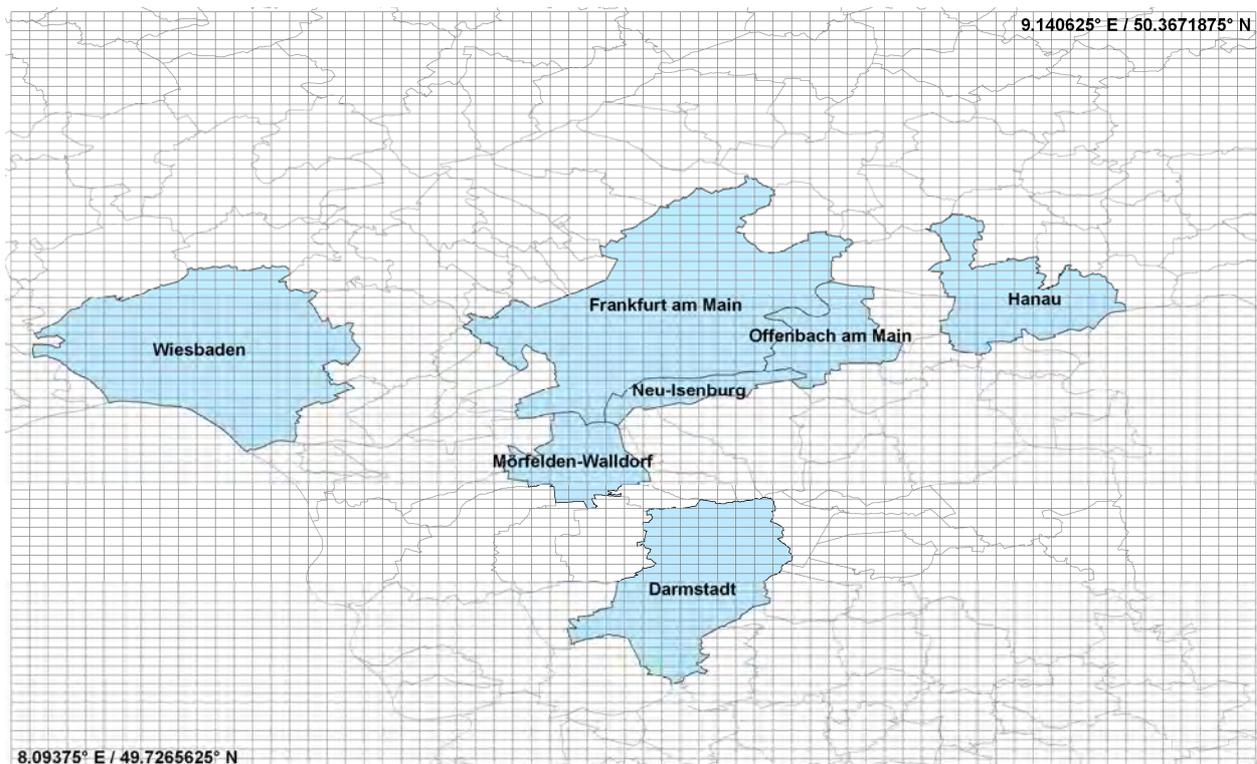


Endbericht

Ausbreitungsrechnungen für den Ballungsraum Rhein-Main als Beitrag zur Ursachenanalyse für den Luftreinhalteplan Rhein-Main



für das

Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingastr. 186
65203 Wiesbaden

von

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
79110 Freiburg



in Zusammenarbeit mit

Dr. Rainer Stern

Endbericht

Ausbreitungsrechnungen für den Ballungsraum Rhein-Main als Beitrag zur Ursachenanalyse für den Luftreinhalteplan Rhein-Main

für das

Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie
Rheingastr. 186
65203 Wiesbaden

bearbeitet von:

Volker Diegmann
Florian Pfäfflin
Günter Gäßler

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
D-79110 Freiburg
Tel: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 0
Fax: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 12
info@ivu-umwelt.de
www.ivu-umwelt.de

und

Dr. Rainer Stern

Gleimstr. 25
D-10437 Berlin

Vorgelegt am 19.11.2009

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung	7
2	Vorgehensweise	9
3	Untersuchungsgebiet	11
4	Daten	13
4.1	Meteorologie	13
4.2	Straßengeometrien und Verkehrsdaten	13
4.3	Emissionen	16
4.3.1	Hessen	16
4.3.1.1	Genehmigungsbedürftige Anlagen	16
4.3.1.2	Gebäudeheizung	16
4.3.1.3	Straßenverkehr	17
4.3.1.4	Kleingewerbe	17
4.3.1.5	Biogene Quellen	17
4.3.1.6	Flugverkehr und Flughafengelände	18
4.3.2	Rheinland-Pfalz	20
4.3.3	Bayern	20
4.3.4	Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet	20
4.3.5	Geplante Großvorhaben	21
5	Modelltechnische Umsetzung	23
5.1	Berechnung der Vorbelastung mit dem RCG-Modell	23
5.1.1	Modellbeschreibung	23
5.1.2	Berechnungsskalen	24
5.1.3	Emissionen	26
5.1.4	Meteorologische Felder	27
5.1.5	Ausbreitungsrechnungen	28
5.1.6	Flächenhafte Darstellung	29
5.2	Berechnung der Zusatz- und Gesamtbelastung mit dem CPB-Modell	30
5.2.1	Modellbeschreibung	30
5.2.2	Photochemisches Modul PCE zur NO ₂ -Bestimmung im Straßenraum	31
5.2.3	Berechnung der NO ₂ -Direktemissionen	33
5.2.4	Anwendung	35
5.2.5	Überschreitungshäufigkeit des PM ₁₀ -Tagesgrenzwerts	37
6	Ergebnisse zur Vorbelastung	39
6.1	Basisfall 2005	39
6.2	Vergleich mit Messwerten	42
6.3	Szenarien zur Quellgruppenanalyse	47
6.3.1	Szenario Industrie	47
6.3.2	Szenario Gebäudeheizung	53
6.3.3	Szenario Kfz-Verkehr	59

6.4	Szenario mit Emissionen von vier geplanten Großvorhaben	65
7	Ergebnisse zur Zusatz- und Gesamtbelastung	73
7.1	Vergleich mit Messwerten	73
7.2	Basisfall 2005	74
7.3	Szenario mit Emissionen von vier geplanten Großvorhaben	79
8	Zusammenfassung	83
9	Literatur	85
Anhang		89
A.1	Darstellung der Straßenräume	89

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1:	Untersuchungsgebiet Ballungsraum Rhein-Main	11
Abbildung 4-1:	Lage der Straßenabschnitte im Untersuchungsgebiet	14
Abbildung 4-2:	Schematische Darstellung der räumlichen Verteilung der Emissionen des Flughafens für das Untersuchungsgebiet	19
Abbildung 5-1:	Europaweites RCG-Modellgebiet	24
Abbildung 5-2:	Regionales RCG-Modellgebiet	25
Abbildung 5-3:	Urbanes RCG-Modellgebiet	26
Abbildung 5-4:	Versatz der nach Gauß-Krüger-3 projizierten RCG-Gitterpunkte	29
Abbildung 5-5:	Statistischer Zusammenhang zwischen Jahresmittelwert von PM10 und Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über 50 µg/m ³	37
Abbildung 6-1:	PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet	40
Abbildung 6-2:	NO ₂ -Vorbelastung im Untersuchungsgebiet	41
Abbildung 6-3:	Vergleich von Messwerten 2005 mit der modellierten Vorbelastung	42
Abbildung 6-4:	Berechnete und beobachtete Zeitreihen für die Station Raunheim	45
Abbildung 6-5:	PM10-Vorbelastung durch Industrie	48
Abbildung 6-6:	NO ₂ -Vorbelastung durch Industrie	49
Abbildung 6-7:	Relativer Anteil der Industrie an der PM10-Vorbelastung im	50
Abbildung 6-8:	Relativer Anteil der Industrie an der NO ₂ -Vorbelastung im	51
Abbildung 6-9:	PM10-Vorbelastung durch Gebäudeheizung	54
Abbildung 6-10:	NO ₂ -Vorbelastung durch Gebäudeheizung	55
Abbildung 6-11:	Relativer Anteil der Gebäudeheizung an der PM10-Vorbelastung	56
Abbildung 6-12:	Relativer Anteil der Gebäudeheizung an der NO ₂ -Vorbelastung	57
Abbildung 6-13:	PM10-Vorbelastung durch Kfz-Verkehr	60
Abbildung 6-14:	NO ₂ -Vorbelastung durch Kfz-Verkehr	61
Abbildung 6-15:	Relativer Anteil des Kfz-Verkehrs an der PM10-Vorbelastung	62
Abbildung 6-16:	Relativer Anteil des Kfz-Verkehrs an der NO ₂ -Vorbelastung	63
Abbildung 6-17:	PM10-Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	66
Abbildung 6-18:	NO ₂ -Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	67
Abbildung 6-19:	Absolute Änderung der PM10-Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	68
Abbildung 6-20:	Relative Änderung der PM10-Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	69
Abbildung 6-21:	Absolute Änderung der NO ₂ -Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	70
Abbildung 6-22:	Relative Änderung der NO ₂ -Vorbelastung bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben	71
Abbildung 7-1:	Ursachenanalyse PM10	76
Abbildung 7-2:	Ursachenanalyse NO ₂	78
Abbildung 7-3:	Änderung der PM10-Belastung an den Abschnitten durch die geplanten Großvorhaben	80
Abbildung 7-4:	Änderung der NO ₂ -Belastung an den Abschnitten durch die geplanten Großvorhaben	81
Abbildung A-1:	Straßenraum Querschnitt - ID1	89
Abbildung A-2:	Straßenraum Querschnitt - ID2	89
Abbildung A-3:	Straßenraum Querschnitt - ID3	90
Abbildung A-4:	Straßenraum Querschnitt - ID4	90
Abbildung A-5:	Straßenraum Querschnitt - ID5	91

Abbildung A-6:	Straßenraum Querschnitt - ID6	91
Abbildung A-7:	Straßenraum Querschnitt - ID7	92
Abbildung A-8:	Straßenraum Querschnitt - ID8	92
Abbildung A-9:	Straßenraum Querschnitt - ID9	93
Abbildung A-10:	Straßenraum Querschnitt - ID10	93
Abbildung A-11:	Straßenraum Querschnitt - ID11	94
Abbildung A-12:	Straßenraum Querschnitt - ID12	94
Abbildung A-13:	Straßenraum Querschnitt - ID13	95
Abbildung A-14:	Straßenraum Querschnitt - ID14	95
Abbildung A-15:	Straßenraum Querschnitt - ID15	96
Abbildung A-16:	Straßenraum Querschnitt - ID16	96
Abbildung A-17:	Straßenraum Querschnitt - ID17	97
Abbildung A-18:	Straßenraum Querschnitt - ID18	97
Abbildung A-19:	Straßenraum Querschnitt - ID19	98
Abbildung A-20:	Straßenraum Querschnitt - ID20	98
Abbildung A-21:	Straßenraum Querschnitt - ID21	99
Abbildung A-22:	Straßenraum Querschnitt - ID22	99
Abbildung A-23:	Straßenraum Querschnitt - ID23	100
Abbildung A-24:	Straßenraum Querschnitt - ID24	100
Abbildung A-25:	Straßenraum Querschnitt - ID25	101
Abbildung A-26:	Straßenraum Querschnitt - ID26	101
Abbildung A-27:	Straßenraum Querschnitt - ID27	102
Abbildung A-28:	Straßenraum Querschnitt - ID28	102
Abbildung A-29:	Straßenraum Querschnitt - ID29	103
Abbildung A-30:	Straßenraum Querschnitt - ID30	103

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1:	Definition der 30 Straßenabschnitte	15
Tabelle 4-2:	Gesamtemissionen und Anteile der Quellgruppen	21
Tabelle 4-3:	Emissionen durch vier geplante Großvorhaben	21
Tabelle 5-1:	NO ₂ -Anteil am NO _x -Abgas	34
Tabelle 5-2:	Weitere Parameter der 30 Straßenabschnitte	36
Tabelle 6-1:	Vergleich von Messwerten 2005 mit modellierter Vorbelastung	42
Tabelle 7-1:	Vergleich von Messwerten 2005 mit modellierten Gesamtbelastung	73
Tabelle 7-2:	Vergleich von PM10-Tagesgrenzwertüberschreitungen aus Messwerten mit aus der Modellierung abgeleiteten Werten	73
Tabelle 7-3:	Gegenüberstellung von Messwerten 2008 mit der modellierten Gesamtbelastung 2005	74

1 Einführung

Um den gesetzlichen Vorgaben für Maßnahmenfestlegungen in Luftreinhalteplänen zu entsprechen, sind die Verursacheranteile der jeweiligen Emittentengruppe an der Immissionsbelastung zu ermitteln (22. BImSchV, 2007).

In den Jahren 2003/2004 wurde von IVU Umwelt für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) das Projekt "Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Rhein-Main" bearbeitet (IVU UMWELT, 2004). In den vergangenen fünf Jahren hat sich die Emissionssituation im Ballungsraum Rhein-Main geändert, und die o. g. Arbeiten waren, insbesondere im Hinblick auf die aktualisierten Emissionskataster, fortzuschreiben und auf zusätzliche Straßenabschnitte auszuweiten.

Darüber hinaus sind aktuell im Rhein-Main-Gebiet vier emissionsrelevante Großvorhaben geplant, die in den aktuellen Katastern noch nicht enthalten sind und in einer zusätzlichen Szenariorechnung zu berücksichtigen waren.

Anmerkung:

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.

