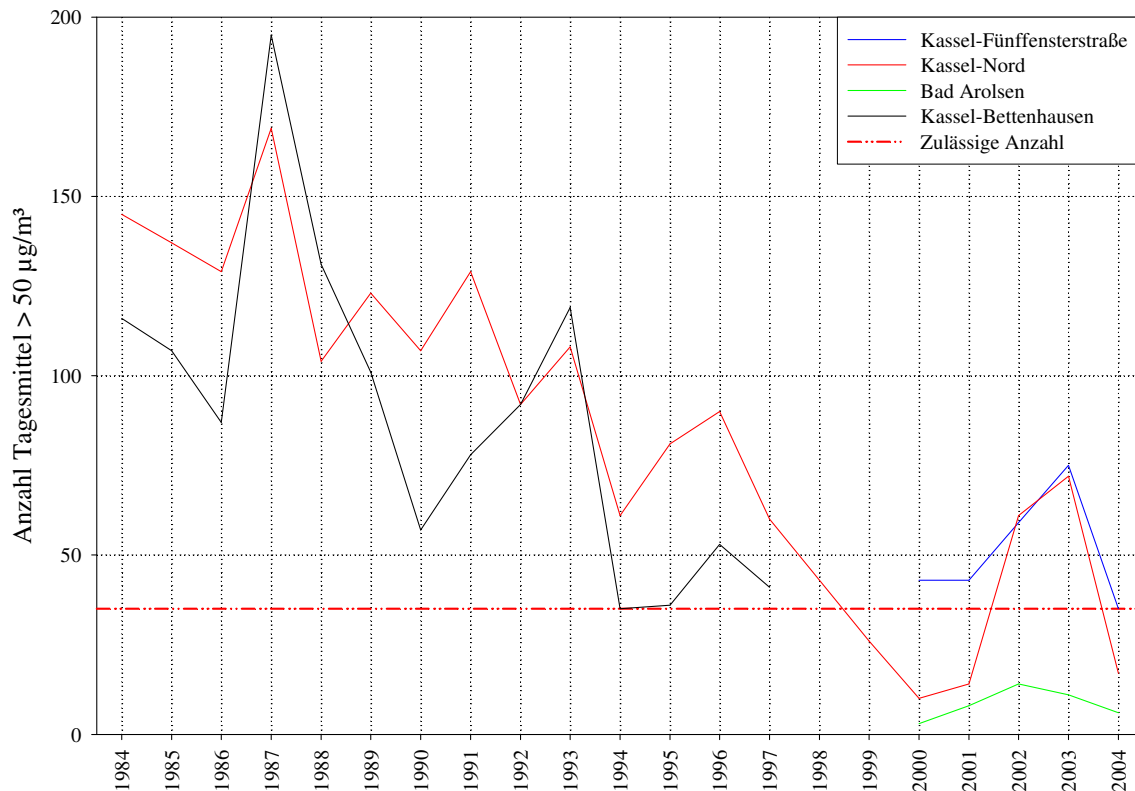


Abbildung 35: Trendkurve der gemessenen Überschreitungshäufigkeit der Tagesmittelwerte von 50 µg/m³ bei PM10 von 1984 bis 2004

6.2.2 Entwicklung der NO₂-Belastung

Abbildung 36 zeigt die Zeitreihe der NO₂-Jahremittelwerte seit Beginn der Messreihe für die Verkehrsstation Kassel-Fünffensterstraße, der aktuellen Stadtstation Kassel-Nord, die beiden stillgelegten Stadtstationen Kassel-Bettenhausen und Kassel-Süd sowie die außerhalb des Ballungsraumes gelegenen Vergleichsstation Witzenhausen. An der Verkehrsstation Kassel-Fünffensterstraße zeigt sich ein abnehmender Trend, allerdings nahm die Station erst 1999 den Messbetrieb auf. Die längste Zeitreihe liegt für die Stadtstation Kassel-Nord vor. In ersten Jahren stieg die Immissionsbelastung noch an, danach setzt ein Rückgang ein. Der Trend der letzten 5 Jahre ist nicht sehr eindeutig. An der Vergleichsstation Witzenhausen ist dagegen ein weitgehend stetiger Rückgang der NO₂-Belastung festzustellen. Der Rückgang an dieser emissionsfern gelegenen Station ist als Erfolg der im Rahmen der Großfeuerungsanlagenverordnung erreichten Emissionsminderungen zu sehen. Die über hohe Schornsteine abgeleiteten Emissionsraten der Kraftwerke führen zwar zu vergleichsweise kleinen Immissionszusatzbelastungen am Boden, beaufschlagen aber ein großes Umfeld. Diese durch die Maßnahmen an den Großfeuerungsanlagen erreichte Minderung der NO₂-Belastung wird in den Städten von dem aus den Emissionen des Kfz resultierenden Immissionsbeitrag überdeckt. Als dann der Anteil der Pkw, die mit Katalysator ausgerüstet sind, anfängt erkennbar zu steigen, beginnt dann auch an den Stadtstationen, die den städtischen Hintergrund erfassen, die NO₂-Belastung leicht abzusinken.

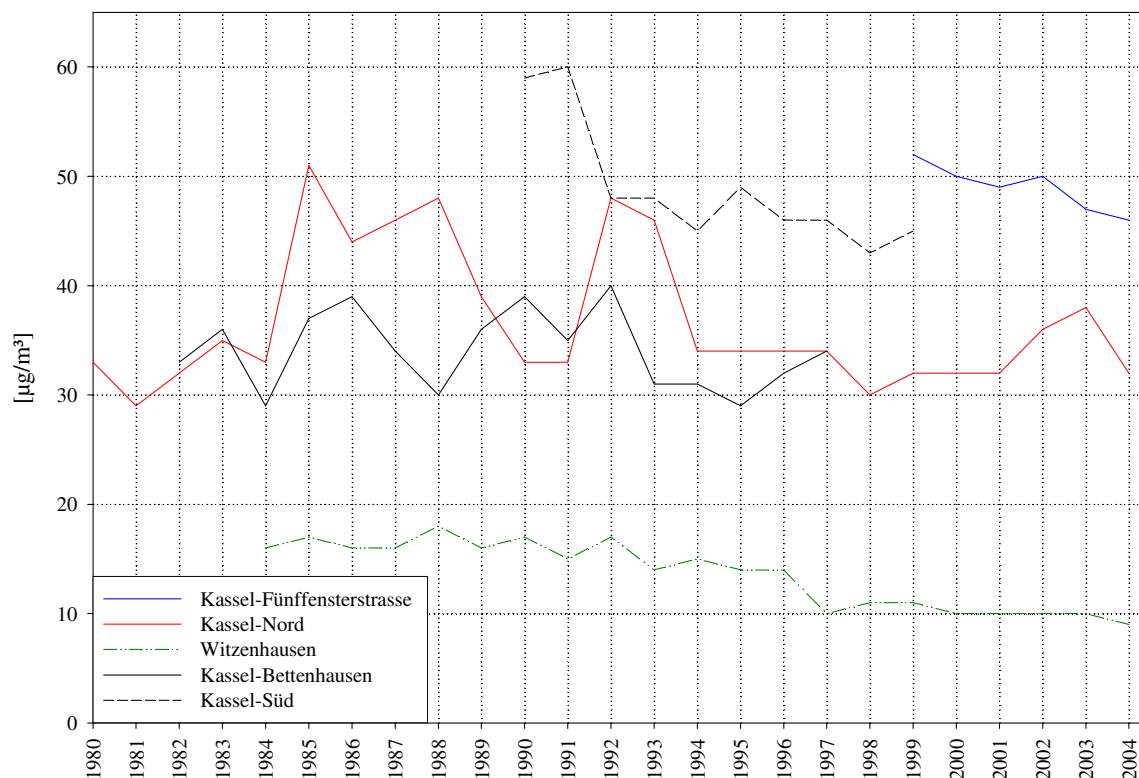


Abbildung 36: Trendkurve der gemessenen NO₂-Jahresmittelwerte von 1980 bis 2004

Das bei Verbrennungsprozessen gebildete NO_x bestehen im Allgemeinen überwiegend aus NO. Das NO wird schrittweise in der Atmosphäre zu NO₂ umgesetzt; an emissionsfernen Standorten ist daher die NO-Konzentration gegenüber der NO₂-Konzentration meist vernachlässigbar. In Ergänzung zur Trendkurve NO₂ zeigt Abbildung 37 die Trendkurven für NO und zwar für denselben Zeitraum und dieselben Stationen wie in Abbildung 36. Wesentliche Aussage aus dem Vergleich der NO- und NO₂-Trendkurven ist dabei, dass - im Gegensatz zur Situation bei NO₂ - die NO-Belastung an den Kasseler Stationen deutlich zurückgegangen ist. Das bedeutet, dass sich das NO/NO₂-Verhältnis in der städtischen Atmosphäre geändert hat. Eine Ursache kann die Verschiebung des NO/NO₂-Verhältnisses am Auspuff von Kraftfahrzeugen sein. Darüber hinaus haben Dieselmotore im Allgemeinen einen höheren NO₂-Anteil im Abgas als Fahrzeuge mit Ottomotor.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die vor dem In-Kraft-Treten der Richtlinie 96/62/EWG durchgeführten und eingeleiteten Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität zu einer lang- und mittelfristig eindeutigen Minderung der (Fein-)Staub- und NO_x-Emissionen im Kasseler Ballungsraum geführt haben. Ebenso ist die PM₁₀-Immissionsbelastung im Mittel der letzten zehn Jahre gesunken. Weniger deutlich ist die Immissionsentwicklung bei NO₂. Hier ist der Belastungsrückgang an der Vergleichsstation außerhalb des Ballungsraumes besser dokumentiert als an den für Kassel vorliegenden Messreihen. Dagegen ist der Rückgang der NO-Belastung – und damit auch der NO_x-Belastung – für Kassel durch die Immissionsmessungen dokumentiert.

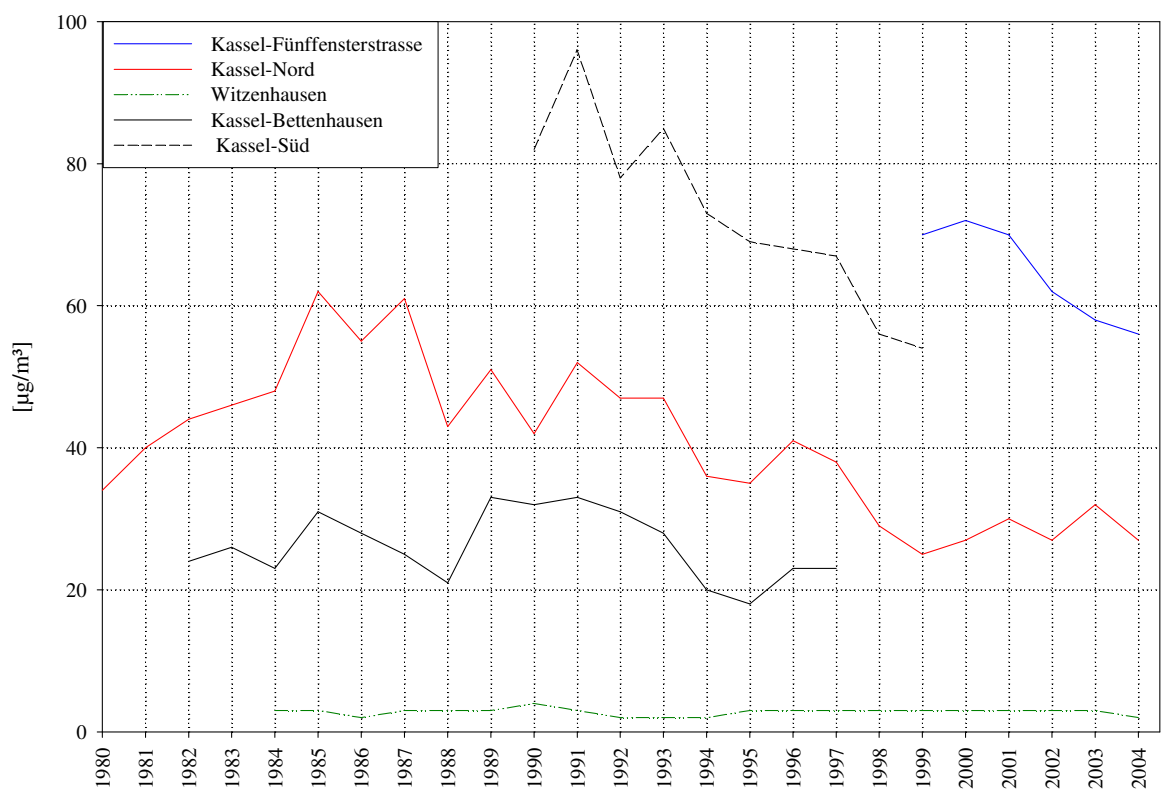


Abbildung 37: Trendkurve der gemessenen NO-Jahresmittelwerte von 1980 bis 2004

7 Angaben zu den geplanten oder langfristig angestrebten Maßnahmen oder Vorhaben

Im Rahmen der Luftreinhalteplanung wird unterschieden zwischen einem Luftreinhalteplan und einem Aktionsplan. Beide haben die Verminderung von Luftschadstoffen zum Ziel, unterscheiden sich aber sowohl im Zeitpunkt ihrer Aufstellung, in der Umsetzungsgeschwindigkeit als auch teilweise in der Wirkung der festgelegten Maßnahmen.

Luftreinhaltepläne sind nach tatsächlich erfolgter Überschreitung von Immissionsgrenzwerten einschließlich vorhandener Toleranzmargen nach der 22. BImSchV aufzustellen. Sie sollen erforderliche Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen festlegen.