2 Vorgehensweise

Der Beitrag der Quellgruppen Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr entsprechend Abschnitt 4.3.1 zur Immissionsbelastung und der Einfluss der vier geplanten emissionsrelevanten Großvorhaben wurden auf der Basis von Ausbreitungsrechnungen untersucht. Dazu wurden ein Basislauf und vier Szenarien berechnet:

- Basislauf
- Szenariolauf: wie Basislauf, aber keine Emissionen der Quellgruppe Industrie im Untersuchungsgebiet
- Szenariolauf: wie Basislauf, aber keine Emissionen der Quellgruppe Gebäudeheizung im Untersuchungsgebiet
- Szenariolauf: wie Basislauf, aber keine Emissionen der Quellgruppe Kfz-Verkehr im Untersuchungsgebiet
- Szenariolauf: wie Basislauf, aber mit den geplanten Großvorhaben im Untersuchungsgebiet

Der Einfluss der Szenarien auf die Immissionsbelastung wurde sowohl flächenhaft für den Ballungsraum Rhein-Main als auch lokal für 30 ausgewählte Straßenräume betrachtet. Dabei wurde die Immissionsbelastung in Straßenräumen als Summe der Vorbelastung im urbanen Hintergrund und der Zusatzbelastung, die durch die Kfz-Emissionen im Straßenraum erzeugt wird, bestimmt. Untersucht wurden die Schadstoffe PM10 und NO₂ für das Bezugsjahr 2005.

Die urbane Vorbelastung wurde mit dem photochemischen Transportmodell REM-CALGRID (RCG) berechnet. Damit ist gewährleistet, dass die zur NO₂-Vorbelastung und zur PM10-Vorbelastung beitragenden chemisch-physikalischen Prozesse der Oxidantien- und Aerosolbildung angemessen berücksichtigt werden. Die Zusatzbelastung im Straßenraum wurde mit dem Canyon-Plume-Box-Modell (CPB) berechnet.

3 Untersuchungsgebiet

Die zu untersuchenden 30 Straßenabschnitte befinden sich in den sieben Städten

- Darmstadt,
- Frankfurt am Main,
- Hanau,
- Mörfelden-Walldorf,
- Neu-Isenburg,
- Offenbach und
- Wiesbaden.

Die Vorbelastung für die Straßenabschnitte wurde mit dem chemischen Transportmodell RCG berechnet, das auf mehreren, ineinander geschachtelten räumlichen Skalen operiert. Das RCG-Modell und dessen räumliche Berechnungsskalen sind in Abschnitt 5.1 beschrieben.

Das Untersuchungsgebiet umfasst die genannten sieben Städte und ist das Gebiet, für das detaillierte Emissionsdaten aus hessischen, bayrischen und rheinland-pfälzischen Emissionskatastern verwendet wurden. Das in Abbildung 3-1 dargestellte Untersuchungsgebiet erstreckt sich in einem geographischen Koordinatensystem von 8.09375° bis 9.140625° östlicher Länge und von 49.7265625° bis 50.3671875° nördlicher Breite. Es hat eine Gitterauflösung von 0.015625° Länge und 0.0078125° Breite, was in etwa 1 km² entspricht, und liegt innerhalb des kleinräumigsten Modellgebiets für die urbane Vorbelastung, dem RCG-Modellgebiet der urbanen Skala mit der gleichen Gitterauflösung (s. Abschnitt 5.1.2).

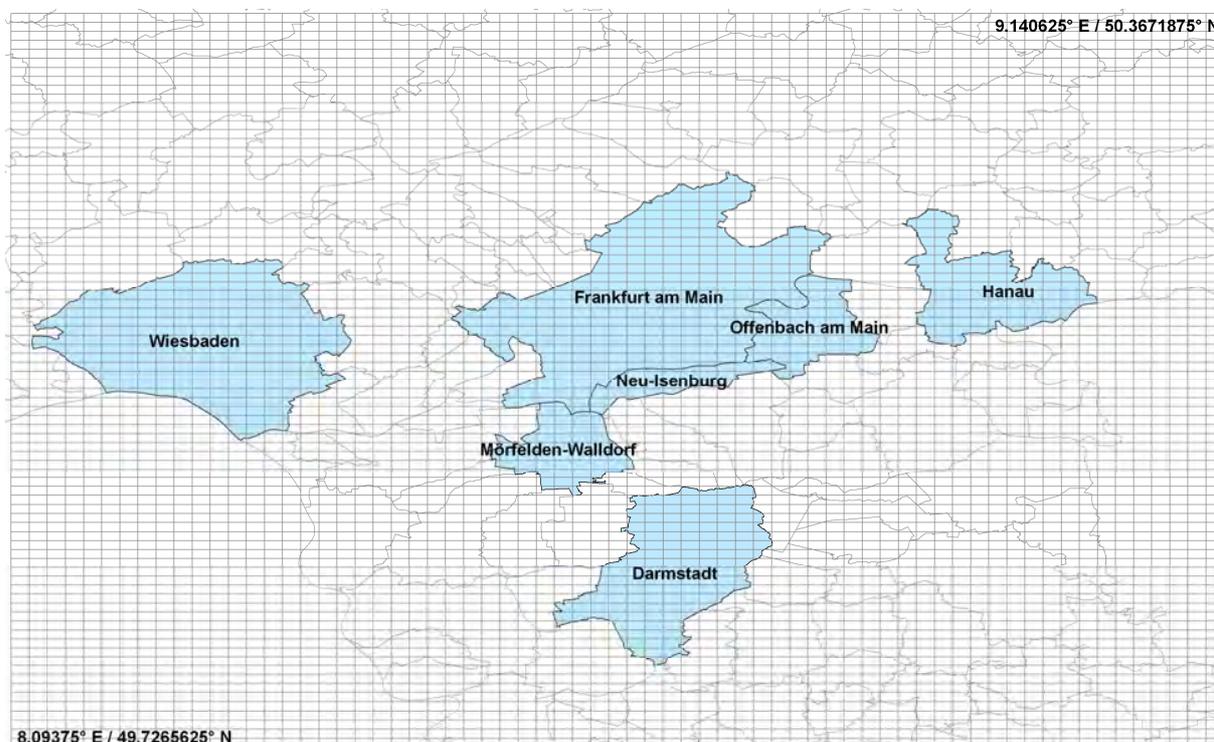


Abbildung 3-1: Untersuchungsgebiet Ballungsraum Rhein-Main von 8.09375° bis 9.140625° östlicher Länge und 49.7265625° bis 50.3671875° nördlicher Breite mit einer Gitterauflösung von 0,015625° Länge und 0,0078125° Breite (ca. 1- 1 km²).

4 Daten

4.1 Meteorologie

Um möglichst allgemein gültige Aussagen zu erhalten, sollte das meteorologische Bezugsjahr möglichst repräsentativ für einen längeren Zeitraum sein. Gleichzeitig sollten die meteorologischen Bedingungen möglichst aus dem gleichen Jahr wie die Emissions- und Schadstoffmessdaten stammen um einen sinnvollen Vergleich von Modellwerten und Messungen zu ermöglichen. Daher wurde in Abstimmung mit dem HLUG als meteorologisches Bezugsjahr das Jahr 2005 ausgewählt, das nach Aussagen des HLUG repräsentativ ist und gleichzeitig den Bezugsjahren der Emissionsdaten (2004 – 2006, s. Abschnitt 4.2) gut entspricht.

Die für dieses Bezugsjahr erzeugten meteorologischen Felder sind im Rahmen der Modellbeschreibung in Abschnitt 5.1.4 näher beschrieben.

4.2 Straßengeometrien und Verkehrsdaten

Die Lage der 30 zu untersuchenden Straßenräume in den sieben Städten Darmstadt, Frankfurt am Main, Hanau, Mörfelden-Walldorf, Neu-Isenburg, Offenbach und Wiesbaden und die Daten zu den Straßenraumgeometrien sowie die zugehörigen Verkehrsdaten, die aus verschiedenen Bezugsjahren stammen, und Verkehrssituationen wurden von den Kommunen an das HLUG geliefert und dem Auftragnehmer vom HLUG bereitgestellt. Sie wurden vom Auftragnehmer, soweit möglich, in Abstimmung mit dem HLUG auf Plausibilität geprüft.

Die Lage der 30 Straßenabschnitte in den sieben Städten des Untersuchungsgebiets ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Die relevanten Eingangsdaten der Abschnitte finden sich in Tabelle 4-1. Zusätzliche Daten, die die Abschnitte beschreiben bzw. weitere Detaillierungen finden sich in Tabelle 5-2 in Abschnitt 5.2 und als Querschnittsdarstellung der Straßenräume im Anhang.

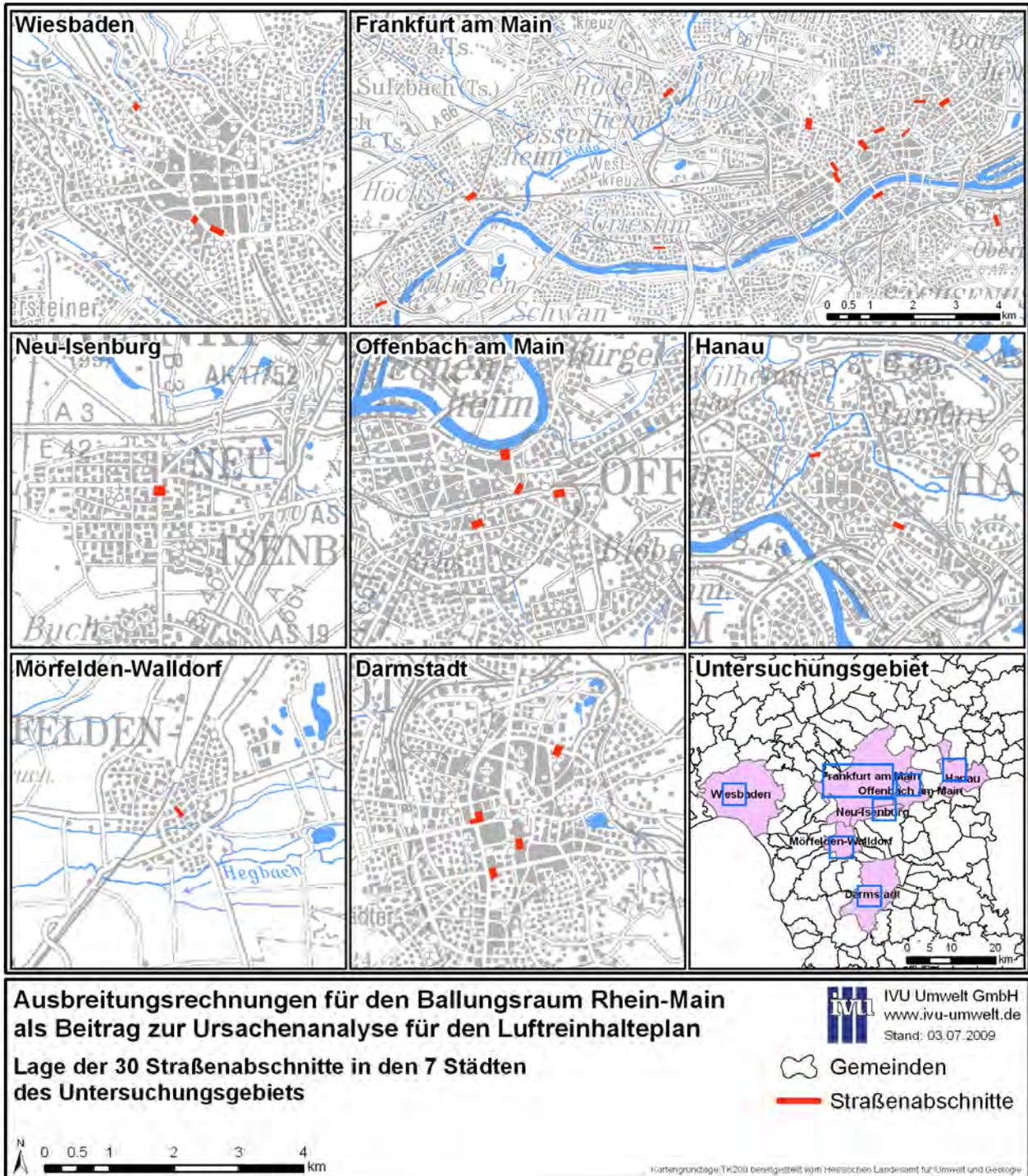


Abbildung 4-1: Lage der Straßenabschnitte im Untersuchungsgebiet

Tabelle 4-1: Definition der 30 Straßenabschnitte

Nr	Stadt	Straße	Zwischen ... und ...	DTV	Spuren	Verkehrssituation	Längsneigung	Einbahn	Höhe links/rechts	Breite	Porosität	ID
1	Darmstadt	Bleichstr.	Kasinostr.	18000	4	LSA1	0,8	ja	12/12	25	17	1
2	Darmstadt	Heinrichstr.	Heidelberger Str	24500	3	LSA1	4,1	-	9/9	20	26	2
3	Darmstadt	Hügelstr.	Wilhelm-Glässing-Str.	30400	3	LSA1	1,5	ja	12/12	15	23	3
4	Darmstadt	Kasinostr.	Bleichstr.	34000	6	LSA1	0	-	15/15	23	27	4
5	Darmstadt	Rhoenring	Heinheimer Str.	15800	2	LSA1	1,8	-	12/12	30	23	5
6	Frankfurt	Höhenstr.	Burgstr.	37176	4	LSA1	0	-	19/16,5	21,5	26	14
7	Frankfurt	Friedberger-Landstr.	Zeisselstr.	33126	4	LSA1	0	-	18/17,5	25,9	27	15
8	Frankfurt	Bleichstr.	Elefantengasse	19745	4	LSA1	0	ja	22/24	23	29	16
9	Frankfurt	Eschersheimer-Landstr.	Fellnerstr.	27569	5	LSA1	0	-	19/20	25	19	17
10	Frankfurt	Hochstr.	Große Bockenheimer Str.	16553	3	LSA1	0	ja	16/18	12	9	18
11	Frankfurt	Mainzer-Landstr.	Karlstr.	47202	4	LSA1	0	-	24/24	30	23	19
12	Frankfurt	Taunusstr.	Am Hauptbahnhof	11690	3	LSA1	0	ja	22/20	20	16	20
13	Frankfurt	Schweizerstr.	Schaumainkai	16688	4	LSA1	0	-	15/18	26	23	21
14	Frankfurt	Sindlinger Bahnstr.	Lehnkaufstr.	6598	2	HVS2	0	-	10/10	13	21	22
15	Frankfurt	Bockenheimer-Landstr.	Senckenberger Anlage	21803	5	LSA1	0	-	25/19	34,5	26	23
16	Frankfurt	Königsteiner Str.	Gerlachstr.	9879	2	LSA1	0	-	10,5/10,5	22	14	24
17	Frankfurt	Alte Falterstr.	Fabricsstr.	4812	1	LSA1	0	ja	14/10,5	13,5	15	25
18	Frankfurt	Lorscher Str.	Arnoldshainer Str.	14454	2	LSA1	0	-	16/16	17,5	15	26
19	Frankfurt	Offenbacher Landstr.	Mümlingstr.	10364	2	LSA1	0	-	14/14	18	8	27
20	Hanau	Barbarossastr.	Freigerichtstr.	11007	3	LSA1	0,2	-	9/9	23	23	6
21	Hanau	HanauerVorstadt	Kleine Hainstr.	12602	2	LSA1	0,5	ja	11,7/10,5	13	17	7
22	Moerf.-Wald.	Westendstr.	Bert-Brecht-Str.	8400	2	HVS2	0	-	10/10	9	31	8
23	New-Isenburg	Frankfurter Str.	Friedrichstr.	19000	2	LSA1	1	-	7/12	20	12	9
24	Offenbach	Bieberer-Str. West	Bismarkstr.	9500	2	LSA1	0	-	12/12	12	13	10
25	Offenbach	Mainstr. Ost	Austr.	25450	3	LSA1	0	-	0/15	98	70	11
26	Offenbach	Untere Grenzstr.	Lämmerspieler Weg	28300	4	LSA1	0	-	12/15	30	24	12
27	Offenbach	Waldstr.	Friedensstr.	18450	4	LSA1	0	-	15/15	30	19	13
28	Wiesbaden	Kaiser-Friedrich-Ring	Wielandstr.	45282	6	LSA3	0	-	17,8/17,8	42	26	28
29	Wiesbaden	Schiersteinerstr.	Niederwaldstr.	40992	5	LSA3	0	-	22/22	34	26	29
30	Wiesbaden	Aarstr.	Anton-Von-Werner-Weg	16362	3	HVS2	0	-	15/15	32	41	30

DTV in [Kfz/d], Längsneigung in [%], Höhe und Breite in [m], Porosität in [%]
 Höhe ist die Gebäudehöhe links und rechts des Straßenabschnitts, Breite der Abstand zwischen den Gebäudefronten, Porosität der Baulückenanteil des Straßenabschnitts

4.3 Emissionen

Zur Berechnung der Vorbelastung im Untersuchungsgebiet mit dem RCG-Modell wurde ein möglichst detaillierter und aktueller Emissionsdatensatz für die Stoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂ benötigt. Die dafür verwendeten Eingangdaten und durchgeführten Arbeitsschritte für das Untersuchungsgebiet aus Kapitel 3 sind in den folgenden Abschnitten beschrieben. In Kapitel 4.3.1 finden sich die hessischen bzw. aus dem Planfeststellungsverfahren für den Ausbau des Flughafens Frankfurt Main verfügbaren Emissionsdaten. In den Kapiteln 4.3.2 und 4.3.3 folgen die verfügbaren Emissionsdaten aus den benachbarten Bundesländern Rheinland-Pfalz und Bayern. In Kapitel 4.3.4 sind die Emissionsmengen für das Untersuchungsgebiet zusammengestellt.

Die zusätzlichen Emissionsdaten der vier emissionsrelevante Großvorhaben für die Szenariorechnung finden sich in Abschnitt 4.3.5.

4.3.1 Hessen

Für den Ballungsraum Rhein-Main lagen im Rahmen des landesweiten hessischen Emissionskatasters bzw. aus dem Planfeststellungsverfahren für den Ausbau des Flughafens Frankfurt Main (IVU UMWELT, 2006A; IJB, 2006; FRAPORT, 2008; MUVEDA, 2006) Angaben zu

- genehmigungsbedürftigen Anlagen (Industrie) für 2004,
- Gebäudeheizung für 2006,
- Kleingewerbe für 2006,
- biogenen Quellen für 2006,
- Kfz-Verkehr für 2005,
- Flugverkehr für 2005 sowie
- Kfz-Verkehr und stationäre Quellen auf dem Flughafengelände für 2005

vor.

4.3.1.1 Genehmigungsbedürftige Anlagen

Die Emissionen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen (im folgenden als „Industrie“ bezeichnet) beinhalten die Anlagen, die nach der 4. BImSchV (2007) genehmigungsbedürftig sind und deren Betreiber nach der 11. BImSchV (2007) verpflichtet sind, Emissionserklärungen abzugeben. Für diese Quellgruppe lagen Emissionen der Schadstoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂ für 2004 vor, die vom HLUg für dieses Projekt in einer aktualisierten Fassung als Punktquellen zur Verfügung gestellt wurden. Die Daten wurden für die Modellierung mit RCG als Punktquellen im geographischen Koordinatensystem aufbereitet.

4.3.1.2 Gebäudeheizung

Die Emissionen der Gebäudeheizung wurden vom HLUg für 2006 für ein Raster von 1 · 1 km² großen Zellen als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. Sie beinhalten Emissionen von Feuerungsanlagen, für die keine immissionsschutzrechtliche Genehmigung nach der 4. BImSchV (2007) benötigt wird. Die Feuerungsanlagen dienen überwiegend der Heizung und Warmwasserbereitung in privaten und öffentlichen Gebäuden, aber auch der Wärmeerzeugung im Industrie- und Gewerbebereich. Emissionen gibt es dabei nur in Gitterzellen, in denen bebaute Gebiete liegen. Es lagen Emissionen für die

Stoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂ vor. Diese Daten wurden in ein Geographisches Informationssystem (GIS) importiert und dort mit den RCG-Gitterzellen des Untersuchungsgebiets verschnitten und die Emissionen entsprechend anteilig auf die RCG-Gitterzellen verteilt.

4.3.1.3 Straßenverkehr

Nach Absprache mit dem Auftraggeber wurde für den Straßenverkehr auf das Kfz-Verkehrs- und -Emissionsnetz des Rhein-Main-Gebiets aus dem Planfeststellungsverfahren zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main (IVU UMWELT, 2006A) für 2005 zurückgegriffen, da das dort zugrunde liegende Verkehrsmodell im Untersuchungsgebiet detaillierter ist als das landesweite Modell aus dem Emissionskataster aus IVU UMWELT (2007).

Die Daten beinhalten Emissionen des rollenden Verkehrs für das Hauptstraßennetz und als flächenbezogenen Binnenverkehr für die Nebenstraßen sowie Verdampfungsemissionen durch Warm- und Heißabstellen und geparkte Fahrzeuge. Sie enthalten Emissionen der Schadstoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10 und SO₂. Die PM10-Emissionen des Straßenverkehrs durch Abrieb und Aufwirbelung sind in dem Datensatz nicht enthalten und wurden bei der RCG-Modellierung durch den modellinternen Ansatz für alle Straßenverkehrsquellen (s. Abschnitt 5.1.3) berücksichtigt. Für das hier vorliegende Projekt wurden die Daten durch eine Nachberechnung um NH₃-Emissionen ergänzt.

Für die Verwendung in RCG wurden diese linien- und flächenhaft vorliegenden Daten mit den RCG-Gitterzellen des Untersuchungsgebiets verschnitten und die Emissionen entsprechend anteilig auf die RCG-Gitterzellen verteilt.

4.3.1.4 Kleingewerbe

Vom HLUG wurden auf Landkreisebene Emissionen der Stoffe NMVOC und Staub durch Kleingewerbe für 2006 als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. Der Anteil von PM10 an den Staub-Emissionen wurde, wie in der Vorgängeruntersuchung (IVU Umwelt, 2004), auf 90 % gesetzt. Die Emissionen wurden im GIS mit den Geometrien der hessischen Landkreise verknüpft, mit den RCG-Gitterzellen des Untersuchungsgebiets verschnitten und entsprechend anteilig auf die RCG-Gitterzellen verteilt.

4.3.1.5 Biogene Quellen

Ebenfalls auf Landkreisebene wurden vom HLUG Emissionen der Stoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10 und NH₃ durch biogene Quellen für 2006 als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. Diese Quellart umfasst die Emissionen durch Böden, Tierhaltung und Wälder. Auch diese Emissionen wurden im GIS mit den Geometrien der hessischen Landkreise verknüpft, mit den RCG-Gitterzellen des Untersuchungsgebiets verschnitten und entsprechend anteilig auf die RCG-Gitterzellen verteilt.

4.3.1.6 Flugverkehr und Flughafengelände

Aus dem Planfeststellungsverfahren zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main (IBJ, 2006) und aus Datenlieferungen zu Emissionen, Flugrouten und Steigprofilen von FRAPORT (2008) lagen Emissionen des Flugverkehrs für 2005 vor. Emissionen des Kfz-Verkehrs und der stationären Quellen auf dem Flughafengelände lagen ebenfalls aus dem Planfeststellungsverfahren zum Ausbau des Flughafens Frankfurt Main für 2005 von MUVEDA (2006) vor. Die Daten beinhalten Emissionen der Schadstoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10 und SO₂.

Für die Modellierung in RCG wurden die Emissionen des Flughafens nicht nur dem Flughafengelände zugeschlagen, sondern in Höhenstufen, entsprechend den aggregierten Flugrouten sowie getrennt nach Start und Landung, differenziert auf die RCG-Gitterzellen verteilt. Für die vertikale Differenzierung wurden die folgenden Höhenstufen mit entsprechenden mittleren Entfernungen vom Beginn der Start- bzw. Landebahn für die jeweilige Höhe angesetzt:

- Boden
- Start bis 30 m Höhe
- Start von 30 bis 305 m (1000 ft) Höhe bei 5000 m Entfernung
- Start von 305 bis 914 m (3000 ft) Höhe bei 13000 m Entfernung
- Landung bis 30 m Höhe
- Landung von 30 bis 305 m (1000 ft) Höhe bei 7500 m Entfernung
- Landung von 305 bis 914 m (3000 ft) Höhe bei 21800 m Entfernung

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs und der stationären Quellen auf dem Flughafengelände sowie die Bodenemissionen des Flugverkehrs wurden vollständig der Bodenschicht im Bereich des Flughafengeländes zugewiesen. Für die Start- und Landevorgänge wurden für die o. g. Höhenschichten und Entfernungen die aggregierten Flugrouten mit den RCG-Gitterzellen verschnitten und die Emissionen in einer Höhenstufe jeweils gleichmäßig auf die betroffenen Gitterzellen verteilt. In Abbildung 4-2 ist die räumliche Verteilung der Emissionen auf die Höhenstufen für das Untersuchungsgebiet im Gauß-Krüger-Koordinatensystem schematisch dargestellt.

4.3.2 Rheinland-Pfalz

Für den Teil des Untersuchungsgebiets (s. Abschnitt 3), der in Rheinland-Pfalz liegt, wurden vom Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz Daten zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen für das Bezugsjahr 2004 mit Emissionen der Schadstoffe NMVOC, CO, NO_x, Staub, NH₃ und SO₂ als Punktquellen zur Verfügung gestellt. Entsprechend der Angaben bei der Datenlieferung wurde für PM10 35 % der Staubemissionen angesetzt. Die Daten wurden für die Modellierung mit RCG als Punktquellen im geographischen Koordinatensystem aufbereitet.

Emissionen weiterer Quellgruppen in Rheinland-Pfalz wurden entsprechend dem Ansatz für Emissionen außerhalb des Untersuchungsgebiets gemäß Abschnitt 5.1.3 verwendet.

4.3.3 Bayern

Für den Teil des Untersuchungsgebiets (s. Abschnitt 3), der in Bayern liegt, wurden beim dortigen Landesamt für Umwelt die Daten des Emissionskatasters 2004 als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. Die Daten beinhalten die folgenden Quellgruppen mit den hier relevanten Stoffen:

- genehmigungsbedürftige Anlagen: NMHC, NO_x, CO, PM10, NH₃ und SO₂
- biogene und „sonstige nicht-gefasste Quellen“: NMVOC, PM10 und NH₃
- privater Verbrauch lösemittelhaltige Konsumgüter in Haushalten: NMVOC
- Gebäudeheizung durch Haushalte und Kleingewerbe aus nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen und sonstigen genehmigungsbedürftigen Anlagen: NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂
- sonstiger Verkehr: NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂.

Der Kfz-Verkehr im bayrischen Teil des Untersuchungsgebiets wird vom in Abschnitt 4.3.1.3 beschriebenen Verkehrsnetz mit abgedeckt und wurde daher hier nicht aus dem bayrischen Emissionskataster übernommen.

Die Emissionsquellen lagen für die genehmigungsbedürftigen Anlagen als Punktquellen vor. Für alle anderen Quellgruppen lagen die Daten bezogen auf 2 · 2 km² großen Flächen vor. Alle Quellen wurden in ein GIS importiert und auf das hessische Bezugssystem Gauß-Krüger-3 projiziert. Die Punktquellen wurden für die Modellierung mit RCG als Punktquellen im geographischen Koordinatensystem aufbereitet. Die Flächenquellen wurden mit den RCG-Gitterzellen des Untersuchungsgebiets verschnitten und die Emissionen entsprechend anteilig auf die RCG-Gitterzellen verteilt.