Aktionspläne sind bereits dann aufzustellen, wenn die Gefahr droht, dass bereits geltende Immissionsgrenzwerte überschritten werden könnten. Maßnahmen müssen kurzfristig ergriffen werden können und sie müssen geeignet sein, die Gefahr der Überschreitung der Werte zu verringern oder den Zeitraum, während dessen die Werte überschritten werden, zu verkürzen. Aktionspläne können Teil eines Luftreinhalteplans sein.

Maßnahmen sind entsprechend des Verursacheranteils unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit gegen alle Emittenten zu richten, die zum Überschreiten der Immissionswerte beitragen. Wie bereits in den Kapiteln 4 und 5 dargelegt, tragen im Wesentlichen drei Hauptemittenten zur Belastung des Ballungsraums Kassel mit Luftschadstoffen bei – die Industrie, die Gebäudeheizung und der Verkehr. Auch die über den Ferneintrag von außen eingebrachten Luftverunreinigungen resultieren überwiegend aus Emissionen dieser Emittentengruppen. Dass bei der Maßnahmenfestlegung vor allem verkehrliche Maßnahmen im Vordergrund stehen, ist durch die andere Rechtsgrundlage für die Durchführung von Maßnahmen bei Industrie und in Teilen auch bei der Gebäudeheizung bedingt.

Zur beschleunigten Durchführung notwendiger Maßnahmen, die nicht in der alleinigen Zuständigkeit des Landes liegen, hat Hessen gemeinsam mit den Ländern Baden-Württemberg und Bayern einen Entschließungsantrag zur Feinstaub-Reduzierung in den Bundesrat eingebracht (Drucksache 284/05). Hiernach wird die Bundesregierung aufgefordert,

- schnellstmöglich die rechtlichen Voraussetzungen für die amtliche Kennzeichnung von Fahrzeugen mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung im Sinne einer pragmatischen Umsetzung von Benutzervorteilen im Rahmen der Luftreinhalteplanung zu schaffen;
- dringend einen aufkommensneutralen Vorschlag für eine stärkere Mautspreizung zu Gunsten abgasarmer Diesel-Lastkraftwagen nach EURO 5 vorzulegen;
- unverzüglich ein Konzept für ein aufkommensneutrales Förderprogramm zur beschleunigten Aus- und Nachrüstung von Diesel-Fahrzeugen mit Partikelfiltern vorzulegen;
- bei der Europäischen Union mit Nachdruck darauf hinzuwirken, dass die EURO-5-Abgasnorm bis zum 1. Januar 2006 rechtsverbindlich festgelegt wird und schnellstmöglich europaweit in Kraft tritt;
- umgehend mit den Ländern die notwendigen Entscheidungen zur Reduzierung der Feinstaub-Emissionen aus Diesel-Fahrzeugen zu treffen und umzusetzen. Es ist nicht vertretbar, die Kommunen bei der Lösung der Fragen mit ihren begrenzten Regelungsmöglichkeiten alleine zu lassen.

7.1 Maßnahmen im Rahmen des Luftreinhalteplans

7.1.1 Bereich Verkehr

- **Sukzessive Umstellung auf schadstoffarme Fahrzeuge**

Im Rahmen der Neubeschaffungen von Fahrzeugen der Landesdienststellen (Regierungspräsidium, Polizei etc.), der Städte und Gemeinden (einschließlich kommunaler Gesellschaften, Eigenbetriebe, Landkreis Kassel, Regionale Abfallentsorgung usw.) im Ballungsraum Kassel soll auf Fahrzeuge mit geringer Feinstaub- und Stickoxid-Emission geachtet werden.

Diskussion und Bewertung:

Die Maßnahme ist aus mehreren Aspekten heraus wirkungsvoll. Die Vorbildfunktion des öffentlichen Dienstes ist ein wichtiger Aspekt. Die Beschaffungsvorschriften, die zum Kauf des preisgünstigsten Fahrzeugs verpflichten, werden noch oft so interpretiert, dass hinsichtlich Emissionsminderung die Mindestanforderungen vom Haushalt akzeptiert werden. Wegen der sparsamen Haushaltsführung sind viele der bei den Gemeinden betriebenen Fahrzeuge hinsichtlich der Abgasreinigungstechnik nicht auf dem neusten Stand.

Die erreichbare Emissionsminderung und daraus folgend die Immissionsminderung lässt sich derzeit nicht angeben, da die Zahl der Fahrzeuge und ihrer Fahrleistung dezentral gesammelt wird. Es wird von einer Größenordnung von 2 % Minderung der Immissionsbelastung (Jahresmittelwert) bei PM10 und NO₂ ausgegangen.

- **Einsatz schadstoffarmer Busse**

In Absprache mit dem NVV (Nordhessischer Verkehrsverbund) bzw. der KVG (Kasseler Verkehrs-Gesellschaft) wird bei der Ausschreibung von Verkehrsdienstleistungen zwingend der Einsatz von Fahrzeugen mit geringer Feinstaub- und Stickoxid-Emission gefordert.

Diskussion und Bewertung:

Die Auswertungen zum Luftreinhalteplan Ballungsraum Rhein-Main ebenso wie zum Luftreinhalteplan Ballungsraum Kassel (siehe Kapitel 4.2.1 Abb. 22) zeigen deutlich, dass der Busverkehr überproportional - bezogen auf die Fahrleistung - zu den verkehrsbedingten Feinstaubemissionen beiträgt. Neufahrzeuge werden mit entsprechender Filtertechnik bereits angeboten, die Möglichkeit der Nachrüstung von Fahrzeugen im Bestand besteht.

In Straßen mit starkem ÖPNV-Bus-Verkehr kann die Maßnahme bis 5 % Minderung der Feinstaubbelastung bringen, im Bereich von Bus-Bahnhöfen bis zu 10 % Minderung. Da die Konzessionen für die verschiedenen Strecken für den Zeitraum von 8 Jahren neu vergeben werden, ist die Maßnahme im Einzelfall nur mittelfristig umsetzbar.

- **Schrittweiser weiterer Ausbau des ÖPNV-Angebotes**

Schrittweiser Ausbau des ÖPNV-Angebotes entsprechend den Festlegungen im Gesamtverkehrsplan für das Gebiet des ZRK [63]. Dazu gehören u. a.:

- Streckenverlängerung KS-Holländische Straße bis Vellmar-Nord,
- Regio-Tram-Projekt:
- Ausbau folgender DB-Strecken RegioTram-tauglich: Hofgeismar/Warburg, Wolfhagen, Hessisch Lichtenau und Melsungen,
- Verlängerung KS-Ihringshäuser Straße bis Fuldata-Ihringshausen,
- Anbindung von Wolfsanger-Nord (Bossental) und
- Verlängerung im Bereich KS-Leipziger Straße bis Lohfelden.

Diskussion und Bewertung:

Die RegioTram soll das Straßenbahnnetz in Kassel mit dem regionalen Schienennetz (überwiegend DB AG) verbinden. Wichtigste Verbesserung mit Einführung der RegioTram ist die Möglichkeit aus der Region bzw. den Umlandgemeinden künftig ohne Umsteigen Ziele in der Stadt Kassel erreichen zu können. Für Berufspendler, aber auch für den Einkaufsverkehr und den stark zunehmenden Freizeitverkehr bietet es die Chance, die Nachbargemeinden und das Oberzentrum stärker miteinander zu verknüpfen, dabei gleichzeitig das Kfz-Verkehrsaufkommen – besonders auf den Hauptstraßen - mittelfristig zu senken oder zumindest Zuwächse abzufedern. Herzstück des RegioTram-Systems ist die Verknüpfung des Kasseler Straßenbahnnetzes mit dem DB-Schienennetz am Kasseler Hauptbahnhof. Durch das Angebot attraktiver ÖPNV-Alternativen soll der MIV (Motorisierter Individual Verkehr) weiter zurückgedrängt werden. Die Reduktion von Fahrleistungen im MIV führt zwangsläufig auch zu einer Reduktion der verkehrsbedingten Feinstaub- und Stickoxid-Konzentrationen. Der Ausbau des ÖPNV ist eine wichtige und sachgerechte Maßnahme Verkehrsprobleme beherrschbar zu machen. Da der Ausbau des schienengebundenen ÖPNV kostenintensiv ist, können die geplanten Projekte nur nach einem langfristig angelegten Arbeitsplan angegangen werden.

- **Bevorzugung des ÖPNV an Lichtsignalanlagen**

Beschleunigung und Verflüssigung des ÖPNV innerhalb des gesamten Streckennetzes und damit eine Bevorzugung des ÖPNV gegenüber dem MIV.

Diskussion und Bewertung:

Eine Attraktivitätssteigerung des ÖPNV durch eine Optimierung der Lichtsignalsteuerungen und damit eine Beschleunigung der Busse ist ein wichtiger Gesichtspunkt um Teilströme des MIV auf den ÖPNV umzuleiten. Parkraummanagement und Preisgestaltung bei den Fahrscheinen sind weitere Gesichtspunkte, die eine Nutzung des ÖPNV-Angebots attraktiver machen. Die Einsparung von Kfz-Emissionen durch Autofahrer, die auf den ÖPNV umsteigen, ist gegeben, hält sich derzeit aber wohl in engen Grenzen und wird von der Größenordnung her mit $0,1 \mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$ bzw. $0,2 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ als Mindesteffekt abgeschätzt.

- **Verbesserung der „Grüne Welle“-Steuerung**

Weitere Verstetigung des Verkehrsflusses auf den Hauptverkehrsstraßen durch entsprechende Signalregelungen.

Diskussion und Bewertung:

Ampelsteuerungen nach dem Konzept „Grüne Welle“ sind in Kassel schon seit längerem installiert. Weitere Verbesserungen des Systems sind bei aufwendigeren Steuerungsprogrammen möglich und an dieser Stelle auch sinnvoll. Aufgrund der hohen Kosten derartiger Systeme ist mit einer Umsetzung erst mittelfristig zu rechnen. Der erzielbare Minderungseffekt wird immissionsseitig größenordnungsmäßig mit $0,1 \mu\text{g PM}_{10} / \text{m}^3$ bzw. $0,2 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ abgeschätzt.

- **Prüfauftrag für die Einrichtung einer Umweltzone „Kasseler Becken“**

Prüfauftrag für die Einrichtung einer „Umweltzone Kasseler Becken“ bis zum 1. Januar 2008 nach Vorliegen der rechtlichen Voraussetzungen.

Diskussion und Bewertung:

Für den Maßnahmenplan des Luftreinhalteplanes Ballungsraum Kassel ist die Ausweisung einer Umweltzone „Kasseler Becken“ als Prüfauftrag zu sehen. Im Rahmen der Prüfung ist auf einer aktuellen Datengrundlage mit allen Beteiligten ein konkreter Vorschlag zu entwickeln und die Effektivität und Umsetzbarkeit einer derartigen Maßnahme abzuschätzen bzw. zu berechnen.

Das Instrument „Umweltzone“ ist erst seit kurzem in Diskussion und bisher nur in Entwürfen von geplanten Vorschriften genannt. Die rechtliche Grundlage für die Einrichtung einer so genannten Umweltzone ist die 34. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (34. BImSchV), die Ausnahmen von Fahrverboten für schadstoffarme Fahrzeuge im Rahmen von Luftreinhalte- oder Aktionsplänen vorsieht.

Hoch belastete Städte können Fahrverbote für Fahrzeuge erlassen, sofern sie nicht bestimmten Schadstoffklassen (Euronormen) entsprechen. Die individuelle Ausgestaltung der Umweltzone ist im Rahmen eines Luftreinhalte- oder Aktionsplans genau in ihren räumlichen Abgrenzungen und Anforderungen darzulegen. Die Öffentlichkeit ist danach erneut zu beteiligen. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass jeder Einzelne seine Betroffenheit jeweils abschätzen kann.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist wesentlich davon abhängig welche Schadstoffklasse als Mindestanforderung für die Einfahrt in die Umweltzone festgelegt wird. Im Endbericht der IVU wird für Kassel bei Einrichtung einer Umweltzone mit Euro-3 eine Verminderung des PM10-Immissionswertes von 6 bis 7 % bzw. eine Verringerung zwischen 11 und 13 Überschreitungstagen bezogen auf das Jahr 2010 abgeschätzt.

• **Park & Ride (P&R) im Ballungsraum**

Ausbau weiterer Park&Ride-Parkplätze im Ballungsraum Kassel.

Diskussion und Bewertung:

Allgemein wird unter P&R die Fahrt mit dem Pkw, insbesondere bis zu einer schienengebundenen Haltestelle sowie das Abstellen des Pkw an der Haltestelle und die Weiterfahrt mit öffentlichen Verkehrsmitteln verstanden. Als regelmäßige P&R-Nutzergruppen haben die Berufs- und Ausbildungspendler eine vorrangige Bedeutung. Temporär kann ein entsprechendes Angebot z. B. auch bei Großveranstaltungen (u. a. Museumsnacht, Stadtfest, Weihnachtsmarkt) erfolgen.

Im Ballungsraum Kassel existiert bereits eine Vielzahl größerer und kleinerer P&R-Angebote an insgesamt 16 Standorten. Diese wurden entsprechend dem jeweiligen Bearbeitungsstand im Gesamtverkehrsplan des Zweckverbandes Raum Kassel (Teil: Analyse, 1998) und Nahverkehrsplan der Stadt Kassel (Beschluss der Stadtverordnetenversammlung vom 27.01.2003) dokumentiert.

In Verbindung mit der aktuellen Realisierung des RegioTram-Projektes als modernes regionales Verkehrssystem in Nordhessen sind zwischenzeitlich innerhalb und außerhalb des Ballungsraumes mehrere P&R-Anlagen geschaffen worden. Zusätzliche fünf Standorte sind geplant; auch im Zusammenhang mit dem derzeitigen Planfeststellungsverfahren für eine Straßenbahnverlängerung nach Vellmar (Nord) im dortigen Stadtteil Frommershausen.

• **City-Warehouse Kassel**

Wissenschaftliche Untersuchung der Einrichtung und Auswirkungen eines „City-Warehouse“ des ZRK mit dem Institut für Verkehrswesen der Universität Kassel und der GSZ-Betriebsgesellschaft.

Diskussion und Bewertung:

Gemeinsam mit der GVZ-Betriebsgesellschaft (7 Logistikunternehmen der Region Kassel) möchte der Zweckverband Raum Kassel zur Verringerung der Schadstoffbelastung insbesondere in der Kasseler Innenstadt unter Aufrechterhaltung des Wirtschaftsverkehrs (Sicherung der Funktionsfähigkeit der Kasseler Innenstadt) beitragen. Dazu greift das Vorhaben die Grundidee der Verkehrsreduzierung durch die Bündelung von Warenströmen auf.

Es ist geplant, interessierten Einzelhändlern in einem so genannten City-Warehouse, das im Güterverkehrszentrum von der GVZ-Betriebsgesellschaft oder reinem Einzelunternehmen der Gesellschaft eingerichtet werden soll, preisgünstige Lagerflächen zur Verfügung zu stellen. Damit soll erreicht werden, dass diese Einzelhändler auf ihre bisherigen Lagerflächen, die besonders in der Innenstadt auch teuer sind, zumindest teilweise verzichten können. Die Einzelhändler und/oder Kunden sollen vom City-Warehouse aus mit emissionsarmen Fahrzeugen, die z. B. von einer Fahrzeugpool-Gesellschaft zur Verfügung gestellt werden, beliefert werden.

• **Schrittweiser weiterer Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur**

Sukzessive Steigerung des Anteils des Radverkehrs am Gesamtverkehr.

Diskussion und Bewertung:

Eine Schadstoffbelastung der Luft durch den Radverkehr findet nicht statt, so dass sich jeder Umstieg vom Kraftfahrzeug auf das Fahrrad positiv auf die Luftreinhaltung auswirkt. Besonders im innerstädtischen Kurzstreckenbereich zwischen 3 und 5 km bietet das Fahrrad gegenüber motorisierten Kraftfahrzeugen Zeitvorteile (selbst bei einer Weglänge von 5 km ist das Fahrrad im Tür zu Tür Vergleich nicht langsamer). Die Kosten für großflächig versiegelte Abstellplätze entfallen und die Unterhaltskosten sind sehr gering.

Die Infrastruktur für den Radverkehr wird schrittweise verbessert und durch die Herstellung von Radverkehrseinrichtungen beim Um- bzw. Ausbau von Hauptverkehrsstraßen erweitert. Konkret in Ausführung oder Planung sind bauliche Radwege bzw. Radfahrspuren in der Leipziger Straße, in der Sandershäuser Straße und in der Fuldatalstraße.

Es ist weiter beabsichtigt, das Konzept zur Ausweisung fahrradfreundlicher Verbindungen durch Tempo 30-Zonen und weniger belastete Hauptverkehrsstraßen fortzuschreiben und besonders in innerstädtischen Bereichen und in der Nähe von Bahnhöfen sowie ÖPNV-Haltestellen für sichere und überdachte Abstellanlagen zu sorgen (Bike & Ride).

Außerdem sind auf Grundlage des vorhandenen Radverkehrsprogrammes (1994-1995) ein weiterer Ausbau attraktiver Radverkehrsverbindungen und die Schließung wichtiger Radwegelücken in den Ballungsraumkommunen vorgesehen.

- **Einrichtung von Tempo 30-Zonen**

Prüfung, ob der Anteil der Tempo 30-Zonen innerhalb des Ballungsraumes Kassel erhöht werden kann.

Diskussion und Bewertung:

Die flächenhafte Einrichtung von Tempo 30-Zonen in allen Kasseler Wohngebieten wurde bereits zu Beginn der 1990er Jahre abgeschlossen. Hierbei stand die Zielsetzung insbesondere im Vordergrund: Erhöhung der Verkehrssicherheit für Fußgänger und Radfahrer, Verbesserung der Wohn- und Lebensqualität, Reduzierung des Durchgangsverkehrs. Generell gilt diese Aussage auch für die in der Folgezeit entstandenen neuen Wohnbaugebiete im gesamten Ballungsraum.

Für die Luftreinhaltung ist die Verlangsamung der Fahrgeschwindigkeit vor allem bei Pkw von Bedeutung. Die Partikelemissionen werden bei einer Reduzierung der Geschwindigkeit von 50 auf 30 km/h um ca. 50 % gesenkt. Anders verhält es sich mit Lkws, der Partikelemissionen mit zunehmender Geschwindigkeit sinken.

- **„Schutzpflanzungen“ entlang der Bundesautobahnen**

Schutzpflanzungen entlang der Bundesautobahnen, wo immer dies von der Örtlichkeit her möglich und sinnvoll ist.

Diskussion und Bewertung:

Durch „Schutzpflanzungen“ wird vor allem die Ausbreitung der auf der Autobahn freigesetzten Autoabgase beeinflusst; insbesondere das Abfließen von bodennaher mit Autoabgasen belasteter Kaltluft wird eingeschränkt. Die Wirksamkeit solcher Schutzpflanzungen kann sehr unterschiedlich ausfallen. Daher wird kein Wert für die erreichbare Minderung angegeben, obwohl es Fälle gibt, bei denen eine Minderung der Immissionsbelastung um mehr als 10 % erreicht wurde.

7.1.2 Bauleitplanung; Gebäudeheizung

- **Eintragung im Flächennutzungsplan für bebaubare Gebiete im Ballungsraum Kassel als „Vorranggebiet Luftreinhaltung“**

Im Rahmen des derzeit in der Aufstellung befindlichen Flächennutzungsplan soll überprüft werden, ob die noch bebaubaren Gebiete im Ballungsraum Kassel als „Vorranggebiet Luftreinhaltung“ gemäß § 5 Abs. 2 Nr. 6 Baugesetzbuch (Bau GB) [88] dargestellt werden können.

Diskussion und Bewertung:

Bei der Konkretisierung in den Bebauungsplänen und bei Genehmigungen nach § 34 BauGB erhält dadurch die Luftreinhaltung bei den Abwägungsprozessen einen besonderen Stellenwert. Bei dieser Maßnahme handelt es sich um eine Vorsorgemaßnahme, die dazu beitragen soll, den weiteren Anstieg der Immissionsbelastung zu verhindern.

- **Brennstoffsatzung**

Satzungen nach § 81 der Hessischen Bauordnung (HBO) [89] sollen in jeweils allen Städten und Gemeinden des Ballungsraumes Kassel regeln, dass der Einsatz von Feststoffen zur Gebäudeheizung nur bei Einhalten strenger Grenzwerte möglich ist.

Diskussion und Bewertung:

Inzwischen sind sehr leistungsfähige Heizanlagen für Festbrennstoffe auf dem Markt, die ein deutlich günstigeres Emissionsverhalten zeigen als einfache Öfen und Kamine. Denkbar ist eine Orientierung an dem Grenzwert des „Blauen Engels“ für Pelletheizungen von 30 mg/m³. Hiermit ist sichergestellt, dass weiterhin CO₂-freundliche Holzheizsysteme möglich sind, jedoch nicht mehr derart extreme Emissionen verursachen, wie es bei technisch veralteten Öfen und Kaminen üblich ist. Die Maßnahme ist im Grundsatz sehr effektiv, aber nur in einem Neubaugebiet verbindlich durchzusetzen.

- **Sanierung von Gebäuden im Bestand**

Verhandlungen mit den Wohnungsgesellschaften sollen mit dem Ziel aufgenommen werden, noch im Bestand befindliche veraltete Heizungsanlagen kurzfristig durch moderne emissionsarme Heizungsanlagen zu ersetzen.

Diskussion und Bewertung:

Der Bestand an veralteten Heizungsanlagen ist in den letzten zwanzig Jahren sehr deutlich zurückgegangen und der Restbestand an noch nicht modernisierten Häusern ist klein.

Obwohl also der Bestand nur noch klein ist, tragen vor allem die verbliebenen Feststoffheizungen dennoch deutlich zur Immissionsbelastung bei.

7.1.3 Sonstiges

- **Emissionsarmer Betrieb von Baustellen**

Verpflichtung zu staubarmer Arbeitsweise insbesondere bei Bauarbeiten (Aushub, Umschlag, Transport, Schleifarbeiten etc.) in Genehmigungen oder Verträgen.

Diskussion und Bewertung:

Der Beitrag von Bauarbeiten (z. B. Aushub, Umschlag, Transport, Schleifarbeiten) zur Emissionsbilanz kann im lokalen Bereich aber die Ursache einer Überschreitung des Tagesmittelwertes von 50 µg PM₁₀/m³ sein.

Bei nach BImSchG genehmigungsbedürftigen Anlagen wird die Frage des emissionsarmen Baustellenbetriebes im Rahmen des Genehmigungsverfahrens geprüft. Soweit eine solche Regelung nicht vorgegeben ist, müssen andere Wege gefunden werden, den staubarmen Betrieb der Baustelle zu vereinbaren. Regeln der Technik, wie mit verhältnismäßigem Aufwand ein emissionsarmer Betrieb bei Baustellen zu erreichen ist, sind noch nicht Allgemeingut. Eine emissionssträchtige Baustelle im weiteren Umfeld einer Messstation kann die PM₁₀-Kurzzeitkenngroße über den Grenzwert ansteigen lassen.

- **Öffentlichkeitsarbeit**

Die Öffentlichkeitsarbeit soll über die Belastungssituation bei PM₁₀ und die Maßnahmen zur Minderung der Belastung informieren und damit wesentlich zum Erfolg der Maßnahmen beitragen.

7.2 Maßnahmen im Rahmen des Aktionsplans

Im Jahr 2005 wurde der Immissionsgrenzwert Tag für Feinstaub (PM₁₀) an der Messstation Kassel-Fünffensterstraße 48 mal überschritten. Gesetzlich zulässig sind 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg PM₁₀/m³. Auffällig war im Zeitraum von Mitte August bis Ende September 2005 an der Luftmessstation Kassel-Fünffensterstraße eine Reihe deutlich erhöhter PM₁₀-Tagesmittelwerte, die zunächst unplausibel erschienen. Eine Recherche vor Ort ergab, dass in dieser Zeit im direkten Nahbereich der Luftmessstation Bau- bzw. Schweißarbeiten an den Straßenbahnschienen durchgeführt wurden. Gleichwohl ist in Anbetracht der Überschreitungshäufigkeit der vergangenen Jahre (siehe Tabelle 8) nicht davon auszugehen, dass in Zukunft die Kurzzeitkenngroße sicher eingehalten werden kann.

So wurden Mitte Januar bis Anfang Februar 2006 bundesweit, auch an Messstationen in ländlichen Gebieten, deutlich erhöhte PM₁₀-Immissionskenngroßen gemessen. Auch in Kassel wurden an der Messstation Kassel-Fünffensterstraße im Januar 2006 bereits 14 Überschreitungen des Tagesmittelwertes für PM₁₀ registriert. Mit Stand 30. Mai 2006 wurde der Tagesmittelwert bereits 26-mal überschritten. Eine solche fast schon flächendeckende Überschreitung der PM₁₀-Tagesmittelwerte deutet auf großräumige austauscharme Wetterlagen hin, die einen Luftmassenaustausch und damit ein Abtransport belasteter Luftmassen verhindern. Darüber hinaus kommt es bei derartigen Wetterlagen vermehrt zur Bildung von so genannten Sekundäraerosolen (sekundäre Partikel), die einen nicht unerheblichen Anteil an der PM₁₀-Immissionsbelastung darstellen können (siehe Kapitel 4.3.3). Gegen diese vor allem meteorologisch bedingten Immissionsgrenzwertüberschreitungen können kurzfristige und lokal begrenzte Maßnahmen derzeit keinen Erfolg zeigen. Eine Absenkung des relativ hohen Immissionsniveaus während dieser austauscharmen Wetterlagen ist nur durch überregionale und dauerhaft wirksame Minderungsmaßnahmen möglich. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen kann sich jedoch aufgrund der nur schrittweise möglichen Umsetzung (z. B. Ausbau des ÖPNV) häufig erst im Laufe der Jahre voll entfalten.

Die in einem Aktionsplan festgelegten Maßnahmen müssen geeignet sein, die Gefahr der Überschreitung der Immissionswerte zu verringern oder den Zeitraum zu verkürzen, während dessen die Werte überschritten werden. Die möglichst unmittelbare Wirkung der Maßnahmen steht hier im Vordergrund. Maßnahmen, die so kurzfristig umgesetzt werden können und dabei eine entsprechende Wirkung entfalten sind i. d. R. verkehrsbezogene Maßnahmen wie z. B. Fahrverbote in besonders belasteten Straßenzügen, Fahrverbote für den Lkw-Durchgangsverkehr, die Nassreinigung von Straßen oder Maßnahmen zur Parkraumbewirtschaftung. Gleichzeitig müssen die getroffenen Maßnahmen verhältnismäßig sein. Dieser Grundsatz des öffentlichen Rechts ist dem in Artikel 20 Absatz 3 des Grundgesetzes verankerten Rechtsstaatsprinzip und den Grundrechten entnommen. Er gilt für das gesamte öffentliche Recht. Der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz verlangt von jeder staatlichen Maßnahme, die in Grundrechte eingreift, dass sie geeignet, erforderlich und angemessen ist. Eine Maßnahme, die diesen Anforderungen nicht entspricht, ist rechtswidrig und kann angefochten und beseitigt werden.