4.3.4 Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet

In Tabelle 4-2 sind die Emissionen der einzelnen Quellgruppen und ihre Anteile an den Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet für die sechs betrachteten Stoffe NMVOC, CO, NO_x, PM10, NH₃ und SO₂ zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Gesamtemissionen und Anteile der Quellgruppen im Untersuchungsgebiet

Emissionen in t/a	NM VOC	NO _x	CO	PM10	NH ₃	SO ₂
Industrie	2'596	12'117	6'935	909	213.6	3'332.7
Straßenverkehr ¹	4'261	24'594	64'164	757	519.9	33.1
Flugverkehr/Flughafen	816	5'383	3'091	49	-	277.6
Gebäudeheizung	2'366	5'829	11'024	365	76.3	3'319.1
Kleingewerbe	4'187	-	-	65	-	-
Privater Verbrauch *	133	-	-	-	-	-
Biogene u. n. gef. Quellen	7'451	760	-	219	2'784.2	-
Sonstiger Verkehr *	30	160	163	10	0.1	0.1
Summe	21'840	48'842	85'377	2'374	3'594	6'963
Anteile	NM VOC	NO _x	CO	PM10	NH ₃	SO ₂
Industrie	11.9 %	24.8 %	8.1 %	38.3 %	5.9 %	47.9 %
Straßenverkehr ¹	19.5 %	50.4 %	75.2 %	31.9 %	14.5 %	0.5 %
Flugverkehr/Flughafen	3.7 %	11.0 %	3.6 %	2.1 %	-	4.0 %
Gebäudeheizung	10.8 %	11.9 %	12.9 %	15.4 %	2.1 %	47.7 %
Kleingewerbe	19.2 %	-	-	2.7 %	-	-
Privater Verbrauch *	0.6 %	-	-	-	-	-
Biogene u. n. gef. Quellen	34.1 %	1.6 %	-	9.2 %	77.5 %	-
Sonstiger Verkehr *	0.1 %	0.3 %	0.2 %	0.4 %	0.0 %	0.0 %
Summe	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %

* Emissionsdaten nur im bayrischen Teil des Untersuchungsgebiets vorhanden

4.3.5 Geplante Großvorhaben

Aktuell sind im Rhein-Main-Gebiet vier emissionsrelevante Großvorhaben in Mainz, Großkrotzenburg, Frankfurt/Höchst und Griesheim geplant, die in den Emissionskatastern nicht enthalten sind und in einer zusätzlichen Szenariorechnung zu berücksichtigen waren. Da diese Vorhaben z. T. Umbauten bestehender Anlagen sind, fallen durch ihre Verwirklichung vereinzelt Quellen aus dem bisherigen Kataster weg. Die zusätzlichen Emissionen der Quellgruppe Industrie, die sich durch diese vier Großvorhaben ergeben, und die daraus resultierenden industriellen Emissionen insgesamt sind in Tabelle 4-3 zusammengestellt.

Tabelle 4-3: Emissionen durch vier geplante Großvorhaben im Untersuchungsgebiet

Emissionen in t/a	NM VOC	NO _x	CO	PM10	NH ₃	SO ₂
Zusätzliche Emissionen	0	4'633	10'009	321	138	5'121
Industrie gesamt	2'596	16'750	16'944	1'230	352	8'454

¹ Die PM10-Emissionen des Straßenverkehrs durch Abrieb und Aufwirbelung sind in dem Datensatz nicht enthalten (siehe Kapitel 4.3.1.3)

5 Modelltechnische Umsetzung

5.1 Berechnung der Vorbelastung mit dem RCG-Modell

5.1.1 Modellbeschreibung

Zur Berechnung der urbanen Hintergrundkonzentrationen von NO₂, O₃ und PM₁₀ wurde, wie in IVU Umwelt (2004), das REM-CALGRID-Modell (RCG) eingesetzt, das an der Freien Universität Berlin entwickelt wurde und weiterentwickelt wird (Stern, R., 2003c). Das RCG-Modell ist ein dreidimensionales chemisches Transportmodell. Die Berechnung erfolgt auf Stundenbasis für das ganze Jahr. Betrachtet werden alle relevanten Spurenstoffe in der Gasphase und deren chemische Reaktionen sowie Partikel < 10 µm (PM₁₀). Das Modellsystem wurde bereits mehrfach auf Bundes- und Bundesländerebene im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalteplänen, der Berechnung von Hintergrundkonzentrationen oder zur Analyse grenzüberschreitender Schadstofftransporte eingesetzt².

Die wesentlichen Bestandteile des RCG-Modells sind:

- dynamisches oder festes vertikales Koordinatensystem mit einer beliebigen Anzahl von Modellschichten; in der Horizontalen Wahl zwischen einem geographischen oder einem rechtwinkligen Koordinatensystem,
- ein absolut massenerhaltendes „operator-splitting“-Verfahren,
- ein sehr genauer und trotzdem nicht-rechenintensiver Algorithmus für die Horizontaladvektion,
- Module für die trockene und nasse Deposition,
- die neueste Version des Carbon-Bond-IV Mechanismus für die chemischen Gasphasenreaktionen,
- Behandlung von PM₁₀ und PM_{2.5},
- ein Aerosol-Modul zur Bestimmung der sekundären anorganischen Aerosole,
- ein Aerosol-Modul zur Bestimmung der sekundären organischen Aerosole,
- Module zur Bestimmung der biogenen Emissionen auf der Basis von Biomassen,
- skalen-übergreifende Modellanwendungen („one-way-nesting“).

² Siehe KERSCHBAUMER, A.; STERN, R.; REIMER, E. 2005, STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005A, STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005B, STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005C, STERN, R., 2005D, STERN, R., 2006A, STERN, R., 2006B

5.1.2 Berechnungsskalen

Die Anwendung des RCG-Modells erfolgte für drei Skalen:

- die europäische Skala
- die regionale Skala
- die urbane Skala.

Dabei lieferte die europaweite Rechnung die Randbedingungen für die regionale Skala und diese wiederum die Randbedingungen für die urbane Skala. Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnung auf der urbanen Skala wurden dann als Vorbelastung für die Straßenraumberechnungen mit dem CPB-Modell (Kapitel 5.2) verwendet.

Das RCG-Modell wurde für die europaweite Rechnung auf das in Abbildung 5-1 gezeigte Modellgebiet angewendet. Die horizontale Auflösung beträgt in einem geographischen Koordinatensystem 0.5° Länge und 0.25° Breite. In der Vertikalen wurde die Atmosphäre mit 5 Schichten aufgelöst.

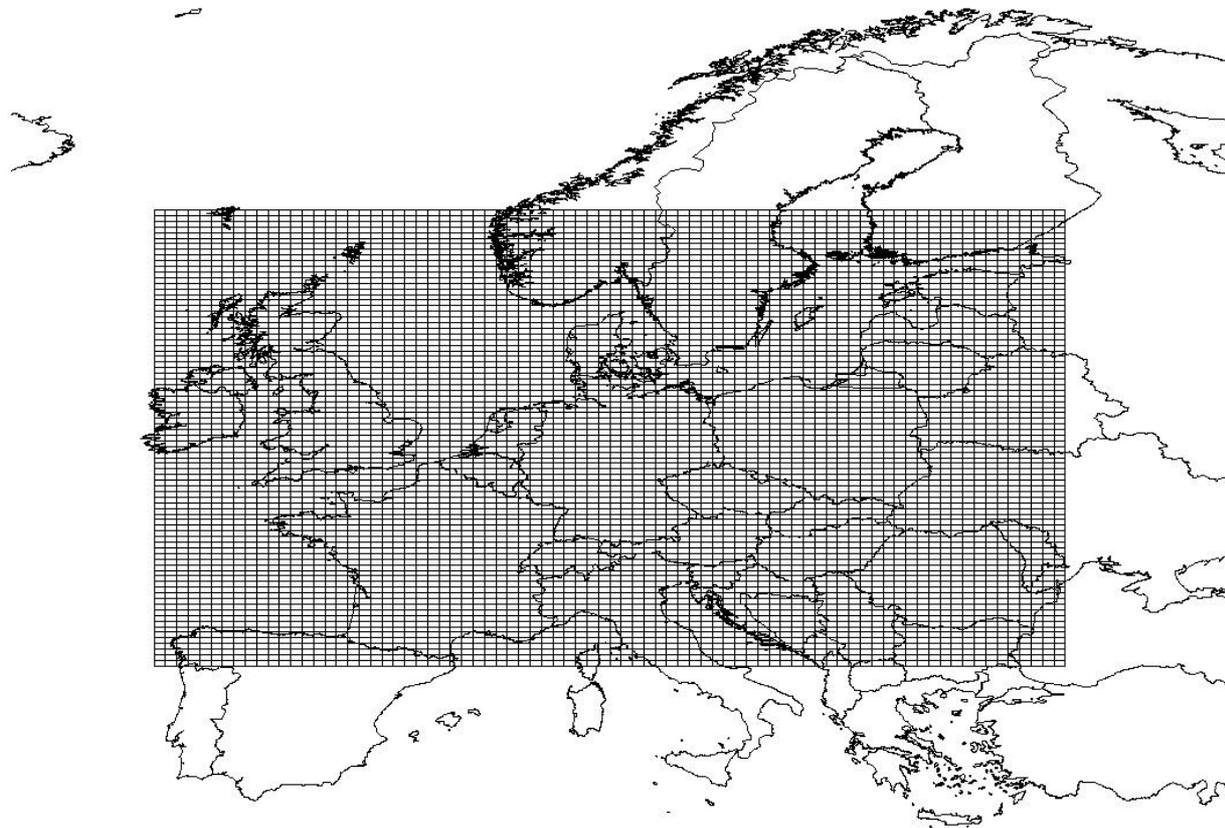


Abbildung 5-1: Europaweites RCG-Modellgebiet mit einer Maschenweite von 0.25° Breite und 0.5° Länge

Die regionale Skala umfasst das Bundesland Hessen und die an Hessen angrenzenden Gebiete der Nachbarbundesländer und ist in Abbildung 5-2 dargestellt. Die horizontale Auflösung beträgt in einem geographischen Koordinatensystem 0.0625° Länge und 0.03125° Breite, was etwa $8 \cdot 7 \text{ km}^2$ entspricht.

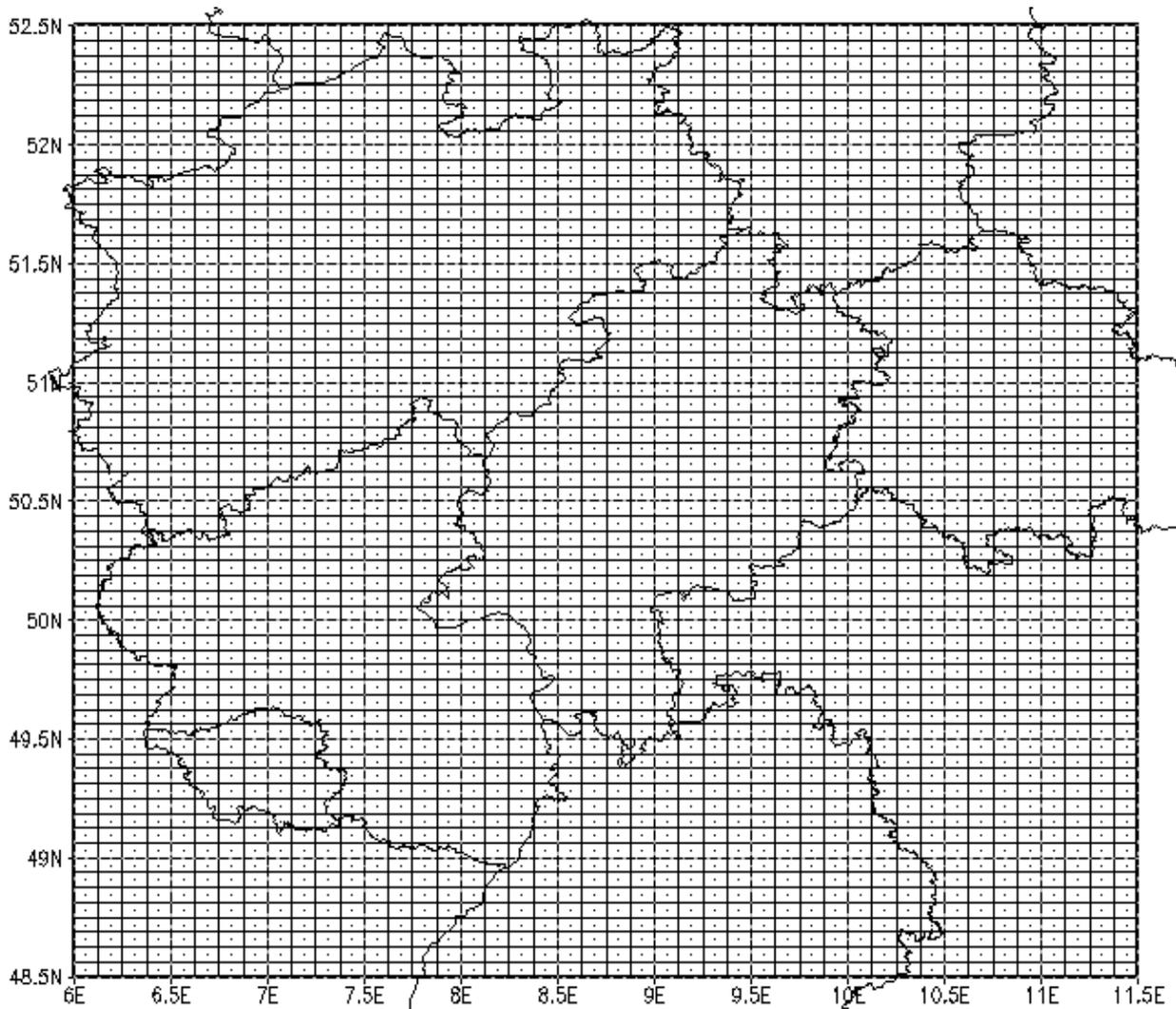


Abbildung 5-2: Regionales RCG-Modellgebiet mit einer Maschenweite von 0.0625° Länge und 0.03125° Breite (circa 8 · 7 km²)

Die Verwendung von Modellrechnungen im Rahmen von Maßnahmenplanungen oder Verursacheranalysen in der urbanen Skala erfordert eine sehr hohe räumliche Auflösung. Das in Kapitel 3 beschriebene Untersuchungsgebiet wurde daher mit einem horizontalen Gitternetz mit der Maschenweite von circa 1 · 1 km² aufgelöst.

Abbildung 5-3 zeigt das urbane Modellgebiet zusammen mit dem Untersuchungsgebiet aus Kapitel 3. Die horizontale Auflösung beträgt in einem geographischen Koordinatensystem 0.015625° Länge und 0.0078125° Breite. Da die urbane Anwendung des RCG-Modells genestet in der regionalen Anwendung erfolgte, musste das urbane Modellgebiet exakt in das regionale Horizontalgitter eingepasst werden, um eine direkte Übergabe der Randbedingungen zu ermöglichen. Deshalb ist das urbane RCG-Modellgebiet größer als das eigentliche Untersuchungsgebiet.