Im Rahmen der Luftreinhalteplanung ist das Grundrecht auf körperliche Unversehrtheit nach Artikel 2 Absatz 2 Grundgesetz (GG) zu beachten. Vor allem bei Feinstaub ist der Nachweis erbracht, dass er sowohl bei längerer, aber auch bei kurzzeitiger Exposition zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen kann. Während die Reduktion von bestimmten industriellen Emissionen oder den Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen bereits in einer Verwaltungsvorschrift (TA Luft) bzw. Verordnung (1. BImSchV) festgelegt sind, stellen z.B. Verkehrsbeschränkungen einen massiven Eingriff in die Freizügigkeit des Verkehrs dar. Hier gilt es abzuwägen zwischen der Verkehrsfunktion der Straße und dem Schutz der Wohnbevölkerung vor Gesundheitsgefahren.

Dass durch die *Vermeidung* von Verkehr eine Reduzierung von Partikeln und Stickstoffdioxid zu erreichen ist, ist unstrittig. Nicht nur die Abgase tragen zur primären oder sekundären Feinstaubbildung und NO₂-Emission bei, sondern nahezu in gleichem Maße der von den Fahrzeugen verursachte Reifen-, Bremsen-, Kupplungsabrieb sowie die Aufwirbelung. In diesem Sinne sind Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung auf jeden Fall geeignet die Immissionsbelastung zu senken.

Kurzfristig kann Lkw-Verkehr nicht vermieden werden. Hierzu sind umfassende logistische Konzepte zu erarbeiten, die z. B. Straßenverkehr zunehmend auf die Schiene verlagern. Diese Konzepte können im erforderlichen Umfang jedoch nicht durch Festlegungen in Luftreinhalteplänen umgesetzt werden.

Kurzfristig können *Umleitungen* des Wirtschaftsverkehrs durchaus geeignet sein, Immissionswerte in hoch belasteten Straßenschluchten zu senken, da der Einfluss insbesondere des Lkw-Verkehrs auf die Immissionsbelastung deutlich höher ist als die Abgasemissionen von Pkw. Dabei handelt es sich nicht um eine Verminderung der Emissionen, sondern lediglich um ihre Verlagerung.

Einschränkend ist aber zu berücksichtigen, dass diese Maßnahme nur dann tatsächlich auch geeignet ist, wenn eine entsprechende Alternativstrecke zur Umleitung zur Verfügung steht. Die Umleitung darf den Belastungsschwerpunkt nicht nur an eine andere Stelle verlagern, sondern die alternative Streckenführung muss aufgrund ihrer räumlichen Verhältnisse, d.h. vor allem einer besseren Durchlüftung, die Anreicherung der Schadstoffe weniger begünstigen als die bisherige Route. Darüber hinaus sollten von der zusätzlichen Verkehrsbelastung weniger Personen direkt betroffen sein als dies bisher der Fall ist.

Die Kessellage des Ballungsraums Kassel führt insbesondere bei Inversionswetterlagen zu einer stark eingeschränkten Durchlüftung. Im Zusammenspiel mit dem schwachen Luftaustausch innerhalb des Beckens kann es gerade bei den kritischen meteorologischen Situationen zu einer weitgehend einheitlichen Immissionskonzentration innerhalb des Ballungsraums kommen, die eine positive Wirkung von Umleitungsstrecken zunichte machen würde.

Verkehrsbeschränkungen können dann erforderlich werden, wenn kein milderes Mittel zur Verfügung steht, um den Zweck zu erreichen. Durch den Einbau diverser Abgasreinigungstechniken, die Verwendung von glattem Asphalt, entsprechende Zusammensetzung von Gummimischungen für Reifen u. ä. m. können vielleicht nicht in entsprechendem Maß, aber ggf. annähernd ebenfalls dem Zweck entsprechen. Da das mildere Mittel gegenüber einer Straßensperrung die Forderung nach Nutzung entsprechend emissionsarmer Fahrzeuge ist, wurde der Prüfauftrag für die Einrichtung einer Umweltzone im Ballungsraum Kassel in die Maßnahmenliste mit aufgenommen.

Angemessen sind Verkehrsbeschränkungen nur dann, wenn die Nachteile nicht völlig außer Verhältnis zu den Vorteilen stehen, die sie bewirken. Z. B. hätte die Halbierung des Verkehrsaufkommens im Innenstadtbereich von Kassel (siehe Szenario 2 in den Tabellen 27 und 28) eine Verminderung der problematischen Luftschadstoffe NO₂ von durchschnittlich 2,5 % und PM10 von durchschnittlich 0,5 % zum Vorteil. Demgegenüber stünden Kosten in Höhe von ca. 100.000 € für die notwendige Beschilderung, der Aufwand für eine entsprechende Kontrolle der Einhaltung der Maßnahme sowie die Einschränkungen des Wirtschaftsverkehrs gegenüber. Alle Maßnahmen, die in einem Luftreinhalte- oder Aktionsplan enthalten sind, müssen unter Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit festgelegt werden. Dies ist auch der Grund, warum im Maßnahmenteil des Aktionsplan für den Ballungsraum Kassel keine der bekannten kurzfristigen Maßnahmen – i. d. R. verkehrslenkende und verkehrsbeschränkende Maßnahmen – enthalten sind. Wie bereits mehrfach dargestellt, ist dem überwiegend von außen erfolgenden Eintrag von Feinstaub in das Kasseler Becken nicht mit verhältnismäßigen, kleinräumigen Maßnahmen zu begegnen. Selbst weiträumige Umleitungen z. B. des städtischen Gewerbeverkehrs z. B. auf die Autobahn hätten nur minimale Minderungen der Belastung zur Folge, würden aber zu einer nicht unerheblichen Belastung der Gewerbebetriebe führen.

8 Gründe und Erwägungen für die Entscheidung zur Berücksichtigung von Anregungen und Bedenken aus der Öffentlichkeitsbeteiligung

8.1 Öffentlichkeitsbeteiligung

Nach § 47 Abs. 5 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [1] ist bei der Aufstellung von Luftreinhalte- und/oder Aktionsplänen die Öffentlichkeit zu beteiligen. Die Beteiligung Dritter ist im Gegensatz zu den spezifischen Vorgaben z. B. im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren nach § 8 der 9. BImSchV [91] nicht näher geregelt.

Der Offenlegungszeitraum wurde aufgrund der Weihnachtsferien deutlich über den ansonsten üblichen Zeitraum von 1 Monat verlängert. Eine direkte Beteiligung von Behörden, Verbänden oder Organisationen im Rahmen der Planaufstellung erfolgte nicht. Da die Durchführung eines Erörterungstermins EU-rechtlich nicht vorgesehen ist, wurde darauf verzichtet.

Die Öffentlichkeitsbeteiligung erfolgte am 5. Dezember 2005 im Staatsanzeiger für das Land Hessen (StAnz. 49/2005 S. 4511). In der Anzeige wurde auf den Zeitraum und die Stellen der Auslegung des Planentwurfs hingewiesen. Die öffentliche Auslegung erfolgte vom 5. Dezember 2005 bis zum 13. Januar 2006 bei den Kommunen Baunatal, Fuldabrück, Fuldata, Kassel, Kaufungen, Lohfelden, Niestetal und Vellmar. Darüber hinaus wurde der Planentwurf auf der Internetseite des Hessischen Ministeriums für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz (HMULV) sowie des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG) der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Auf den Auslegungszeitraum wurde auch in einer Pressemitteilung des HMULV am 5. Dezember 2005 sowie in einigen örtlichen Zeitungen hingewiesen.

Während der Zeit vom 5. Dezember 2005 bis 13. Januar 2006 konnten interessierte Dritte Anregungen und Bedenken bei der zuständigen Behörde (HMULV) geltend machen. Von dieser Möglichkeit haben allerdings nur wenige Privatpersonen und einige Organisationen / Verbände Gebrauch gemacht. Die fristgerecht eingegangenen Bedenken und Anregungen wurden geprüft und, soweit sie berechtigt oder zielführend waren, bei der Festlegung und Ausführung der Maßnahmen berücksichtigt. Darüber hinaus wurde versucht, anscheinend unklare Ausführungen verständlicher darzulegen.

8.2 Umweltbericht

Mit Neufassung des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung [92] vom 25. Juni 2005 wurde als Teil 3 die Strategische Umweltprüfung (SUP) eingeführt. Sie regelt die Durchführung einer Strategischen Umweltprüfung bei bestimmten Plänen und Programmen, die in der Anlage 3 des UVPG aufgeführt sind. Demnach ist dann eine Strategische Umweltprüfung bei der Rahmensetzung nach § 14 b Abs. 1 Nr. 2 UVPG auch für Luftreinhaltepläne nach § 47 Abs. 1 BImSchG [1] durchzuführen. § 14 b Abs. 1 Nr. 2 i. V. m. § 14 b Abs. 2 UVPG enthält jedoch die Einschränkung, dass eine SUP bei der Aufstellung eines Luftreinhalteplans nur dann durchzuführen ist, wenn er für die Entscheidung über die Zulässigkeit eines Vorhabens nach Anlage 3 Nr. 1 (z.B. Raumordnungsplanungen nach den §§ 8 und 9 des Raumordnungsgesetzes, Verkehrswegeplanungen auf Bundesebene, Bauleitplanungen nach den §§ 6 und 10 des Baugesetzbuches etc.) einen Rahmen setzt.

Keine der angegebenen Maßnahmen erfüllt diesen Tatbestand, weshalb auf die Durchführung einer SUP verzichtet wurde.

Würde die Prüfung der Darstellung der bebaubaren Gebiete im Ballungsraum Kassel im Flächennutzungsplan als „Vorranggebiet Luftreinhaltung“ nach § 5 Abs. 2 Nr. 6 BauGB zu einem positiven Ergebnis kommen, müsste im Rahmen des Genehmigungsverfahrens für den Flächennutzungsplan nach § 6 BauGB eine strategische Umweltprüfung durchgeführt werden.

8.3 Integrierte Betrachtung von Luft und Lärm

Eine integrierte Betrachtung von Maßnahmen zur Verbesserung der lufthygienischen Situation und zum Lärmschutz wäre in vieler Hinsicht zwar wünschenswert, vor allem weil sich viele Maßnahmen nicht nur zur Verminderung von Luftschadstoffen, sondern auch von Lärm eignen, bietet sich aber aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen höchstens im Einzelfall an.

Während die Überschreitung von Immissionsgrenzwerten (plus Toleranzmargen) nach der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22. BImSchV [16] – verpflichtend die Aufstellung eines Luftreinhalteplans mit Maßnahmen zur dauerhaften Verminderung von Luftverunreinigungen nach sich zieht (§ 47 Abs. 1 BImSchG [1]), existieren in der Lärminderungsplanung keine Grenzwerte und damit auch keine obligatorische Festlegung von Minderungsmaßnahmen. Ihre Ergreifung ist in das Ermessen der zuständigen Behörde gestellt.

Dabei sollte jedoch nicht übersehen werden, dass einige der im Rahmen der Luftreinhalteplanung durchgeführten Maßnahmen auch zu einer Verringerung der Lärmbelastung führen. Vor allem jede Verminderung des Individualverkehrs wie sie durch den Ausbau und die Bevorzugung des ÖPNV oder den Ausbau des Radwegenetzes erzielt werden kann, stellt auch eine Lärminderungsmaßnahme dar.

Inzwischen sind für die Lärminderungsplanung in Hessen und damit auch für die Aufstellung von Aktionsplänen als zuständige Behörden die Regierungspräsidien festgelegt. Im Rahmen der Aufstellung von Lärmaktionsplänen wird eine enge Zusammenarbeit zwischen den beiden Bereichen erforderlich werden, um nach Möglichkeit kontraproduktiv wirkende Maßnahmen von vornherein auszuschließen bzw. Maßnahmen, die beiden Interessen dienen, verstärkt umzusetzen.

8.4 Großräumige Senkung der Immissionsbelastung

Die lufthygienische Situation im Kasseler Becken ist geprägt durch einen hohen Anteil Schadstoffeintrag von außen (siehe auch Abb. 29). Diese in Deutschland durchaus nicht ungewöhnlichen Situation macht es erforderlich, dass die Emissionen der wesentlichen Schadstoffe – Feinstaub und Stickstoffdioxid sowie der Vorläufersubstanzen für Feinstaub – nicht nur durch kleinräumige Maßnahmen, sondern großflächig, möglichst EU-weit, reduziert werden. Weder die Bundesrepublik Deutschland, noch das Bundesland Hessen und schon gar nicht einzelne Kommunen können diese hohe Hintergrundbelastung mit eigenen Mitteln wirksam und nachhaltig senken.

Neben den anthropogen verursachten Partikeln kommen Fein- (PM₁₀) und Feinststäube (PM_{2,5}) natürlichen Ursprungs (z. B. Pollen, Saharastaub, Bodenerosion etc.) hinzu, auf die keine Einflussnahmemöglichkeit bestehen.

Bei der Hintergrundbelastung (Schadstoffeintrag von außen) spielt neben den direkt (primär) emittierten Feinstaubpartikeln die Bildung von sekundären Partikeln, so genannten sekundären Aerosolen, eine große Rolle. Emissionen von Schwefeldioxid (SO₂), Stickoxiden (NO_x), Ammoniak (NH₃) und leicht flüchtigen organischen Kohlenwasserstoffen (VOC) bilden über komplexe chemische Reaktionen sekundäre Staubteilchen, die sich an in der Atmosphäre vorhandene Kondensationskerne anlagern. Sie können aufgrund ihrer sehr geringen Größe über weite Entfernungen transportiert werden. Die Bedeutung der sekundären Partikel für die Hintergrundbelastung wird durch neue Studien [93] belegt. Das heißt aber auch, dass die Emittenten der Vorläufersubstanzen für die sekundäre Aerosolbildung – und dies sind i. d. R. die auch für die primäre Emission von Partikeln verantwortlichen Hauptemittenten Industrie (SO₂, NO_x und VOC), der Verkehr (NO_x), die Gebäudeheizung (NO_x) und die Landwirtschaft (NH₃) – ihre Emissionen reduzieren müssen, um das Belastungsniveau insgesamt zu verringern.