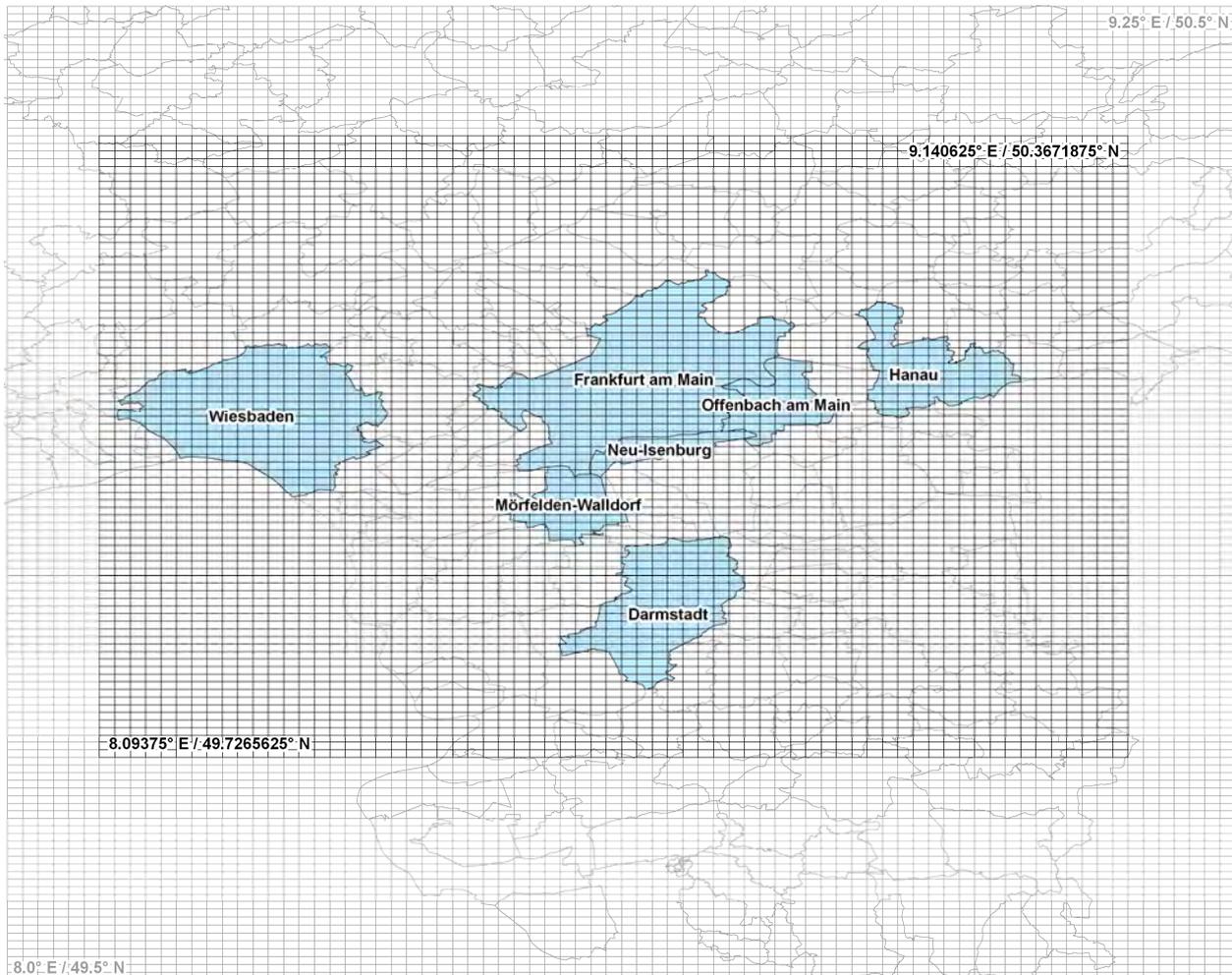


Abbildung 5-3: Urbanes RCG-Modellgebiet mit hervorgehobenem Untersuchungsgebiet. Die Grenzen liegen in einem geographischen Koordinatensystem bei 8.0° Ost bis 9.25° Ost und 49.5° Nord bis 50.5° Nord. Die Gitterauflösung ist 0.015625° Länge und 0.0078125° Breite (ca. 1 · 1 km²).

5.1.3 Emissionen

Als Emissionsdaten für die europäische Skala und die regionale Skala wurden die für das Bezugsjahr 2005 in 10 Verursacherguppen vorliegenden Daten aus dem EMEP-Programm (CEIP, Centre on Emission Inventories and Projections, www.ceip.at) verwendet. Für die europäische Skala erfolgte eine direkte Umsetzung der Daten in das RCG-Raster, für die regionale Skala eine Disaggregation mit Hilfe hoch aufgelöster Bevölkerungsdaten (<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/>). In der regionalen und der urbanen Skala wurden innerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets die in Abschnitt 4.2 beschriebenen Emissionsdaten verwendet.

Die für PM₁₀ vorhandenen Emissionsmengen des Kfz-Verkehrs bezogen sich ausschließlich auf die von Dieselfahrzeugen über den Auspuff emittierten Partikel. Angaben zum Beitrag des Reifen- und Bremsabriebs sowie der Staubaufwirbelung zu den Kfz-bedingten PM₁₀-Emissionen lagen nicht vor. Nach den Untersuchungen von DÜRING, I.; LOHMEYER, A. (2004) erklären die PM₁₀-Auspuffemissionen aber nur circa 50 % der gemessenen Verkehrs-Zusatzbelastung. Zur Berücksichtigung der Nicht-

Auspuff-Emissionen wurden daher die PM10-Emissionen für den Verkehr in allen RCG-Rechnungen verdoppelt.

5.1.4 Meteorologische Felder

Die meteorologischen Eingangsdaten für alle Skalen wurden erstellt aus:

- Radiosonden- und Pilotmeldungen der synoptischen Aerologiestationen,
- stündlichen und dreistündlichen Beobachtungen aus dem synoptischen Beobachtungsnetz.

Ausgangspunkt der Erstellung der meteorologischen Daten für das Untersuchungsgebiet Rhein-Main war, wie bei der Erstellung der meteorologischen Eingangsdaten für die großräumige Modellanwendung, die Analyse des an der FU Berlin entwickelten diagnostischen Analysesystems TRAMPER (Tropospheric Realtime Applied Procedures for Environmental Research, REIMER, E. AND B. SCHERER, 1992; KERSCHBAUMER, A.; REIMER, E., 2003). Das angewandte Analyseverfahren besteht im Kern aus einer statistischen Interpolation (Optimum Interpolation) beobachteter und abgeleiteter Feldgrößen auf isentropen Flächen am Gitterpunkt und einem physikalischen Abgleich der Felder mittels Variationsrechnung.

Die dreidimensional analysierten Variablen sind:

- Montgomery-Potential $M = c_p T + gH$,
- Druck (Temperatur) $p^k = (p/1000)^{2/7}$,
- lokale Stabilität $Mp^k / M\Theta$,
- Windvektorkomponenten,
- vertikale Windscherung,
- relative Feuchte,

die auf 24 isentropen Flächen und einer Bodenfläche (Sigma-Koordinate) dargestellt werden.

Zweidimensional werden dargestellt:

- Bewölkung und Wetter aus Bodenbeobachtungen,
- Potentielle Temperatur in 2 m Höhe,
- Bodendrucktendenz (dreistündlich),
- Inversionshöhen aus Radiosonden.

Das Schema ist als skalenabhängiges Korrekturverfahren aufgebaut und verwendet großräumige Analysen oder Vorhersagefelder als Ausgangspunkt. Der Verfahrensablauf gliedert sich auf in folgende Schritte:

- Analysen der Boden- und Radiosondenbeobachtungen,
- zeitliche Interpolation auf stündliche Zwischentermine,
- Berechnung der Grenzschichtvariablen.

In die Analyse sind die räumliche und zeitliche Erfassung der Temperaturinversionen und ihrer Mächtigkeit sowie die horizontale Interpolation von Niederschlag, Bedeckungsgrad, Wolkentyp usw. eingebunden. Nach der dreidimensionalen Analyse werden die Grenzschichtvariablen und, unter Berücksichtigung der beobachteten Temperaturinversionen, der tägliche Verlauf der Mischungshöhe berechnet. Die Parameter am

Boden sind auf einer dem Terrain folgenden Koordinatenfläche definiert und werden auf die Modelltopographie abgestimmt.

Das Ergebnis der Analyse sind dreidimensionale Felder von Windkomponenten, Temperatur und Feuchte, zweidimensionale Felder der meteorologischen Bodenbeobachtungen und der Grenzschichtparameter einschließlich Mischungshöhen sowie eine dreidimensionale Inversionsdarstellung im gesamten Modellgebiet.

Für die kleinräumigen Analysen werden charakteristische orographische Effekte des untersuchten Gebietes in die 3-dimensionale Strömung integriert, insbesondere Hangwinde und Barriereneffekte. Dabei werden mit Hilfe von Strömungsadaptationsalgorithmen alle Windfelder im orographisch gegliederten Gelände angepasst. Gegenüber einem prognostisch-numerischen Modellierungsansatz hat die diagnostische Methode des TRAMPER-Systems den Vorteil, dass sie sich wesentlich auf vorhandene meteorologische Messungen stützt und daher eine unmittelbare Diskussion lokaler Wetterphänomene in Verbindung mit den Immissionsmessungen erlaubt.

Pro Tag wurden zusammenhängend 24 Analysen ausgeführt. Die Ausgangsfelder wurden aus der großräumigen Analyse erstellt und im feinen Gitter mit den vorhandenen Daten korrigiert. Dabei wurden alle isentropen Flächen neu angepasst, um eine optimale vertikale Auflösung der Felder in dem kleinen Gebiet zu erhalten.

Die Grenzschichtgrößen wurden in stündlicher Folge berechnet, wobei die Topographie in der Bestrahlung beachtet wurde. Die Mischungshöhe wurde in diesem Zusammenhang einer speziellen Glättung unterzogen, um im Gegensatz zur sehr detaillierten Topographie und Landnutzung eine generalisiertere Grenzschichthöhe zu erhalten, die kleinere Täler nicht zu stark berücksichtigt.

Das diagnostische Strömungsmodul arbeitet in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird das mittlere Strömungsgrundfeld der Modellregion erzeugt und an das thermodynamisch und topographisch bedingte Strömungsverhalten adaptiert. Im zweiten Schritt werden Stationsmessdaten mit räumlich begrenzter Wichtung in das Grundfeld integriert und die vertikale Geschwindigkeitskomponente physikalisch adaptiert. Das endgültige Strömungsfeld wird mittels einem iterativem Verfahren zur Massenerhaltung gezwungen. Zwischenprodukte der verschiedenen Prozessphasen werden mittels Drei- oder Fünfpunktefilter geglättet.

5.1.5 Ausbreitungsrechnungen

Es wurden folgende Ausbreitungsrechnungen mit dem RCG-Modell durchgeführt:

- Basislauf 2005 europäische Skala,
- Basislauf 2005 regionale Skala Hessen und umgebende Bundesländer,
- Basislauf 2005 urbane Skala Rhein-Main,
- Szenariolauf: Keine Emissionen der Quellgruppe Industrie im Untersuchungsgebiet (urbane Skala),
- Szenariolauf: Keine Emissionen der Quellgruppe Gebäudeheizung im Untersuchungsgebiet (urbane Skala),
- Szenariolauf: Keine Emissionen der Quellgruppe Kfz-Verkehr im Untersuchungsgebiet (urbane Skala),
- Szenariolauf: Geplante Großvorhaben im Untersuchungsgebiet (urbane Skala).

Jeder Rechenlauf umfasste das ganze Jahr 2005 in stündlicher Auflösung. Die Ergebnisse des Europalaufes dienten als Randbedingung für den regionalen Lauf und dessen Ergebnisse als Randbedingung für den urbanen Lauf. Die Vorbelastung für die CPB-Straßenraumberechnungen sowie alle von CPB benötigten meteorologischen Parameter wurden in stündlicher Auflösung aus dem urbanen RCG-Lauf extrahiert.

5.1.6 Flächenhafte Darstellung

RCG berechnet Konzentrationen auf einem regelmäßigen Gitter in einem geographischen Koordinatensystem und liefert je einen Wert pro Gitterzellenmitte pro Zeitschritt bzw. als Jahresmittelwert. Zur flächenhaften Darstellung dieser Daten im in Hessen üblichen Gauß-Krüger-3-Streifen wurden die RCG-Ergebnisse zunächst in das Gauß-Krüger-3-Koordinatensystem projiziert. Dabei entsteht ein unregelmäßiges Punktgitter, bei dem die Abstände zwischen den Punkten nicht überall gleich sind und Verbindungslinien zwischen benachbarten Punkten nicht parallel zur kartesischen West-Ost- bzw. Nord-Süd-Richtung verlaufen.

Für eine flächenhafte Darstellung ist prinzipiell die Verknüpfung dieser projizierten RCG-Gitterpunkte mit einem regelmäßigen Raster im Gauß-Krüger-3-Streifen möglich. Eine solche Zuordnung ist aufgrund der Projektion aber nicht immer eindeutig möglich, und es kommt dabei zu Verschiebungen in der Immissionsstruktur, was in Abbildung 5-4 verdeutlicht wird.

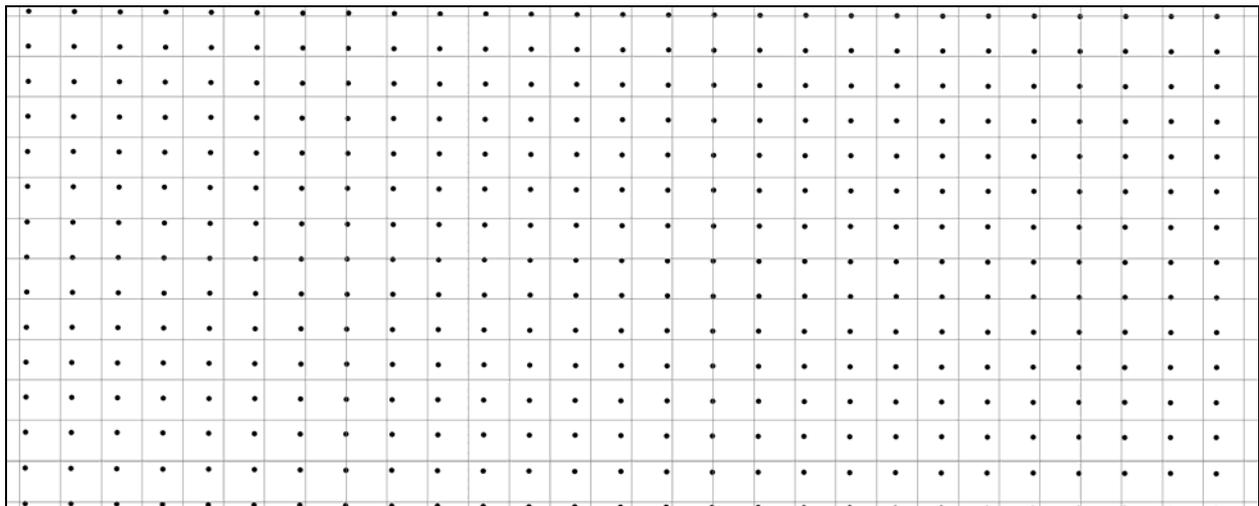


Abbildung 5-4: Versatz der nach Gauß-Krüger-3 projizierten RCG-Gitterpunkte der urbanen Skala gegenüber einem regelmäßigen 1.1-km²-Raster im Gauß-Krüger-3-System.

Um diese Effekte zu verhindern und die Immissionsstruktur möglichst genau in das Gauß-Krüger-3-Koordinatensystem zu übertragen, wurden die projizierten RCG-Gitterpunkte für den Bereich des urbanen RCG-Gebiets mit einem inversdistanzgewichteten Interpolationsverfahren (IDW) in ein regelmäßiges 250 m-Raster übertragen. Diese Werte sind in den Vorbelastungskarten in Abschnitt 6 dargestellt.

Die absoluten und relativen Veränderungen durch die vier geplanten Großvorhaben und die relativen Beiträge der Quellgruppen Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr wurden zunächst auf Basis der RCG-Gitterpunkte berechnet und dann die jeweiligen Ergebnisse interpoliert.

5.2 Berechnung der Zusatz- und Gesamtbelastung mit dem CPB-Modell

5.2.1 Modellbeschreibung

Mit dem Ausbreitungsmodell CPB (Canyon Plume Box, YAMARTINO, R. J.; WIEGAND, G., 1986) können die verkehrsbedingten Luftschadstoffimmissionen in einem Straßenraum auf der Basis von leicht zugänglichen Messgrößen berechnet werden. Das Modell beruht auf physikalischen Prinzipien und wurde hinreichend an gemessenen Immissionsdaten überprüft (IVU, 1996).

CPB kann einen weiten Bereich von Schluchtgeometrien behandeln, wie etwa unterschiedliche Bebauungshöhen auf beiden Seiten oder teildurchlässige, „poröse“ Bebauung (z. B. offene Parkhäuser). Das Modell besteht im Wesentlichen aus drei Teilen:

- einem Strömungsmodul, das die für den Transport der Schadstoffe im Straßenraum benötigten Windfelder bereitstellt,
- einem empirischen Turbulenzmodul, das die für die turbulente Ausbreitung der Schadstoffe im Straßenraum benötigten Größen bereitstellt und
- einem Ausbreitungsmodul, das aus einem Dispersionsmodell für Anströmung quer zur Straße und einem Modell für straßenparallele Anströmung besteht. Kriterium für das interne Umschalten zwischen beiden Modellen ist die Turbulenzintensität am Boden der Straßenschlucht.

Das Ausbreitungsmodul ist der Kern des CPB-Modells. Es setzt sich seinerseits aus einer Reihe von Untermodellen zusammen, die die Berücksichtigung von verschiedenen, die Schadstoffdispersion beeinflussenden Mechanismen erlauben.

Diese Mechanismen sind im Einzelnen:

- anfängliche, fahrzeuginduzierte Durchmischung
- Dispersion der Schadstoffwolke entlang des Wirbels
- Rezirkulation der Schadstoffe
- Frischlufteinfall nahe der Luvwand zur Berücksichtigung der advektiven Belüftung des Straßenraums
- Korrekturen für Diffusion mit dem Wind
- Reflektion der Schadstoffe an den Schluchtwänden
- Mäandern der Windrichtung

CPB ist ein Straßenraum-Ausbreitungsmodell, das umfangreich validiert wurde und bereits in IVU UMWELT (2004) zum Einsatz kam. Es enthält das Photochemie-Modul PCE, das es erlaubt, direkt NO₂-Immissionen zu berechnen.

Die Emissionen des Straßenverkehrs wurden mit dem Modell IMMIS^{em} 4.0 (IVU UMWELT, 2008) berechnet. Das Modell basiert auf dem „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1 (HBEFA) des Umweltbundesamts (INFRAS, 2004) und berechnet zusätzlich die nicht-motorbedingten PM₁₀-Emissionen gemäß DÜRING, I.; LOHMEYER, A. (2004). Der Stauanteil wurde mittels des internen Staumodells bestimmt.

5.2.2 Photochemisches Modul PCE zur NO₂-Bestimmung im Straßenraum

Folgende drei Reaktionsgleichungen zur Umwandlung von NO₂ laufen im Wesentlichen im Straßenraum ab:

R1: Photolyse des NO₂ in NO und Sauerstoffatom (O) bei Strahlung mit Wellenlänge < 410 µm

R2: Rekombination von Sauerstoffatom (O) mit O₂ zu O₃

R3: Ozonabbau durch NO in NO₂ und O₂

In der für die Ausbreitung im Straßenraum relevanten Zeitskala sind dies die entscheidenden Reaktionen, da sie unter den meisten Bedingungen um Größenordnungen schneller ablaufen als konkurrierende Reaktionen, an denen NO, NO₂ oder O₃ beteiligt sind.

Als Folge der oben dargestellten drei Prozesse stellt sich in kürzester Zeit ein photostationäres Gleichgewicht ein, das durch die Gleichgewichtsbeziehungen in Gleichung 1 beschrieben wird: Volumenkonzentrationen (z. B. ppb) sind im Folgenden durch eckige Klammern gekennzeichnet.

$$\frac{[O_3] \cdot [NO]}{[NO_2]} = \frac{k_1}{k_3} \quad \text{Gleichung 1}$$

Mit $k_1 = \text{NO}_2\text{-Photolysefrequenz}$

$k_3 = \text{Reaktionskonstante für Reaktion R3}$

Wenn man diese Beziehung auf Straßenräume mit den stündlichen Messungen anwenden will, muss man folgende Probleme lösen:

- Die Beziehung der Gleichung 1 gilt nur am Tage und ist nur für momentane und nicht für zeitlich gemittelte Konzentrationswerte von NO, NO₂ und O₃ gültig. Daher kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die Stundenmesswerte der Konzentrationen die Gleichgewichtsbeziehung exakt erfüllen, selbst wenn man annimmt, dass außer dem oben beschriebenen Reaktionszyklus keine anderen Reaktionen die Konzentrationen von NO, NO₂ und O₃ bestimmen.
- Die Photolysefrequenz innerhalb von Straßenschluchten ist im Allgemeinen nicht bekannt.

Deshalb wird die Gleichgewichtsbeziehung anstatt über das Verhältnis der Reaktionskonstanten k_1 und k_3 über eine empirische Größe "PCE" (Photo-Chemical Equilibrium) definiert, die aus den Überdach-Konzentrationen $[NO]^R$, $[NO_2]^R$ und $[O_3]^R$ in Volumenkonzentrationen bestimmt wird (Superscript "R" für Rooftop, Überdach-Konzentrationen):

$$\frac{k_1}{k_3} := \text{PCE} = \frac{[O_3]^R \cdot [NO]^R}{[NO_2]^R} \quad \text{Gleichung 2}$$

Das CPB-Modell wurde ursprünglich für die Modellierung der Konzentrationsverteilung nicht-reaktiver Schadstoffe konzipiert (YAMARTINO, R. J.; WIEGAND, G., 1986). Da aber unter lufthygienischen Gesichtspunkten insbesondere der Schadstoff NO₂ eine wichtige Rolle spielt, wurde zusätzlich ein dem CPB nachgeschaltetes Modul entwickelt, das aus berechneten NO_x-Konzentrationen, als Summe aus NO und NO₂, und Überdach-Konzentrationen von NO, NO₂ und O₃ eine Abschätzung der NO₂-Konzentrationen in der Straßenraum erlaubt.

In den Modellgleichungen werden folgende Notationen eingesetzt:

T	Total im Straßenraum
B	Background (Hintergrund)
R	Rooftop (Überdach)
V	Vehicle (direkt durch den Kfz-Verkehr emittiert)
P	Photochemisch gebildet
A	Additional (Zusatzkonzentration im Straßenraum)
f _E	Emissionsanteil NO ₂ -Direktemissionen an NO _x -Emissionen durch den Kfz-Verkehr

Die NO₂-Konzentration im Straßenraum setzt sich zusammen aus der Überdach-Konzentration [NO₂]^R, dem direkt von den Fahrzeugen emittierten Anteil [NO₂]^V und dem durch chemische Umwandlungen produzierten NO₂-Anteil [NO₂]^P:

$$[\text{NO}_2]^T = [\text{NO}_2]^R + [\text{NO}_2]^V + [\text{NO}_2]^P \quad \text{Gleichung 3}$$

Der direkt emittierte NO₂-Anteil kann aus der mit dem CPB-Modell berechneten NO_x-Konzentration bestimmt werden, wobei f_E den Anteil des direkt emittierten NO₂ angibt:

$$[\text{NO}_2]^V = f_E * [\text{NO}_x]^A \quad \text{Gleichung 4}$$

Die NO-Konzentration ergibt sich dann aus:

$$[\text{NO}]^V = (1 - f_E) * [\text{NO}_x]^A \quad \text{Gleichung 5}$$

Es muss nun noch der durch chemische Reaktionen aus NO erzeugte NO₂-Anteil [NO₂]^P bestimmt werden. Unter den Voraussetzungen, dass die im Straßenraum ablaufenden chemischen Reaktionen durch die oben aufgeführten Reaktionszyklen beschrieben werden können und dass die aus den Überdach-Konzentrationen abgeleitete Gleichgewichtsbeziehung zwischen NO, NO₂ und O₃ auch innerhalb des Straßenraums gilt, lassen sich die Konzentrationen (Superscript „T“ für Total“) durch folgende Ausdrücke beschreiben:

$$\begin{aligned} [\text{NO}_2]^T &= [\text{NO}_2]^R + [\text{NO}_2]^V + [\text{NO}_2]^P \\ [\text{NO}]^T &= [\text{NO}]^R + [\text{NO}]^V - [\text{NO}_2]^P \\ [\text{O}_3]^T &= [\text{O}_3]^R - [\text{NO}_2]^P \end{aligned} \quad \text{Gleichungen 6}$$

Die Produktion eines NO₂-Moleküls geht also Hand in Hand mit der Vernichtung eines NO- und eines O₃-Moleküls.

Die Gleichungen 6 in Gleichung 1 eingesetzt ergibt:

$$\frac{([\text{O}_3]^R - [\text{NO}_2]^P) * ([\text{NO}]^R + [\text{NO}]^V - [\text{NO}_2]^P)}{[\text{NO}_2]^R + [\text{NO}_2]^V + [\text{NO}_2]^P} = \text{PCE}$$

Gleichung 7

Mit einer Lösung: $[\text{NO}_2]^P = \frac{b}{2} - \sqrt{\frac{b^2}{4} - c}$ Gleichung 8

mit $b = [\text{NO}]^R + [\text{O}_3]^R + \text{PCE} + [\text{NO}]^V$

und $c = [\text{O}_3]^R * [\text{NO}]^V - \text{PCE} \cdot [\text{NO}_2]^V$.

Für $c > 0$ (viel NO) ist $[\text{NO}_2]^P$ positiv, es wird also NO_2 produziert. Dies wird in Straßenräumen in der Regel der Fall sein. Ist $c < 0$ (wenig NO), bedeutet dies dagegen, dass sogar NO_2 zerstört werden muss, um die Gleichgewichtsbeziehung zu erfüllen.

Exakterweise gelten die Beziehungen nur unter der Voraussetzung, dass das photochemische Gleichgewicht im Vergleich zur Verweilzeit der Moleküle im Straßenraum schnell erreicht wird. Da dies nicht unbedingt der Fall ist, müsste die chemische Produktion von NO_2 in Abhängigkeit von der Transportzeit der Moleküle behandelt werden. Sensitivitätsanalysen haben aber gezeigt, dass die Modellergebnisse nur unwesentlich von dieser Zeitabhängigkeit beeinflusst werden.

5.2.3 Berechnung der NO_2 -Direktemissionen

Für die Berechnung der NO_2 -Konzentrationen im Straßenraum mit dem PCE-Ansatz ist die Information über den direkten Anteil der NO_2 -Emissionen im Straßenraum erforderlich. Dieser Anteil ist vom Kfz-Typ, von der Kraftstoffart und von der Schadstoffminderungstechnik abhängig. In einer Erweiterung des Berechnungsmodells IMMIS^{em} können getrennt für diese Differenzierungskriterien Anteile von NO_2 an den NO_x -Emissionen des HBEFA angegeben werden

Die verwendeten NO_2 -Anteile je Fahrzeugtyp und Emissionsstufe sind in Tabelle 5-1 dargestellt. Sie wurden in einem FE-Projekt für das LfULG Sachsen (IVU UMWELT, 2009) ermittelt. Für die vorliegende Untersuchung wurden dabei jeweils die Werte aus der Spalte „Mittelwert“ verwendet.