Das bedeutet jedoch nicht, dass Maßnahmen zur Senkung der Emissionen im Ballungsraum selbst nicht ebenso zu einer wenn auch geringen Verbesserung der lufthygienischen Situation beitragen können.

Vor allem bei der Industrie und der Gebäudeheizung wurden bereits emissionsmindernde Maßnahmen umgesetzt oder sind zurzeit in der Umsetzung.

Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom Juli 2002 legte für eine Reihe von Stoffen geringere Emissionsgrenzwerte fest. Der Emissionsgrenzwert für Staub wurde dabei um 60 % reduziert. Bis Oktober 2007 müssen die betroffenen Industrieanlagen ihre Emissionen entsprechend verringern.

Die Gebäudeheizungen mussten durch Vorgaben der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV bis November 2004 verschärfte Abgasverluste einhalten, die das Aus für viele alte Heizungsanlagen bedeutete. Darüber fordert das Energieeinspargesetz [41] aus 1976, das inzwischen bereits mehrfach geändert wurde, eine energiesparende Bauweise von Gebäuden, die damit weniger Energie verbrauchen und einen geringeren Beitrag zur Luftverunreinigung liefern.

Die für die Erhebungen dieses Luftreinhalteplans genutzten Daten stammen aus dem Jahr 2000. Mögliche Verbesserungen aus den dargestellten Maßnahmen liegen noch nicht vor. Im Falle der Emissionen durch Gebäudeheizungen werden die als Maßnahmen aufgenommenen Brennstoffsatzungen der Kommunen im Ballungsraum sowie die Sanierung von veralteten Heizungsanlagen dazu beitragen, vor allem die Feinstaubemissionen dieses Emittenten weiter zu senken. Dabei sind nicht nur die direkten Feinstaub-Emissionen zu berücksichtigen, die im aufgrund ihres relativ geringen Beitrags zur Immissionsbelastung nur eine sehr begrenzte Minderung zur Folge hätten, sondern vor allem auch die damit verbundene Reduzierung der Schwefeldioxid- und Stickstoffdioxid-Emissionen, die als Vorläufersubstanzen einen zusätzlichen Beitrag zur Feinstaubbelastung liefern würden.

Besteht zumindest in Deutschland bereits eine einheitliche Festlegung von am Stand der Technik orientierten Emissionsgrenzwerten für Industrietätigkeiten, sieht die Situation in anderen Mitgliedsstaaten teilweise deutlich schlechter aus. EU-weit sind Vorgaben zum Einsatz der „besten verfügbaren Techniken“ (BVT-Merkblätter) nur für Anlagen nach der IVU-Richtlinie [26] vorgesehen. Diese lassen jedoch eine Bandbreite an Emissionsgrenzwerten zu, die teilweise so hoch sind, dass sie in Deutschland nicht mehr den Anforderungen nach TA Luft [2] genügen.

Auch EU-weite Anforderungen an Kleinfeuerungsanlagen existieren nicht.

Die Verminderung verkehrsbedingter Emissionen ist ohne gravierende Standortnachteile nur über die Festlegung neuer Euronorm-Standards möglich. Die derzeitigen Emissionsgrenzwerte für Euro 4 (Pkw) und Euro 5 (Lkw) liegen jedoch noch zu hoch, um vor allem bei dem weiter ansteigenden Lkw-Verkehr eine nachhaltige Reduzierung der PM₁₀ und NO₂-Belastung zu erreichen. Dazu kommt die lange Zeitdauer für eine Umstellung der Fahrzeugflotte auf neue Abgasstandards, die sich gerade bei leichten Lkws und Lkws, die nicht im Fernverkehr unterwegs sind, teilweise weit über ein Jahrzehnt hinzieht.

8.5 Maßnahmenfestlegung

Je nach Betroffenheit wird die Festlegung von Maßnahmen in Luftreinhalte- und / oder Aktionsplänen sehr unterschiedlich bewertet. Gehen sie Teilen der Bevölkerung längst nicht weit genug, werden sie von anderen Teilen der Bevölkerung als viel zu weitgehend empfunden. Da alle Maßnahmen auch dem Grundsatz der Verhältnismäßigkeit entsprechen müssen, kann nicht all das, was dem Einzelnen vielleicht wünschenswert erscheint auch tatsächlich festgelegt werden.

Trotz begrenzter Möglichkeiten zur Reduzierung der Immissionsbelastung haben die Kommunen des Ballungsraums versucht, mit entsprechenden Maßnahmen den Gesundheitsschutz der Bevölkerung zu verbessern. So wird z. B. der vorgesehene Ausbau des Öffentlichen Nahverkehrs mit hohen Kosten verbunden sein. Ob diese Maßnahme sich überhaupt messbar auf die Immissionskonzentration auswirkt, wird aber vom Verständnis und Verhalten der in den betroffenen Regionen wohnenden und arbeitenden Menschen abhängig sein. Ein Umstieg auf den öffentlichen Nahverkehr und damit der Verzicht auf das eigene Auto liefern im Einzelfall nur einen kleinen Beitrag, der sich aber in Summe als effektives Mittel zur Schadstoffreduzierung erweisen kann.

Zusätzlich aufgenommen wurde nach entsprechenden Anregungen Dritter der schrittweise Ausbau der Radverkehrsinfrastruktur, der Ausbau weiterer Park&Ride-Parkplätze im Ballungsraum, eine Prüfung, ob der Anteil der Tempo 30-Zonen innerhalb des Ballungsraumes Kassel erhöht werden kann sowie eine wissenschaftliche Untersuchung des ZRK zusammen mit dem Institut für Verkehrswesen der Universität Kassel und der GSZ-Betriebsgesellschaft zur Einrichtung und Auswirkungen eines „City-Warehouse“.

Nicht in den endgültigen Maßnahmenplan übernommen wurde der Einsatz von Feinstaubfiltern für Diesellokomotiven. Die Bahn wird nach eigenen Angaben Triebwagen und Diesellokomotiven künftig nur noch nach dem neuesten technischen und ökologischen Standard beschaffen. Darüber hinaus wird die Nachrüstung alter Dieselfahrzeuge mit Partikelfiltern angestrebt. Die auch für Dieselloks in Entwicklung befindlichen SCR-Katalysatoren / Partikelfilter verursachen jedoch Mehrkosten bei der Anschaffung in Höhe von ca. 20 % der Investitionskosten, ohne Berücksichtigung der weiteren Betriebskosten. Es werden technisch machbare und wirtschaftlich vertretbare Lösungen angestrebt. Auch die Elektrifizierung des Streckennetzes wird weiter fortgesetzt.

Die Einrichtung einer „Umweltzone Kasseler Becken“ wurde zunächst als Prüfauftrag bis zum 1. Januar 2008 ausgewiesen.

Falls in Bereichen Immissionsgrenzwerte überschritten werden oder drohen überschritten zu werden, können in Luftreinhalte- oder Aktionsplänen zur Verminderung verkehrsbedingter Emissionen Verkehrsbeschränkungen oder –verbote festgelegt werden. Um die Versorgung der Bevölkerung mit Gütern des täglichen Lebens sicher zu stellen, aber auch den Individualverkehr nicht völlig zu verdrängen, wurde eine Verordnung zur Kennzeichnung emissionsarmer Fahrzeuge (Kennzeichnungsverordnung – 34. BImSchV) geschaffen, die von den Fahrverboten ausgenommen sind. Durch sie wird eine Kennzeichnung der Fahrzeuge durch Plaketten mit dem Aufdruck der Schadstoffgruppe des Fahrzeugs geregelt. Die für die Aufstellung der Luftreinhaltepläne zuständige Behörde kann im Einvernehmen mit den Straßenverkehrsbehörden der betroffenen Kommunen Bereiche für Fahrverbote festlegen, die nach den Vorgaben der Kennzeichnungsverordnung nur noch mit Fahrzeugen ab einer bestimmten Euro-Klasse befahren werden dürfen. Wesentlich für den Erfolg im Sinne der Luftreinhalteplanung ist die Festlegung einer möglichst emissionsarmen Schadstoffklasse, ohne den Verkehr insgesamt zum Erliegen zu bringen. Auch hier ist der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz anzuwenden. Der große Vorteil dieser Maßnahme liegt in seinem Impuls zur schnelleren Erneuerung der Fahrzeugflotte. Durch den Zwang zur Nachrüstung bzw. zum Kauf emissionsärmerer Fahrzeuge wird nicht nur der Schadstoffausstoß innerhalb der ausgewiesenen Zonen gesenkt, sondern auch überall dort, wo das gleiche Fahrzeug ansonsten noch unterwegs ist. Bei einem verbreiteten Einsatz dieser Maßnahme in Deutschland könnte auf diese Weise eine deutliche Senkung auch der Hintergrundsbelastung erzielt werden.

Für den Ballungsraum Kassel haben die Modellrechnungen gezeigt, dass mit einer Verringerung des Fahrzeugverkehrs in Kassel selbst der Feinstaubanteil in der Luft nur unwesentlich gesenkt werden kann. Diese Ergebnisse beruhen auf Daten, die aus Angaben der Industrie, Gebäudeheizung- und Verkehrsemissionen aus dem Jahr 2000 stammen. Da die der Ausweisung von Umweltzonen zugrunde liegende Kennzeichnungsverordnung bisher noch nicht verabschiedet wurde, sollen die Erkenntnisse des bis Ende 2006 vorliegenden neuen Emissionskatasters genutzt werden, um die Wirksamkeit einer solchen Maßnahme besser abschätzen zu können. Die Industrie hat für das Jahr 2004 ihre Emissionen erneut berichtet; die Auswertung der Daten wird im Sommer 2006 zur Verfügung stehen. Alle fünf Jahre, das letzte Mal im Jahr 2005, erfolgt eine umfassende bundesweite Verkehrszählung, deren Daten mit den entsprechenden Emissionsfaktoren als Grundlage für die abgasbedingten Emissionen herangezogen werden. Zusammen mit den neuen Daten der Gebäudeheizung wird sich Ende 2006 ein aktuelles Bild der Emissionssituation im Ballungsraum Kassel ergeben. Auf der Grundlage von Verkehrszählungen soll dann die Wirksamkeit der Einrichtung einer Umweltzone abgeschätzt werden. Sofern die Abschätzung eine messbar positive Auswirkung auf die Immissionssituation ergibt, wird zusammen mit den betroffenen Kommunen die genaue Festlegung des Bereiches erfolgen. Da die Einrichtung einer Umweltzone voraussichtlich eine Reihe

von Anwohnern, aber auch Gewerbetreibende direkt betroffen wird, wird hierzu ein eigener Aktionsplan erstellt und offen gelegt werden. Nur auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass jeder Einzelne seine Betroffenheit jeweils abschätzen kann.

8.6 Hinweise auf Unstimmigkeiten

Teilweise wurden Analysen, Prognosen oder Angaben in Abbildungen oder Tabellen als unrealistisch oder unplausibel kritisiert oder weitergehende Analysen gefordert.

8.6.1 Genauere Auflösung der Emissions- und Immissionssituation

Die *Emissionen* von Industrie, Gebäudeheizung und Verkehr und die *Immissionssituation* vor Ort stehen in einem nicht linearen Zusammenhang, weshalb für die Berechnung der entsprechenden Beurteilungsgrößen der Schadstoffe PM₁₀ und NO₂ aufwändige Modellrechnungen herangezogen wurden.

Mittels eines chemischen Transportmodells (REM-CALGRID-Modell, RCG) kann die dreidimensionale Ausbreitung und Entfernung von Schadstoffen in der Atmosphäre unter Berücksichtigung der stattfindenden chemischen Prozesse (Oxidantien- und Aerosolbildung) simuliert werden. Als Grundlage für die Berechnung wurden neben den entsprechenden Daten für die Emission von Schadstoffen in Europa, meteorologische Daten sowie die Emissionsdaten aus dem hessischen Emissionskataster eingesetzt. Das Modell wurde zunächst auf ein großräumiges Modellgebiet, das ganz Mitteleuropa erfasst, in einem 30 x 30 km-Gitter angewandt. Das europaweite Gitter liefert die Randbedingungen für das feinere deutschlandweite Gitter, in das ein kleinräumiges, regionales Modellgebiet, das den Großraum Kassel in einem 2 x 2 km-Raster umfasst, eingebettet wurde. Das regionale Gitter liefert wiederum die Randbedingungen für ein urbanes Gitter mit ca. 500 m Auflösung. Für die Berechnungen der Belastung in Straßenschluchten wurden die konkreten Bebauungsdaten, die Straßengeometrie, die Verkehrsdichte, Fahrzeuggröße und Geschwindigkeiten, Fahrspuren, Emissionen, die Hintergrundkonzentration aus dem urbanen Gitter, Straßenbelüftung, Schadstoffrezirkulationen, Frischluftbeimischungen, die Luftströmung, Turbulenzen mit Hilfe des Canyon-Plume-Box-Modells (CPB-Modell) herangezogen. Eine genauere Auflösung und Darstellung der Emissions- und Immissionssituation wie sie mit dem verwendeten Modell erzielt werden konnte, ist derzeit kaum möglich. Auf die für die sekundäre Aerosolbildung verantwortlichen chemischen Prozesse wurden in Kap. 4.3.3 hingewiesen.