Tabelle 5-1: NO₂-Anteil am NO_x-Abgas nach IVU Umwelt (2009)

Fahrzeuggruppe		NO ₂ /NO _x			
		best case	Mittelwert	worst case	
PKW	Benzin	EURO 1 und früher	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 2	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 3	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 4	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 5	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 6	5.0 %	5.0 %	5.0%
	Diesel	EURO 1 und früher	10.0 %	15.0 %	20.0%
		EURO 2	10.0 %	15.0 %	20.0%
		EURO 3	25.0 %	32.5 %	40.0%
		EURO 4	35.0 %	42.5 %	50.0%
		EURO 5	35.0 %	37.0 %	39.0%
		EURO 6	5.0 %	12.5 %	20.0%
leichte Nutzfahrzeuge (bis 3,5 t zul. Gesamtmasse)	Benzin	EURO 1 und früher	5.0 %	5.0 %	5.0%
		EURO 2	5.0 %	10.0 %	15.0%
		EURO 3	5.0 %	10.0 %	15.0%
		EURO 4	5.0 %	10.0 %	15.0%
		EURO 5	-	-	-
		EURO 6	-	-	-
	Diesel	EURO 1 und früher	10.0 %	15.0 %	20.0%
		EURO 2	10.0 %	15.0 %	20.0%
		EURO 3	25.0 %	35.0 %	45.0%
		EURO 4	35.0 %	45.0 %	55.0%
		EURO 5	35.0 %	37.0 %	39.0%
		EURO 6	5.0 %	12.5 %	20.0%
schwere Nutzfahrzeuge (ohne Linienbusse)	EURO I und früher	5.0%	5.0 %	5.0 %	
	EURO II	5.0%	5.0 %	5.0 %	
	EURO III	5.0%	5.0 %	5.0 %	
	EURO IV	15.0%	16.0 %	17.0 %	
	EURO V	8.0%	11.5 %	15.0 %	
	EURO VI	5.0%	7.5 %	10.0 %	
Linienbusse	EURO I und früher	5.0%	5.0 %	5.0 %	
	EURO II	5.0%	5.0 %	5.0 %	
	EURO III	10.0%	10.0 %	10.0 %	
	EURO IV	25.0%	27.5 %	30.0 %	
	EURO V	15.0%	22.5 %	30.0 %	
	EURO VI	10.0%	10.0 %	10.0 %	

5.2.4 Anwendung

Für die Berechnung der Immissionsbelastung an den 30 Aufpunkten in den Straßenräumen wurde IMMIS^{cpb}, eine programmtechnische Umsetzung von CPB, angewendet. Die Vorbelastungen (Überdach-Konzentrationen) der Stoffe PM₁₀, NO, NO₂ sowie die benötigten meteorologischen Eingangsdaten wurden in stündlicher Auflösung aus den Ergebnissen des RCG-Modells bzw. den meteorologischen Feldern entnommen. Dabei wurden für jeden Straßenabschnitt die Werte der RCG-Gitterzelle angesetzt, in der der jeweilige Abschnitt liegt.

Die Berechnungen mit IMMIS^{cpb} basieren auf den vom HLOG bereitgestellten Eingangsdaten entsprechend Tabelle 4-1. Für einige Abschnitte lagen fahrtrichtungsbezogene Verkehrsdaten vor, die in IMMIS^{cpb} berücksichtigt werden können. Diese Differenzierung ist in Tabelle 5-2, die die Tabelle 4-1 ergänzt, aufgeführt. Dabei ist bei allen richtungsgetrenten Parametern mit „1“ jeweils die Fahrtrichtung entsprechend der Straßenabschnittsdefinition aus Tabelle 4-1 bezeichnet und mit „2“ die Gegenrichtung. Bei Abschnitten, wo die Spalte „2“ keine Werte enthält, handelt es sich entweder um eine Einbahnstraße, oder es lagen querschnittsbezogene Daten vor. Alle Verkehrsbelastungen wurden gleichmäßig auf die Spuren der jeweiligen Fahrtrichtung bzw. des Querschnitts verteilt.

Die Lage der einzelnen Fahrspuren wurde über Luftbildauswertungen festgelegt und ist in den Spalten „Spurx“ dokumentiert, wobei jeweils der Abstand der Spurmitte von der Bebauung in Fahrtrichtung links und die Spurbreite angegeben ist.

Für jeden Abschnitt wurden die Konzentrationen an je einem Rezeptorpunkt auf jeder Straßenseite berechnet. Für die Auswertung wurde jeweils der höhere der beiden Werte verwendet. Die Lage der Rezeptoren wurde so festgelegt, dass sie beiderseits der Fahrbahn einen Abstand von einem 1 m zum Fahrbahnrand aufweisen. Damit ist näherungsweise die Mitte des Gehweges repräsentiert. Lagen zwischen Gehweg und Fahrbahn noch Parkflächen, Radwege oder andere Flächen, so wurde dies bei der Berechnung der Rezeptorposition entsprechend berücksichtigt. Die Position der Rezeptoren ist in den Spalten „Rez1“ und „Rez2“ dokumentiert. Für Abschnitte, in denen eine Messstation oder ein Passivsammler vorhanden ist (s. Abschnitt 7.1), wurde für die entsprechende Position ein dritter Rezeptor gemäß der Spalte „Rez3“ als Berechnungspunkt definiert und für den Vergleich mit Messwerten herangezogen.

Tabelle 5-2: Weitere Parameter der 30 Straßenabschnitte. Näheres s. Text.

Nr	Stadt	Straße	DTV		Silkw		Lkw	Bus	Krad	Ausrichtung		Spurweite		Spurlage (Abstand von Bebauung in Fahrtrichtung links; Breite)						Rezeptoren (Abstand; Höhe)		
			1	2	1	2				1	2	1	2	Spur1	Spur2	Spur3	Spur4	Spur5	Spur6	Rez1	Rez2	Rez3
1	Darmstadt	Bleichstr.	18000	-	10	-	10	1	1	78	4	12,40; 2,80	15,20; 2,80	18,00; 2,80	20,80; 2,80	5;1,5	23,2;1,5	1				
2	Darmstadt	Heinrichstr.	24500	-	2,3	-	3	1	1	78	2	7,50; 3,00	10,50; 3,00	13,50; 3,00	4;1,5	16;1,5	2					
3	Darmstadt	Hügelstr.	30400	-	3,8	-	4	0,3	1,6	79	3	4,00; 3,00	7,00; 3,00	10,00; 3,00	0,5;1,5	13,5;1,5	3					
4	Darmstadt	Kasinostr.	34000	-	0,7	-	3	1	1	169	2	4,00; 3,00	7,00; 3,00	10,00; 3,00	16,00; 3,00	1,5;1,5	21,5;1,5	4				
5	Darmstadt	Rhoering	15800	-	3,2	-	3	1	1	109	1	11,75; 3,50	15,25; 3,50	11,00; 3,00	19,00; 3,00	6,5;1,5	22;1,5	5				
6	Frankfurt	Höhenstr.	22486	14890	3,1	3,8	3	0,2	1	144	2	6,50; 3,00	9,50; 3,00	12,50; 3,00	15,50; 3,00	1;1,5	21;1,5	14				
7	Frankfurt	Friedberger-Landstr.	19398	13728	2,3	2,7	3	0,6	1,4	1	2	8,78; 2,75	11,53; 2,75	14,28; 2,75	17,03; 2,75	3,9;1,5	24,4;1,5	15				
8	Frankfurt	Bleichstr.	19745	-	3	-	1,3	0,6	1	128	4	7,00; 3,00	10,00; 3,00	13,00; 3,00	16,00; 3,00	3,5;1,5	19,5;1,5	16				
9	Frankfurt	Eschersheimer-Landstr.	11851	15718	2,2	1,8	3,4	0,4	1	157	2	7,25; 3,00	10,25; 3,00	13,25; 3,00	16,25; 3,00	2,25;1,5	24,25;1,5	17				
10	Frankfurt	Hochstr.	16553	-	2,3	-	3,2	0,1	1	50	3	2,00; 3,00	5,00; 3,00	8,00; 3,00	0,3;1,5	11,5;1,5	18					
11	Frankfurt	Mainzer-Landstr.	29287	17915	2	2	1,2	0,1	1	59	2	9,00; 3,00	12,00; 3,00	18,00; 3,00	21,00; 3,00	3,8;1,5	26,2;1,5	19				
12	Frankfurt	Taunusstr.	11690	-	3	-	3	0,6	1	61	3	5,50; 3,00	8,50; 3,00	11,50; 3,00	0,5;1,5	16,5;1,5	20					
13	Frankfurt	Schweizerstr.	11409	5279	1,9	1,4	4,2	1	1	151	2	6,50; 3,00	9,50; 3,00	12,50; 3,00	15,50; 3,00	1,5;1,5	23,5;1,5	21				
14	Frankfurt	Sindlinger Bahnstr.	3236	3362	6	5	3,3	2,2	1	164	1	5,00; 3,00	8,00; 3,00	11,00; 3,00	14,00; 3,00	2,5;1,5	29;1,5	22				
15	Frankfurt	Bockenheimer-Landstr.	11360	10443	3,2	3,5	3	1,3	1	95	3	9,50; 3,00	12,50; 3,00	15,50; 3,00	24,50; 3,00	1,5;1,5	23,5;1,5	23				
16	Frankfurt	Königsteiner Str.	6109	3770	4,6	1,9	3	5,9	1	144	1	9,00; 4,00	13,00; 4,00	17,00; 4,00	21,00; 4,00	1,5;1,5	20,5;1,5	24				
17	Frankfurt	Alte Falterstr.	4812	-	3,6	-	5,9	2,7	1	2	1	7,25; 4,50	11,00; 2,50	15,00; 2,50	19,00; 2,50	1,75;1,5	15,75;1,5	25				
18	Frankfurt	Lorscher Str.	6087	8367	2	1	3,1	0,1	1	137	1	7,50; 4,50	10,50; 3,00	14,50; 3,00	18,50; 3,00	2,5;1,5	15,5;1,5	26				
19	Frankfurt	Offenbacher Landstr.	5304	5060	1,6	1,4	5,5	0,1	1	78	1	7,50; 3,00	10,50; 3,00	14,50; 3,00	18,50; 3,00	2,5;1,5	15,5;1,5	27				
20	Hanau	Barbarossastr.	5670	5337	2	3	8	0	1,5	26	1	8,60; 3,40	12,00; 3,40	15,40; 3,40	19,40; 3,40	3,9;1,5	20;1,5	6				
21	Hanau	HanauerVorstadt	12602	-	3	-	14	2	5	167	2	5,00; 3,00	8,00; 3,00	11,00; 3,00	14,00; 3,00	2,5;1,5	10,5;1,5	7				
22	Moerf.-Wallid.	Westendstr.	5000	3400	4,2	3,8	3	0,5	0,7	47	1	3,00; 3,00	6,00; 3,00	9,00; 3,00	12,00; 3,00	0,5;1,5	8,5;1,5	8				
23	Neu-Isenburg	Frankfurter Str.	19000	-	2	-	6	1,7	1,5	0	1	9,00; 4,00	13,00; 4,00	17,00; 4,00	21,00; 4,00	3,5;1,5	16;1,5	9				
24	Offenbach	Bieberer-Str. West	9500	-	3,5	-	2,5	2,4	1	116	1	6,55; 2,70	9,25; 2,70	12,00; 2,70	14,75; 2,70	2,4;1,5	11,6;1,5	10				
25	Offenbach	Mainstr. Ost	25450	-	7	-	5,2	0,8	1	77	2	88,50; 3,00	91,50; 3,00	94,50; 3,00	97,50; 3,00	83;1,5	97;1,5	11				
26	Offenbach	Untere Grenzstr.	28300	-	5	-	5,1	1,7	1	169	2	12,50; 3,00	15,50; 3,00	18,50; 3,00	21,50; 3,00	7,5;1,5	26,5;1,5	12				
27	Offenbach	Waldstr.	18450	-	2	-	3,4	2,4	1	159	2	13,50; 3,00	16,50; 3,00	19,50; 3,00	22,50; 3,00	8;1,5	28;1,5	13				
28	Wiesbaden	Kaiser-Friedrich-Ring	45282	-	3,9	-	3	1	1	116	3	7,50; 3,00	10,50; 3,00	13,50; 3,00	16,50; 3,00	2,5;1,5	39,5;1,5	28				
29	Wiesbaden	Schiersteinerstr.	40992	-	3,6	-	3	1	1	35	2	9,50; 3,00	12,50; 3,00	15,50; 3,00	18,50; 3,00	4,5;1,5	29,5;1,5	29				
30	Wiesbaden	Aarstr.	16362	-	5,6	-	3	1	1	134	2	11,50; 3,00	14,50; 3,00	17,50; 3,00	20,50; 3,00	6,5;1,5	25,5;1,5	30				

1., 2. Richtungsrennung, sofern Daten vorhanden; DTV in [Kfz/d], Kfz-Arten in [%], Ausrichtung in [°], Abstände, Höhen und Breiten in [m], Abstände gemessen von der Bebauung in Fahrtrichtung links

5.2.5 Überschreitungshäufigkeit des PM10-Tagesgrenzwerts

Zur Bestimmung der Anzahl an Tagen mit Überschreitungen des ab 2005 gültigen Tagesgrenzwerts von PM10 wird in IVU UMWELT (2006B) ein Ansatz auf der Basis des Jahresmittelwerts von PM10 aufgezeigt. Eine Darstellung dieser Funktion findet sich in Abbildung 5-5. Bei einem Jahresmittelwert von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird der Grenzwert von 35 Überschreitungen im Jahr erreicht. Eine Minderung des Jahresmittelwerts im Bereich von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ um $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führt zu einer Reduktion um 3 bis 4 Überschreitungstage. Eine Reduktion von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führt zu einer Reduktion um ca. 7 Überschreitungstage.