Um annähernd realistische Werte zu erhalten wurde der Aufwand für die Erhebung sehr hoch angesetzt. Die Modelle wurden in zahlreichen Forschungsvorhaben validiert und werden in Gutachten eingesetzt. Neben den Immissionsbetrachtungen für den gesamten Ballungsraum wurden speziell die Straßenschluchten, als besonders kritische Punkte, einer genaueren Bewertung unterzogen. Gleichwohl können Modelle die Realität nur in erster Näherung abbilden. Die Prognosen liefern aber einen deutlichen Hinweis darauf, wie sich die Situation im prognostizierten Szenario darstellen würde. Da vor allem Extremsituationen – keine Emissionen der Autobahn, keine Emissionen durch die Industrie etc. – untersucht wurden, sind die erhaltenen Werte genauer als bei sehr geringen Änderungen der Emissionssituation. Sie erlauben eine grundsätzliche Einschätzung der Sachlage, die in der Realität nie hätte verwirklicht werden können.

Zusätzliche Auswertungen von Hintergrundstationen wie z. B. der Waldstation in Witzenhausen hätten neben deutlich höheren Kosten keine vertieften Erkenntnisse für die Belastungssituation vor Ort erbracht, vor allem da die Station in Witzenhausen auch außerhalb des Ballungsraums liegt.

8.6.2 Berücksichtigung von Staubaufwirbelungen bei den Verkehrsemissionen

Mehrfach wird im Text auch auf die Bedeutung von Staubaufwirbelungen bei den Kfz-Emissionen hingewiesen. Während das Emissionskataster Kfz-Verkehr nur die PM₁₀-Emissionen ausweist (Kap. 4.1.1) wurden für die Immissionsberechnungen die Emissionen durch Aufwirbelung, Reifenabrieb u. s. w. (siehe Kap. 5.2) ergänzt.

8.6.3 Zuverlässigkeit der Angaben

Eine Reihe von Angaben wurden den entsprechenden statistischen Daten z. B. des Hessischen statistischen Landesamtes oder aus bestehenden Plänen, Gutachten oder Handbüchern entnommen. Die Quellenangaben belegen die Herkunft der Zahlen. Es ist nicht möglich, alle diese Zahlen auf ihre Richtigkeit hin durch eigene Zählungen oder Untersuchungen zu plausibilisieren. Für die Bearbeitung wurden ausschließlich „vertrauenswürdige“ Quellen benutzt. Der Eindruck, dass die verwendeten Zahlen nicht (mehr) der Realität entsprechen kann an ihrem Erhebungszeitpunkt liegen. Trotzdem ergibt sich bei ihrer Anwendung ein realistisches Bild, da der den Berechnungen zugrunde liegende Zeitpunkt mit dem Erhebungszeitpunkt der sonstigen Daten korreliert.

9 Zusammenfassung

Aus der Analyse der aktuellen Belastungssituation sowie der emittentenbezogenen Ursachenanalyse wurden folgende für die Erstellung eines Maßnahmenplanes wesentlichen Aussagen zusammengefasst:

- Die Immissionsbelastung durch PM10 ist derzeit das vorrangige Immissionsproblem im Ballungsraum Kassel. Vor allem die Kurzzeitbelastung ist erhöht; im Jahr 2003 war an beiden Kasseler Stationen der Immissionsgrenzwert "Tag" überschritten und auch im Jahr 2005 ist an der Station Fünffensterstraße dieser Immissionsgrenzwert nicht eingehalten.
- Die NO₂-Belastung überschreitet an der Station Fünffensterstraße den ab dem Jahr 2010 geltenden Immissionsgrenzwert "Jahresmittelwert" ohne allerdings auch die Toleranzmarge zu überschreiten. Da die anzurechnende Toleranzmarge bis zum Jahr 2010 von Jahr zu Jahr um 2 µg/m³ reduziert wird, ist absehbar, dass auch in zwei oder drei Jahren bei NO₂ eine Immissionsgrenzwertüberschreitung festzustellen sein wird. Die Maßnahmen zur Minderung der PM10-Belastung müssen daher so angelegt sein, dass sie nicht kontraproduktiv zu den Bemühungen sind, die NO₂-Belastung zu senken.
- Der Luftaustausch mit dem Umland wird im Kasseler Becken bei austauscharmen Wetterlagen eingeschränkt. So können sich die im Kasseler Becken emittierten Schadstoffe unter der Inversion, die das Becken dann abschließt, anreichern. Unter der Inversion wird die Luft mit dem verbliebenen Austauschvermögen noch durchmischt, so dass sich bei diesen Wettersituationen eine weitgehend homogene Konzentrationsverteilung innerhalb des Kasseler Beckens ergibt.
- Die Wochengänge von PM10 und NO₂ zeigen, dass der Kfz-Verkehr mit seiner am Wochenende in der Stadt geringeren Verkehrsleistung die Konzentrationsverhältnisse beeinflusst. Damit ist ein direkter Nachweis erbracht, dass die Kfz-Emissionen die Immissionsbelastung erkennbar beeinflussen und das ohne den Einsatz der Ausbreitungsrechnung. Auch ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei PM10 der Tagesmittelwert den Wert von 50 µg/m³ überschreitet am Wochenende kleiner als an Werktagen.
- Mit der Ausbreitungsrechnung wird es möglich für jeden der betrachteten Aufpunkt den Anteil der von den Emissionen des Kfz-Verkehrs im Ballungsraum verursachten Immissionsbeitrag zu quantifizieren. Bei PM10 beträgt der Anteil der Kfz-Emissionen aus dem Ballungsraum im Allgemeinen zwischen 10 und 20 % der Immissionsbelastung und bei NO₂ zwischen 40 und 50 %; damit ist der Kfz-Verkehr der Hauptverursacher der erhöhten Immissionsbelastung bei PM10 und bei NO₂ im Ballungsraum Kassel. Bei PM10 bringt die Gebäudeheizung 1 bis 2 % und die Industrie um die 1 % einen Anteil zur Immissionsbelastung auf; bei NO₂ trägt die Gebäudeheizung zwischen 4 bis 6 % und die Industrie zwischen 1 bis 3 % zur Immissionsbelastung an den Aufpunkten bei.
- Ein wesentliches Ergebnis der Ausbreitungsrechnung ist auch die Angabe, wie viel von außen in den Ballungsraum eingetragen wird. Bei PM10 wird ein Anteil von 60 bis 80 % der Immissionsbelastung durch "Ferntransport" verursacht, bei NO₂ noch bis 40 %. Diese von außen in den Ballungsraum Kassel eingetragenen Staubpartikel bestehen dabei zu etwa 50 % aus durch sekundäre Reaktionen – wie der Reaktion NO₂ zu Nitrat – gebildetem PM10. Da Maßnahmen im Rahmen eines Luftreinhalteplanes für den Ballungsraum Kassel den Schadstofffluss von außen in den Ballungsraum nicht beeinflussen können, verschlechtert sich durch den Ferntransportanteil rechnerisch der Wirkungsgrad von Maßnahmen zur Minderung der Immissionsbelastung.
- Aussagen zur Immissionssituation im Jahr 2010 liefert die Basisprognose. Bei dieser Prognose wurden alle durch neue Gesetze oder Gesetze, deren Umsetzung noch nicht abgeschlossen ist, veranlassten Maßnahmen zu einer Emissionsprognose zusammengefasst. Auf Basis dieser Emissionsprognose wurde eine Immissionsprognose für das Jahr 2010 erstellt. Das Ergebnis dieser Immissionsprognose ergibt einen deutlichen Rückgang der Immissionsbelastung bei PM10 und NO₂. Allerdings sind auch bei diesem Szenario vereinzelt noch Immissionsgrenzwertüberschreitungen vorhanden.

Das Minderungspotential der getroffenen Maßnahmen wird mittelfristig gesehen zu einer dauerhaften Reduzierung des Feinstaub-Gehaltes der Luft im Ballungsraum Kassel beitragen. Der Beitrag wird voraussichtlich nicht ausreichen, um die gesetzlichen Anforderungen erfüllen zu können. Aber im Rahmen des tatsächlich und rechtlich möglichen und im Hinblick auf die Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen wurden von den Kommunen des Ballungsraums die richtigen Schritte eingeleitet. Dass es voraussichtlich nicht allein bei diesen Schritten bleiben wird zeigen bereits die Prüfaufträge, die im Falle der Maßnahmen City-Warehouse, Tempo-30-Zonen, Heizungssanierung und vor allem Umweltzone vorgesehen sind.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gebiet des Luftreinhalteplans für den Ballungsraum Kassel	8
Abbildung 2:	Immissionskenngrößen von PM10 für das Messjahr 2003	9
Abbildung 3:	Immissionskenngrößen von NO ₂ für das Messjahr 2003	10
Abbildung 4:	Höhenprofil des Kasseler Beckens mit dem Verlauf der Autobahnen (Überhöhungsfaktor 4)	12
Abbildung 5:	Geländeschnitt durch den Ballungsraum Kassel vom Herkules bis zum Kaufunger Wald	13
Abbildung 6:	Temperaturwerte in Kassel (Zeitraum Jan. 1961 bis Dez. 1990)	14
Abbildung 7:	Mittlere Windrose an der Stadtstation Kassel-Nord (Zeitraum 1984 bis 2004)	15
Abbildung 8:	Bevölkerungsstruktur im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 31.12.2002)	16
Abbildung 9:	Beschäftigungszahlen im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 30.6.2002)	18
Abbildung 10:	Verkehrsaufkommen aus Zählungen auf Autobahnen und Bundesstraßen im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel (Stand 2000)	20
Abbildung 11:	Zweck der Fahrten im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel	22
Abbildung 12:	Modal-Split-Werte in der Stadt Kassel und den übrigen ZRK-Gemeinden	22
Abbildung 13:	Anzahl der Tagesmittelwerte größer 50 µg/m ³ für PM10 pro Monat im Messjahr 2003	25
Abbildung 14:	Tagesmittelwerte von PM10 für das Messjahr 2003	26
Abbildung 15:	Mittlerer Jahresgang von PM10 für die Jahre 2001 bis 2004	27
Abbildung 16:	Mittler Jahresgang von NO für die Jahre 2001 bis 2004	29
Abbildung 17:	Mittler Jahresgang von NO ₂ für die Jahre 2001 bis 2004	30
Abbildung 18:	Von PM10 betroffene Straßen im Ballungsraum Kassel auf Basis der Ausbreitungsrechnung (Bezugsjahr 2003)	32
Abbildung 19:	Von NO ₂ betroffene Straßen im Ballungsraum Kassel auf Basis der Ausbreitungsrechnung (Bezugsjahr 2003)	33
Abbildung 20:	Räumliche Struktur der PM10-Emissionen für das Bezugsjahr 2000	35
Abbildung 21:	Räumliche Struktur der NO _x -Emissionen für das Bezugsjahr 2000 (angegeben als NO ₂)	37
Abbildung 22:	Aufschlüsselung der Emissionen des Kfz-Verkehrs nach Kfz-Klassen für die Fünffensterstraße in Kassel	38
Abbildung 23:	Quellhöhe für die Emissionen der Emittentengruppe Industrie im Bezugsjahr 2000	43
Abbildung 24:	Mittlerer Wochengang von PM10, getrennt nach Jahreszeiten (Messzeitraum 2000 bis 2004)	45
Abbildung 25:	Vergleich der PM10-Jahresmittelwerte und Anzahl der Tage über 50 µg/m ³ an den Messstationen in Hessen (Bezugszeitraum 2001 bis 2004)	46
Abbildung 26:	Mittlerer Wochengang von NO, getrennt nach Jahreszeiten (Messzeitraum 2000 bis 2004)	48
Abbildung 27:	Mittlerer Wochengang von NO ₂ , getrennt nach Jahreszeiten (Messzeitraum 2000 bis 2004)	49
Abbildung 28:	Berechneter PM10-Jahresmittelwert der städtische Hintergrundbelastung	53
Abbildung 29:	Berechneter NO ₂ -Jahresmittelwert der städtische Hintergrundbelastung	55
Abbildung 30:	Entwicklung der Gesamtstaubemissionen im Belastungsgebiet Kassel von 1978 bis 2000 (interpolierte Angaben)	68
Abbildung 31:	Entwicklung der NO _x -Emissionen im Belastungsgebiet Kassel von 1978 bis 2000 (interpolierte Angaben)	69

Abbildung 32: Entwicklung des Personenkraftwagenbestandes von 1990 bis 2003 aufgeschlüsselt nach Antriebsarten in der Bundesrepublik	70
Abbildung 33: Entwicklung der Fernwärmeabgabe in Kassel von 1986 bis 2004	71
Abbildung 34: Trendkurve der gemessenen PM10-Jahresmittelwerte von 1984 bis 2004	73
Abbildung 35: Trendkurve der gemessenen Überschreitungshäufigkeit der Tagesmittelwerte von 50 µg/m³ bei PM10 von 1984 bis 2004	74
Abbildung 36: Trendkurve der gemessenen NO ₂ -Jahresmittelwerte von 1980 bis 2004	75
Abbildung 37: Trendkurve der gemessenen NO-Jahresmittelwerte von 1980 bis 2004	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit inklusive Toleranzmargen bis 2010 nach 22. BImSchV [16]	7
Tabelle 2:	Mittlere monatliche Gradtagzahlen (Zeitraum: Januar 1988 bis März 2005) nach VDI-Richtlinie 2067 [67]	14
Tabelle 3:	Einwohnerzahlen der Städte und Gemeinden im Ballungsraum Kassel (Stichtag: 31.12.2002)	16
Tabelle 4:	Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Arbeitnehmer am Arbeitsort und deren Verteilung auf die verschiedenen Wirtschaftsbereiche (Stichtag: 30.6.2002)	17
Tabelle 5:	Flächennutzung im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel (Stand: 31.12.2004)	19
Tabelle 6:	Fahrleistung auf den Straßen im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel für das Jahr 2000 nach Straßentypen	21
Tabelle 7:	Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Pendler im Gebiet des Zweckverbandes Raum Kassel (Stichtag: 30.06.2002)	21
Tabelle 8:	Gemessene Immissionskenngößen für PM10 von 2001 bis 2005	24
Tabelle 9:	Gemessene Immissionskenngößen für NO ₂ von 2001 bis 2005	28
Tabelle 10:	Emissionsbilanz von PM10 für den Ballungsraum Kassel	34
Tabelle 11:	Prozentuale Verteilung der Emissionen von PM10, aufgeschlüsselt nach Gemeinden (Bezugsjahr 2000)	36
Tabelle 12:	Emissionsbilanz von NO _x für den Ballungsraum Kassel	36
Tabelle 13:	Prozentuale Verteilung der Emissionen von NO _x , aufgeschlüsselt nach Gemeinden für das Bezugsjahr 2000 (angegeben als NO ₂)	37
Tabelle 14:	PM10-Emissionen auf ausgewählten Straßen im Raum Kassel für das Bezugsjahr 2000	39
Tabelle 15:	NO _x -Emissionen auf ausgewählten Straßen im Raum Kassel für das Bezugsjahr 2000 (angegeben als NO ₂ ,)	39
Tabelle 16:	Durchschnittliche Emissionsfaktoren für PM10 und NO _x nach Straßen- und Fahrzeugkategorien für gewichtete Verkehrssituationen [86]	40
Tabelle 17:	PM10-Emissionen der Emittentengruppe Gebäudeheizung (Bezugsjahr 2000)	41
Tabelle 18:	Beispiele für Emissionsfaktoren der Emittentengruppe Gebäudeheizung [70]	41
Tabelle 19:	Aufteilung der Industrieemissionen im Ballungsraum Kassel auf die Obergruppen der 4. BImSchV (Bezugsjahr 2000)	42
Tabelle 20:	Verteilung der Tage mit einem Tagesmittelwert größer 50 µg PM10/m ³ auf die Wochentage (Summe der Jahre 2001 bis 2004)	46
Tabelle 21:	Überschreitung der Grenzwerte der 22. BImSchV [16] für NO ₂ und PM10 als Ergebnis der Modellrechnungen für das Bezugsjahr 2003	56
Tabelle 22:	Jahresmittelwerte der Modellrechnungen und der Messungen im Jahr 2003 für die Messstation Kassel-Fünffensterstraße	57
Tabelle 23:	Aufteilung der berechneten PM10-Jahresmittelwerte in Hintergrund-, städtische Vorbelastung und Straßenteil	58
Tabelle 24:	Aufschlüsselung der berechneten PM10-Jahresmittelwerte nach Emittentengruppen	59
Tabelle 25:	Aufteilung der berechneten NO ₂ -Jahresmittelwerte in Hintergrund-, städtische Vorbelastung und Straßenteil	60
Tabelle 26:	Aufschlüsselung der berechneten NO ₂ -Jahresmittelwerte nach Emittentengruppen	61
Tabelle 27:	Ergebnisse der Szenarienrechnungen für PM10	63

Tabelle 28:	Ergebnisse der Szenarienrechnungen für NO ₂	64
Tabelle 29:	Überschreitung der PM10-Grenzwerte der 22. BImSchV [16] als Ergebnis der Modellrechnungen für die beiden Emissionsszenarien	65
Tabelle 30:	Überschreitung der NO ₂ -Grenzwerte der 22. BImSchV als Ergebnis der Modellrechnungen für die beiden Emissionsszenarien	66
Tabelle 31:	Anzahl der Straßen mit Überschreitung der Grenzwerte nach 22. BImSchV [16] als Ergebnis der Modellrechnungen	67
Tabelle 32:	Übersicht über die Abgasnormen der EU	70

Abkürzungsverzeichnis

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Mikrogramm (1 millionstel Gramm) pro m^3 ; $10^{-6} \text{ g}/\text{m}^3$
μm	Mikrometer = 1 millionstel Meter
BGBI	Bundesgesetzblatt
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz
CO	Kohlenmonoxid
DTV	Durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge. Auf alle Tage des Jahres bezogener Mittelwert der einen Straßenquerschnitt täglich passierenden Fahrzeuge in Kfz/24h.
EG/EU	Europäische Gemeinschaften/Europäische Union
GVBl	Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen
HMULV	Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
Kfz	Kraftfahrzeug
Ks bzw KS	Kassel
INfz	leichte Nutzfahrzeuge
mg/m^3	Milligramm (1 tausendstel Gramm) pro m^3 ; $10^{-3} \text{ g}/\text{m}^3$
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Nfz	Nutzfahrzeug
NH_3	Ammoniak
NH_4^+	Ammonium
NO	Stickstoffmonoxid
NO_2	Stickstoffdioxid
NO_3^-	Nitrat
NO_x	Stickstoffoxide
NVV	Nordhessischer Verkehrsverbund
O_3	Ozon
ÖPNV	Öffentlicher Personen-Nahverkehr
Pb	Blei
Pkw	Personenkraftwagen
PM	Particular matter (Staub)
PM10	Partikel, die einen gröbenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist [30]
schwere Lkw	Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht größer 3,5 t
SO_2	Schwefeldioxid
t/a	Tonnen (1 tausend Kilogramm) pro Jahr
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ZRK	Zweckverband Kassel

Anhang A: Beschreibung der Luftmessstationen

Luftmessstation Kassel-Fünffensterstraße



Beschreibung:

Gebiet:	Ballungsraum Kassel
Standortcharakter:	Verkehrsstation
EU-Code:	DEHE049
Gemeinde:	Kassel
Straße:	Fünffensterstraße
Rechtswert:	3534342
Hochwert:	5686470
Längengrad:	9°29'33"
Breitengrad:	51°18'48"
Höhe über NN:	166 m
Lage:	Becken
Messbeginn:	1999
Sonstige Angaben:	

Geräteausstattung:

Komponente	seit	Messprinzip
Schwefeldioxid	-	-
Kohlenmonoxid	1999	IR-Absorption
Stickstoffmonoxid/Stickstoffdioxid	1999	Chemolumineszenz
Kohlenwasserstoffe ohne Methan	-	-
Benzol, Toluol, m-/p-Toluol	1999	Gaschromatograph
Ozon	-	UV-Absorption
Feinstaub PM10	2000	β-Absorption
Windrichtung/Windgeschwindigkeit	-	-
Temperatur/relative Luftfeuchte	-	-
Luftdruck	-	-
Globalsstrahlung	-	-
Niederschlag	-	-

Luftmessstation Kassel-Nord



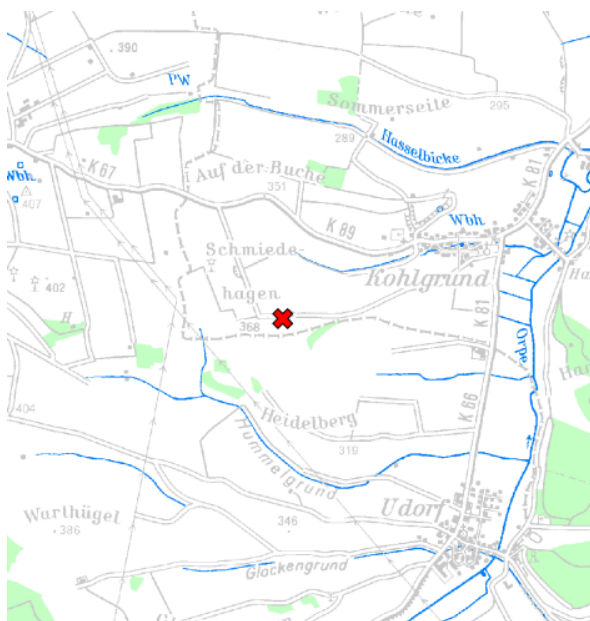
Beschreibung:

Gebiet:	Ballungsraum Kassel
Standortcharakter:	Stadtstation
Gemeinde:	Kassel
Straße:	Holländische Straße
Rechtswert:	3533600
Hochwert:	5689600
Längengrad:	9°28'56"
Breitengrad:	51°20'29"
Höhe über NN:	167 m
Lage:	Becken
Messbeginn:	1979
Sonstige Angabe:	

Geräteausstattung:

Komponente	seit	Messprinzip
Schwefeldioxid	1979	UV-Fluoreszenz
Kohlenmonoxid	1979	IR-Absorption
Stickstoffmonoxid/Stickstoffdioxid	1979	Chemolumineszenz
Kohlenwasserstoffe ohne Methan	1980	GC-FID
Benzol, Toluol, m-/p-Toluol	-	-
Ozon	1980	UV-Absorption
Feinstaub PM10	2000	β-Absorption
Windrichtung/Windgeschwindigkeit	1983	Ultraschallmessstrecken
Temperatur/relative Luftfeuchte	1983	Haarharfe S" / Pt 100
Luftdruck	1985	Aneroid-Dosensatz
Globalsstrahlung	-	-
Niederschlag	-	-

Luftmessstation Bad Arolsen



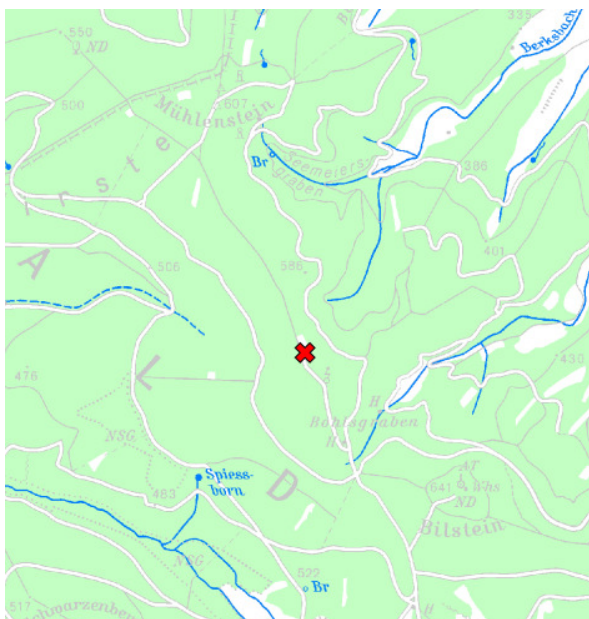
Beschreibung:

Gebiet:	Mittel- und Nordhessen
Standortcharakter:	ländlicher Raum
EU-Code:	DEHE046
Gemeinde:	Bad Arolsen
Straße:	An der Thale
Rechtswert:	3495010
Hochwert:	5699619
Längengrad:	8°55'42"
Breitengrad:	51°25'57"
Höhe über NN:	360 m
Lage:	Hügel
Messbeginn:	1999
Sonstige Angaben:	

Geräteausstattung:

Komponente	seit	Messprinzip
Schwefeldioxid	1999	UV-Fluoreszenz
Kohlenmonoxid	-	-
Stickstoffmonoxid/Stickstoffdioxid	1999	Chemolumineszenz
Kohlenwasserstoffe ohne Methan	-	-
Benzol, Toluol, m-/p-Toluol	-	-h
Ozon	1999	UV-Absorption
Feinstaub PM10	2000	β-Absorption
Windrichtung/Windgeschwindigkeit	2000	Ultraschallmessstrecken
Temperatur/relative Luftfeuchte	1999	Haarharfe S" / Pt 100
Luftdruck	-	-
Globalstrahlung	1999	Thermospannung
Niederschlag	-	

Luftmessstation Witzenhausen



Beschreibung:

Gebiet:	Mittel- und Nordhessen
Standortcharakter:	ländlicher Raum
EU-Code:	DEHE024
Gemeinde:	Gutsbezirk Kaufunger Wald
Straße:	
Rechtswert:	3554100
Hochwert:	5684450
Längengrad:	9°46'32"
Breitengrad:	51°17'37"
Höhe über NN:	600 m
Lage:	Berg
Messbeginn:	1983
Sonstige Angaben:	

Geräteausstattung:

Komponente	seit	Messprinzip
Schwefeldioxid	1983	UV-Fluoreszenz
Kohlenmonoxid	-	-
Stickstoffmonoxid/Stickstoffdioxid	1983	Chemolumineszenz
Kohlenwasserstoffe ohne Methan	-	-
Benzol, Toluol, m-/p-Toluol	-	-
Ozon	1983	UV-Absorption
Feinstaub PM10	2003	β-Absorption
Windrichtung/Windgeschwindigkeit	1983	Ultraschallmessstrecken
Temperatur/relative Luftfeuchte	1983	Haarharfe S" / Pt 100
Luftdruck	1992	Aneroid-Dosensatz
Globalsstrahlung	1984	Thermospannung
Niederschlag	2002	Tropfersystem