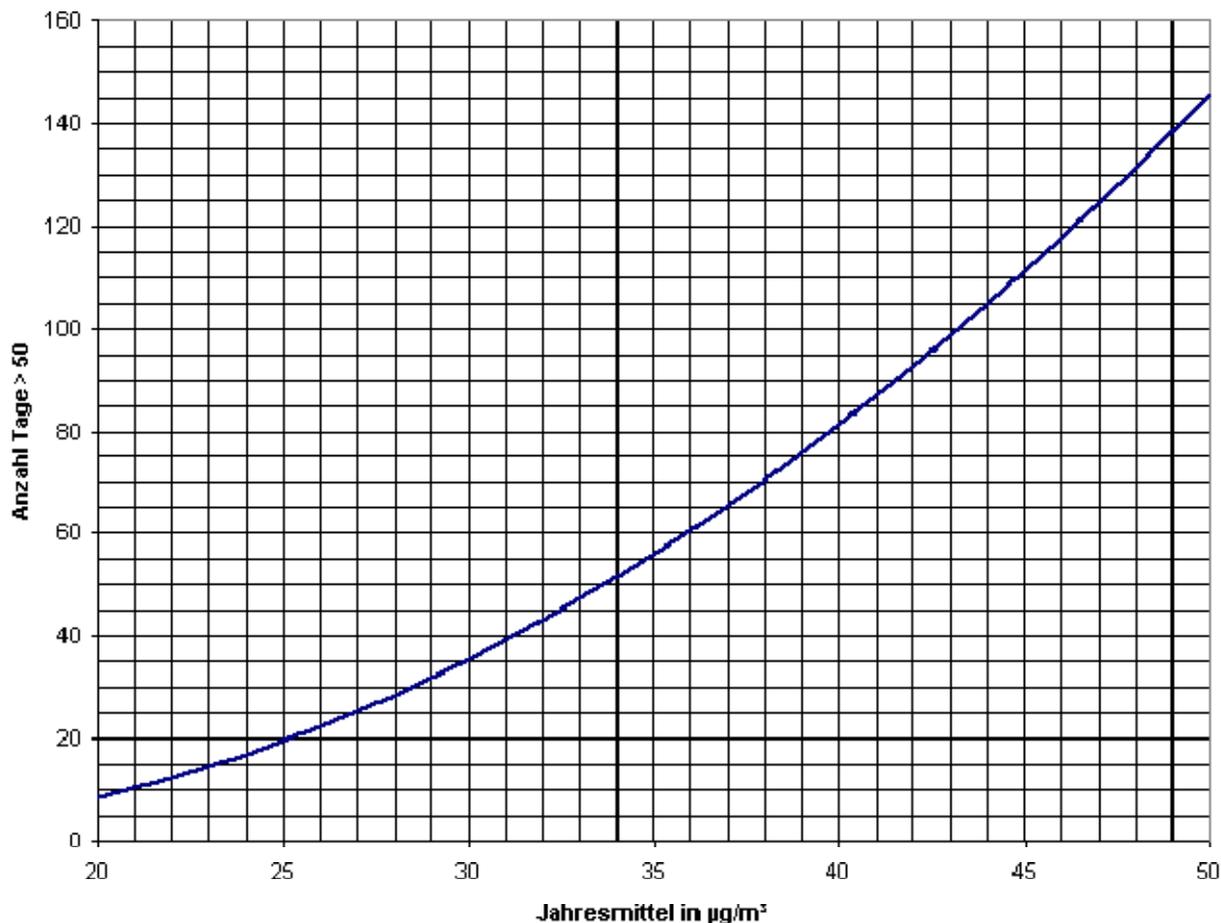


Abbildung 5-5: Statistischer Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert von PM10 und der Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

6 Ergebnisse zur Vorbelastung

Nach der in Kapitel 5.1 beschriebenen Vorgehensweise wurden mit dem RCG-Modell Berechnungen der Vorbelastung für den Basisfall, die Szenarien ohne Emissionen der Quellgruppen Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr als Basis für eine Verursacheranalyse und das Szenario mit den Emissionen der vier geplanten Großvorhaben durchgeführt.

In den folgenden Abschnitten ist die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte kartographisch dargestellt. Die Legendenklassen wurden so gewählt, dass sie in gleichmäßigen Stufen den gesamten Wertebereich abdecken. Lediglich die unterste und oberste Legendenklasse können eine abweichende Intervallgröße aufweisen. Ausnahmen von dieser Darstellungsart gibt es bei den PM₁₀-Karten zu dem Szenario mit den vier Großvorhaben. Dort kommt es durch das Wegfallen einzelner Quellen aufgrund der Umbauten in den Anlagen vereinzelt lokal zu starken Abnahmen, die in größeren Legendenklassen dargestellt sind.

Für den Basisfall wurden die Modelldaten in Abschnitt 6.2 den Messwerten der HLUG-Luftmessstationen im Untersuchungsgebiet, die nicht als verkehrsbezogen klassifiziert sind, gegenübergestellt.

6.1 Basisfall 2005

Die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte ist in Abbildung 6-1 für PM₁₀ und in Abbildung 6-2 für NO₂ kartographisch dargestellt.

Die mit Abstand höchsten PM₁₀-Jahresmittelwerte von circa 35 µg/m³ wurden im Bereich Hanau berechnet. Ursache dafür sind bodennahe Quellen in Form von offenen Lagerstätten. Weitere Gebiete mit hohen PM₁₀-Konzentrationen sind das Frankfurter Stadtgebiet, Wiesbaden, Darmstadt und Limburg.

Hohe NO₂-Jahresmittelwerte wurden vor allem im Rhein-Main-Becken im Großraum Frankfurt und entlang der Achse Wiesbaden-Frankfurt-Hanau berechnet. Spitzenkonzentrationen von über 40 µg/m³ ergaben sich im Bereich des Flughafens Frankfurt, des Frankfurter Kreuzes und des Wiesbadener Kreuzes. Auch entlang der A5, in Darmstadt und Limburg wurden erhöhte NO₂-Konzentrationen berechnet.

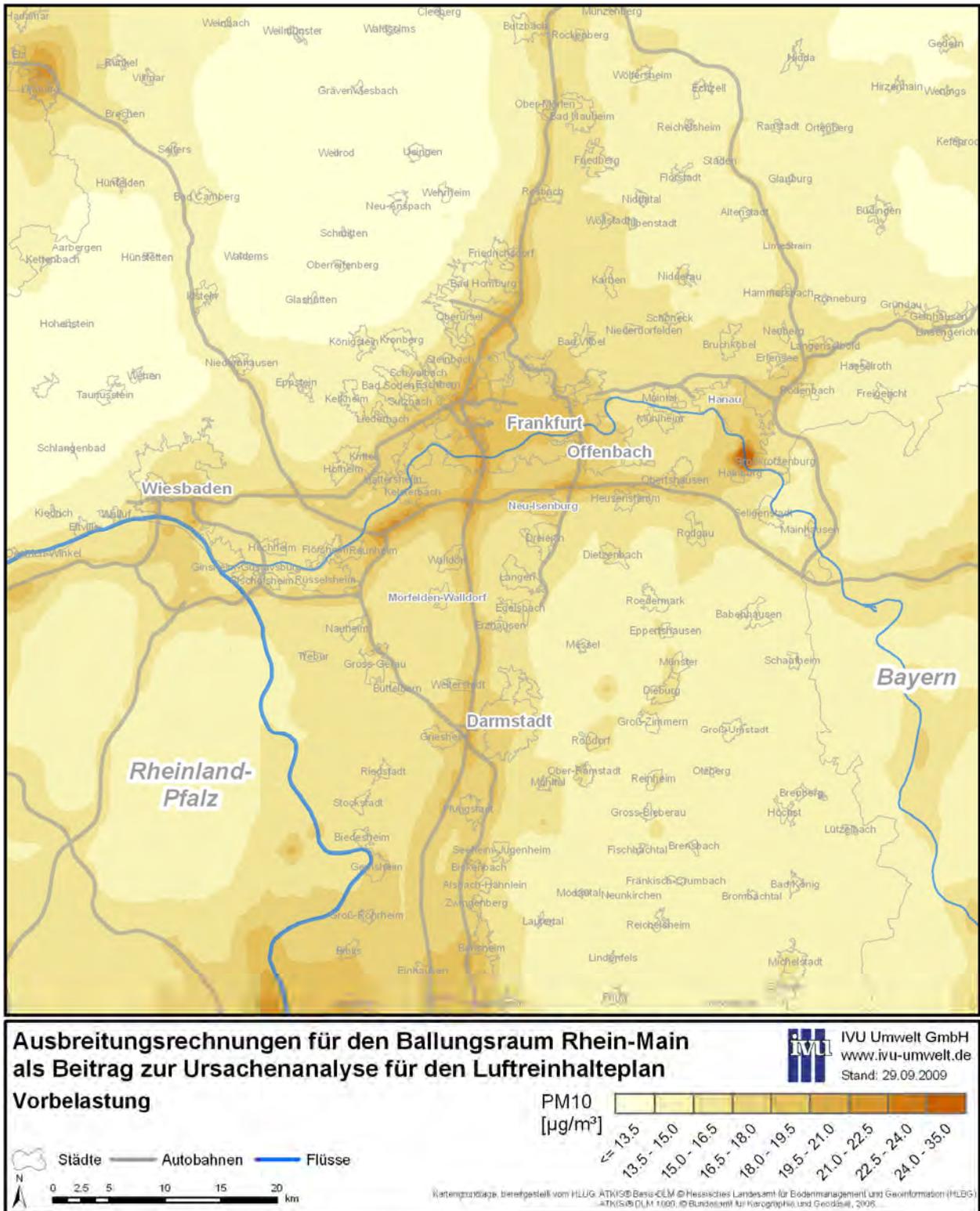


Abbildung 6-1: PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

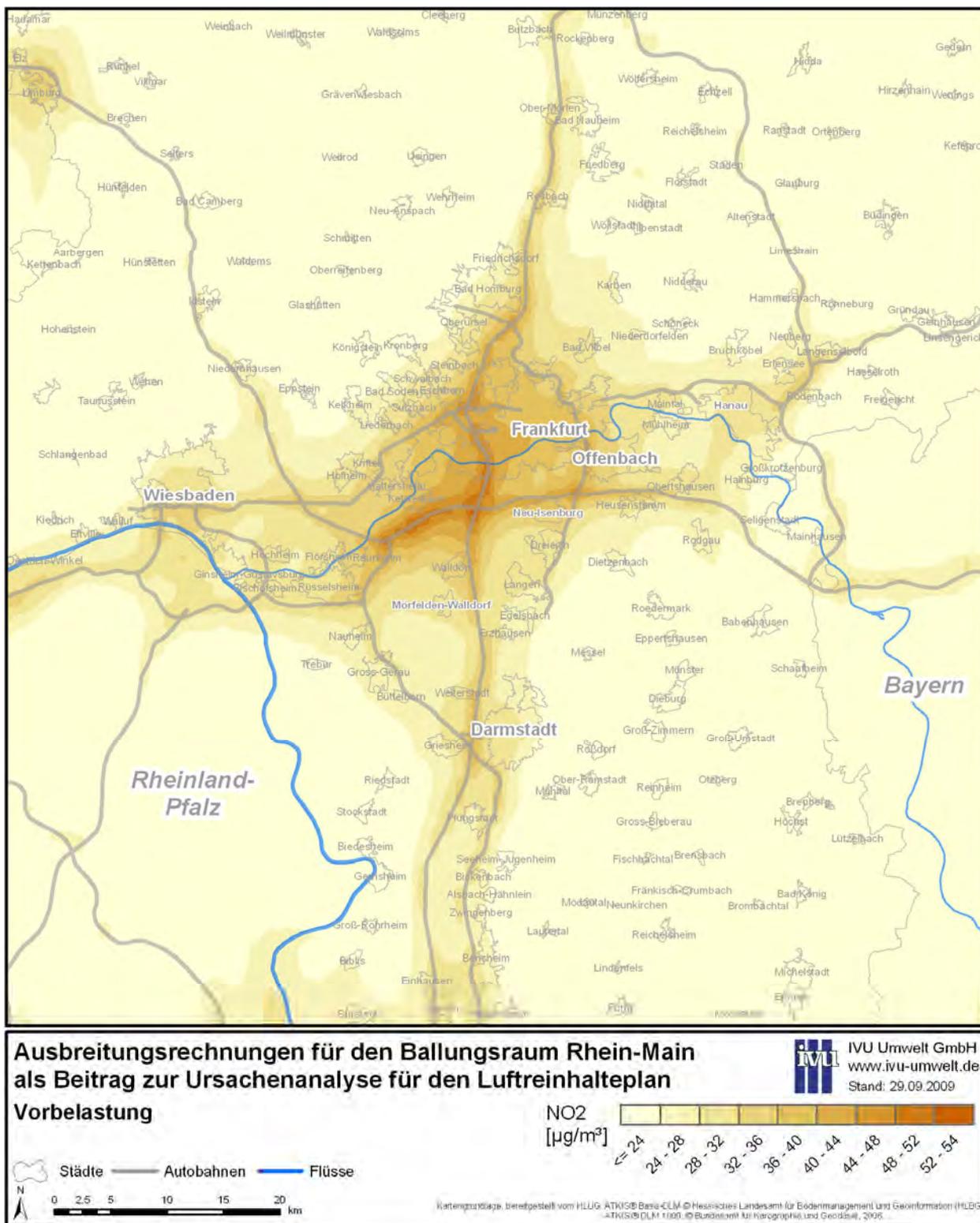


Abbildung 6-2: NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

6.2 Vergleich mit Messwerten

Innerhalb des regionalen RCG-Modellgebiets befinden sich 11 HLUG-Luftmessstationen, die nicht als verkehrsbezogen klassifiziert sind und damit für den Vergleich Messung-Modell herangezogen werden können. Der Vergleich der modellierten Werte mit den gemessenen Werten an diesen Stationen nach HLUG (2006) findet sich in Tabelle 6-1 und ist in Abbildung 6-3 graphisch dargestellt.

Tabelle 6-1: Vergleich von Messwerten 2005 mit der modellierten Vorbelastung

Station	Typ	PM10 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]			NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]		
		Messung	Modell	Abweichung	Messung	Modell	Abweichung
Darmstadt	Innenstadt, Wohnbezirk	24	17.0	-29 %	32	28.8	-10 %
Frankfurt-Höchst	Innenstadt, Industrie	26	17.9	-31 %	45	37.1	-18 %
Frankfurt-Ost	Industrie, verkehrsnah	25	18.0	-28 %	40	36.0	-10 %
Hanau	Innenstadt, verkehrsnah	27	16.8	-38 %	41	30.0	-27 %
Limburg	Innenstadt, Mischgebiet	23	20.2	-12 %	30	34.9	16 %
Michelstadt	Innenstadt, Wohnbezirk	21	15.2	-28 %	22	15.4	-30 %
Raunheim	Innenstadt, Wohnbezirk	23	16.7	-27 %	35	33.0	-6 %
Wiesbaden-Süd	Wohnbezirk, industrienah	24	18.7	-22 %	36	36.2	0 %
Fürth/Odenwald	Wald, Mittelgebirge	16	13.7	-14 %	13	14.4	11 %
Kleiner Feldberg	Mittelgebirge, Kuppe	-	12.9	-	10	14.6	46 %
Riedstadt	ländlich	22	15.9	-28 %	25	21.9	-12 %
Mittelwert (ohne „Kleiner Feldberg“)		23	17.0	-26 %	32	28.8	-9 %