Anhang B: Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) - BImSchG - vom 15. März 1974 (BGBl. I. Seite 721, 1193), Neufassung vom 26. September 2002 (BGBl. I Nr. 71 vom 04.10.2002, S. 3830), zuletzt geändert am 25. Juni 2005 (BGBl. I Nr. 39 vom 30.06.2005 S. 1865)
- [2] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) - TA Luft - vom 28. August 1974 (GMBI. S. 425), ersetzt durch die Neufassung vom 27. Februar 1986 (GMBI. S. 95), mit Berichtigung vom 4. April 1986 (GMBI. S. 202) - Neufassung vom 24. Juli 2002 (GMBI. Nr. 25 - 29 vom 30. Juli 2002 S. 511)
- [4] Verordnung über die Belastungsgebiete nach § 44 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes vom 5. August 1975 (GVBl. I S. 197), geändert durch Verordnung vom 21. September 1977 (GVBl. I S. 367)
- [5] Polizeiverordnung zur Verhinderung schädlicher Umwelteinwirkungen bei austauscharmen Wetterlagen (Smog-Verordnung) vom 15. Oktober 1976 (GVBl. I S. 419), geändert durch Verordnung vom 13. Jan. 1991 (GVBl. I S. 33), aufgehoben durch die Verordnung vom 17. März 1998 (GVBl. S. 62)
- [6] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV) i. d. F. vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 490), zuletzt geändert durch Verordnung vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1641, 1631)
- [7] Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Schwefelgehalt von leichtem Heizöl und Dieselmotortreibstoff - 3. BImSchV) vom 24. Juni 2002 (BGBl. I S. 2243)
- [8] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 14. März 1997 (BGBl. I S. 504, zuletzt geändert durch Verordnung vom 20. Juni 2005 (BGBl. I S. 1687)
- [9] Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen - 10. BImSchV) vom 24. Juni 2004 (BGBl. I S. 1342)
- [10] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen und Emissionsberichte - 11. BImSchV) vom 29. April 2004 (BGBl. I S. 694)
- [11] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungsanlagen - 13. BImSchV) vom 20. Juli 2004 (BGBl. I S. 1717, ber. S. 2847)
- [12] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV) vom 13. November 1990 (BGBl. S. 2545, ber. S. 2832), i. d. F. vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1633)
- [13] Neunzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Chlor- und Bromverbindungen als Kraftstoffzusatz - 19. BImSchV) vom 17. Januar 1992 (BGBl. I S. 75), geändert durch Gesetz vom 21. Dezember 2000 (BGBl. I S. 1956, 1963)
- [14] Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen - 20. BImSchV) vom 27. Mai 1998 (BGBl. I, S. 1174) zuletzt geändert durch Verordnung vom 24. Juni 2002 (BGBl. I S. 2247, 2249)
- [15] Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen - 21. BImSchV) vom 07. Oktober 1992 (BGBl. I, S. 1730), geändert durch Verordnung vom 06. Mai 2002 (BGBl. I S. 1566)
- [16] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft - 22. BImSchV) vom 11. September 2002 (BGBl. I S. 3626), geändert durch Verordnung vom 13. Juli 2004 (BGBl. I, S. 1612, 1625)
- [17] Dreiunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Verminderung von Sommersmog, Versauerung und Nährstoffeinträgen - 33. BImSchV) vom 13. Juli 2004 (BGBl. I S. 1612)
- [21] Richtlinie 80/779/EWG des Rates vom 15. Juli 1980 über Grenzwerte und Leitwerte der Luftqualität für Schwefeldioxid und Schwebstaub (ABl. L 229 vom 10. August 1980, S. 30, zuletzt geändert durch ABl. L 377 vom 31. Dezember 1991, S. 48)
- [22] Richtlinie 82/884/EWG des Rates vom 03. Dezember 1982 betreffend einen Grenzwert für den Bleigehalt in der Luft (ABl. L 378 vom 31. Dezember 1982, S. 15, zuletzt geändert durch ABl. C 241 vom 29. August 1994, S. 172)
- [23] Richtlinie 85/203/EWG des Rates vom 07. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid (ABl. L 87 vom 27. März 1985, S. 1, zuletzt geändert durch ABl. C 241 vom 29. August 1994, S. 172)
- [24] Richtlinie 92/72/EWG: Richtlinie des Rates vom 21. September 1992 über die Luftverschmutzung durch Ozon (ABl. L 297 vom 13. Oktober 1992, S. 1)
- [25] Richtlinie 93/12/EWG des Rates vom 23. März 1993 über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Brennstoffe (ABl. L 74 vom 27. März 1993, S. 81), zuletzt geändert durch ABl. L 121 vom 11. Mai 1999, S. 13)

- [26] Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (ABl. L 257 vom 10. Oktober 1996, S. 26, IVU-Richtlinie, umgesetzt mit dem Artikelgesetz v. 2001)
- [27] Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität (ABl. L 296 vom 21. November 1996, S. 55, Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie)
- [28] Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über die Qualität von Otto- und Dieselmotoren und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG des Rates (ABl. L 350 vom 28. Dezember 1998, S. 58)
- [29] Richtlinie 1999/13/EG des Rates vom 11. März 1999 über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen (ABl. L 85 vom 29. März 1999, S. 1)
- [30] 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 vom 29. Juni 1999, S. 41, 1. Tochterrichtlinie)
- [31] Richtlinie 1999/32/EG des Rates vom 26. April 1999 über eine Verringerung des Schwefelgehalts bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe und zur Änderung der Richtlinie 93/12/EWG (ABl. L 121 vom 11. Mai 1999, S. 13)
- [32] Richtlinie 1999/102/EG der Kommission vom 15. Dezember 1999 zur Anpassung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen an den technischen Fortschritt. (ABl. L 334 vom 28. Dezember 1999, S. 43)
- [33] Richtlinie 2000/69/EG des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft (ABl. L 313 vom 12. Dezember 2000, S. 12, 2. Tochterrichtlinie)
- [34] Richtlinie 2001/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Januar 2001 zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen (ABl. L 35 vom 06. Februar 2001, S. 34)
- [35] Richtlinie 2001/27/EG der Kommission vom 10. April 2001 zur Anpassung der Richtlinie 88/77/EWG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen an den technischen Fortschritt (ABl. L 107 vom 18. April 2001, S. 10)
- [36] Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstwerte für bestimmte Luftschadstoffe (ABl. L 309 vom 27. November 2001, S. 22, sog. NEC-Richtlinie, umgesetzt mit der 33. BImSchG)
- [38] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft (ABl. L 67 vom 09. März 2002 S. 14, 3. Tochterrichtlinie)
- [39] Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Cadmium, Quecksilber, Nickel und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft (ABl. L 23 vom 26. Januar 2005, S. 3, 4. Tochterrichtlinie)
- [40] Entscheidung der Kommission vom 20. Februar 2004 zur Festlegung von Modalitäten für die Übermittlung von Informationen über die gemäß der Richtlinie 96/62/EG des Rates erforderlichen Pläne oder Programme in Bezug auf Grenzwerte für bestimmte Luftschadstoffe (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2004) 491, ABl. L 68 vom 06. März 2004 S. 27)
- [41] Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG - Energieeinsparungsgesetz) vom 22. Juli 1976 (BGBl. I S. 1873; zuletzt geändert durch Gesetz vom 01.09.2005 (BGBl. I S. 2682))
- [42] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (EnEV - Energieeinsparverordnung) Fassung vom 2. Dezember 2004 (BGBl. I Nr. 64 vom 7. Dezember 2004 S. 3146, zuletzt geändert 2. Dezember 2004 S. 3144)
- [60] Lufthygienischer Jahresbericht 2003; Schriftenreihe des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie: Luftreinhaltung in Hessen, Wiesbaden 2004
- [61] Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Arbeitnehmer im Hessen am 30. Juni 2002 nach ihrer Pendlereigenschaft, Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden 2003
- [62] Verkehrsmengenkarte 2000, Herausgeber: Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden
- [63] Gesamtverkehrsplan des Zweckverbandes Raum Kassel, Teil: Analyse, Endbericht 1998, Zweckverbandes Raum Kassel
- [64] Luftreinhalteplan Kassel
 - Teil 1: Emissionen. Herausgegeben vom Hessischen Minister für Landesentwicklung, Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden, März 1984
 - Teil 2: Immissionen, Ursachen, Maßnahmen. Herausgegeben vom Hessischen Minister für Umwelt und Energie, Wiesbaden, Dezember 1986
- [65] Luftreinhalteplan Kassel, 1. Fortschreibung, Herausgegeben vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden, 1999

- [66] Schreiben des Deutschen Wetterdienstes, Geschäftsfeld Klima- und Umweltberatung, Offenbach, vom 17.11.1997, Aktenzeichen: KBOF/66.30.19, publiziert im Luftreinhalteplan Kassel - 1. Fortschreibung [65BOF/66.30.19, publiziert im Luftreinhalteplan Kassel - 1. Fortschreibung [65]
- [67] VDI-Richtlinie 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeverbrauchsanlagen
- Blatt 1, Ausgabe 12. 83: Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen
- Blatt 2, Ausgabe 12. 93: Raumheizung
- [68] Umweltatlas Hessen im Internet unter „www.umwelt.hessen.de“
- [70] Emissionskataster Hessen für das Bezugsjahr 2000; Quellengruppe nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen; Schlussbericht Juli 2003, HEINZ + FEIER GmbH, Wiesbaden, im Auftrag des HLUg
- [71] Regionalplan Nordhessen 2000, Beschlossen durch die Regionalversammlung Nordhessen am 01. November 2000, genehmigt durch die Hessische Landesregierung am 29. Mai 2001, bekannt gemacht vom Regierungspräsidium Kassel im Staatsanzeiger des Landes Hessen Nr.33 vom 13. August 2001
- [72] „Luftreinhalteplan für den Ballungsraum Rhein-Main“ in Jahresbericht 2004 des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2005
- [73] P. Rabl, M. Zischka: F+E-Vorhaben: Messung von kfz-bedingten Edelmetall-Immissionen in verkehrsnahen Bereichen (MEDIV); Tunnel-Immissionsmessungen zur Bewertung kfz-spezifischer Emissionen (TIBE), Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2004
- [74] A. John, T. Kuhlbusch: Ursachenanalyse von Feinstaub(PM 10)-Immissionen in Berlin auf der Basis von Messungen der Staubinhaltsstoffe am Stadtrand, in der Innenstadt und in einer Straßenschlucht, Institut für Energie- und Umwelttechnik (IUTA e.V.) Duisburg, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin 2004
- [75] J. Schneider G. Lorbeer: Inhaltsstoffe von PM 10 und PM 2,5 an zwei Messstationen (BE-208) Umweltbundesamt Wien 2002 (ISBN 3-85457-649-8)
- [76] E. Danninger, W. Mayrhofer, G. Minniberger: Untersuchung der PM10-Zusammensetzung zur Identifizierung des Hauptverursachers, in PMx-Quellenidentifizierung: Ergebnisse als Grundlage für Maßnahmenpläne - Bericht zum Workshop, Mühlheim 22/23.01.2004
- [77] S. Drechsler: Ermittlung von Art und Umfang der Partikelemissionen von Dieselmotoren, Bericht der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1999
- [78] Ursachenanalyse für PM10 im Rahmen der Erarbeitung von Luftreinhalte- und Aktionspläne in Baden-Württemberg nach § 47 BImSchG für das Jahr 2003, Bericht-Nr.: 4-01/2005, UMEG, Karlsruhe 2004
- [79] Dr. G. Weckwerth: Von Asbest zu Antimon, Immissionsschutz 1 05, Seite 15
- [80] Ermittlung der Konzentration, Größenverteilung und räumliche Ausbreitung von Schwebstaub und Staubinhaltsstoffen (Schwermetall) im Bereich Frankfurt am Main, J. W. Goethe-Universität im Auftrag des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Frankfurt 2002
- [81] Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt und Paul Scherrer Institut: Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Forschungsprojekt ASTRA 2000/415 im Auftrag des Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft 2003
- [82] Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG: Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Straßen auf Basis vorhandener Messdaten, im Auftrag des Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, 2003
- [83] P. Soltic, M. Weilenmann: Partitioning of NO_x Emissions for Gasoline Passenger Cars and Light Duty Trucks, 11th International Symposium „Transport and Air pollution“, 19.-21 June 2002, Graz, Austria
- [84] IVU: Ursachenanalyse für den Anstieg der NO₂-Immissionen an verkehrsnahen Messstellen, im Auftrag des Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005
- [85] HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 1.2 / Jan. 1999; UBA Berlin, BUWAL OFEFP Bern, Umweltbundesamt Bern
- [86] Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2005
- [87] CAFE Scenario Analysis Report Nr.2 (2004). The "Current Legislation" and the "Maximum Feasible Reduction" cases for the CAFÉ baseline emission projections, Background paper for the meeting of the CAFÉ Working Group on Target Setting and Policy Advice, November 10, 2004
- [88] Baugesetzbuch (BauGB) BGBl I 1960, Seite 341, Neugefasst durch Bek. v. 23. 9.2004 I 2414; zuletzt geändert durch Art. 21 G v. 21. 6.2005 I 1818
- [89] Hessische Bauordnung (HBO) vom 18. Juni 2002 (GVBl. I S. 274) geändert durch Gesetz vom 21. März 2005 (GVBl. I S. 218); § 64; Hessisches Wassergesetz (HWG) vom 6. Mai 2005 (GVBl. I S. 305); Gesetz vom 20. Juni 2005 (GVBl. I S. 434); Gesetz vom 28. September 2005 (GVBl. I S. 662)
- [90] Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Kassel, Arbeitsgruppe TrUmF, IVU Umwelt GmbH, im Auftrag des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Mai 2004
- [91] Neunte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über das Genehmigungsverfahren – 9. BImSchV) vom 29. Mai 1992 (BGBl. I S. 1001), geändert durch Verordnung vom 8. Juni 2005 (BGBl. I S. 1591, 1597) und durch Gesetz vom 21. Juni 2005 (BGBl. I S. 1666, 1667)

- [92] Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 25. Juni 2005 (BGBl. I S. 1757 ff)
- [93] S. Drechsler, D. Ahrens, R. Lumpp, T. Holst, U. Uhrner, Hohe Feinstaubbelastung als Folge sekundärer Aerosolbildung, Immissionsschutz 2/2006

HESSEN



**Hessisches Ministerium für Umwelt,
ländlichen Raum und Verbraucherschutz**

Abteilung II, Ref. II 7

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden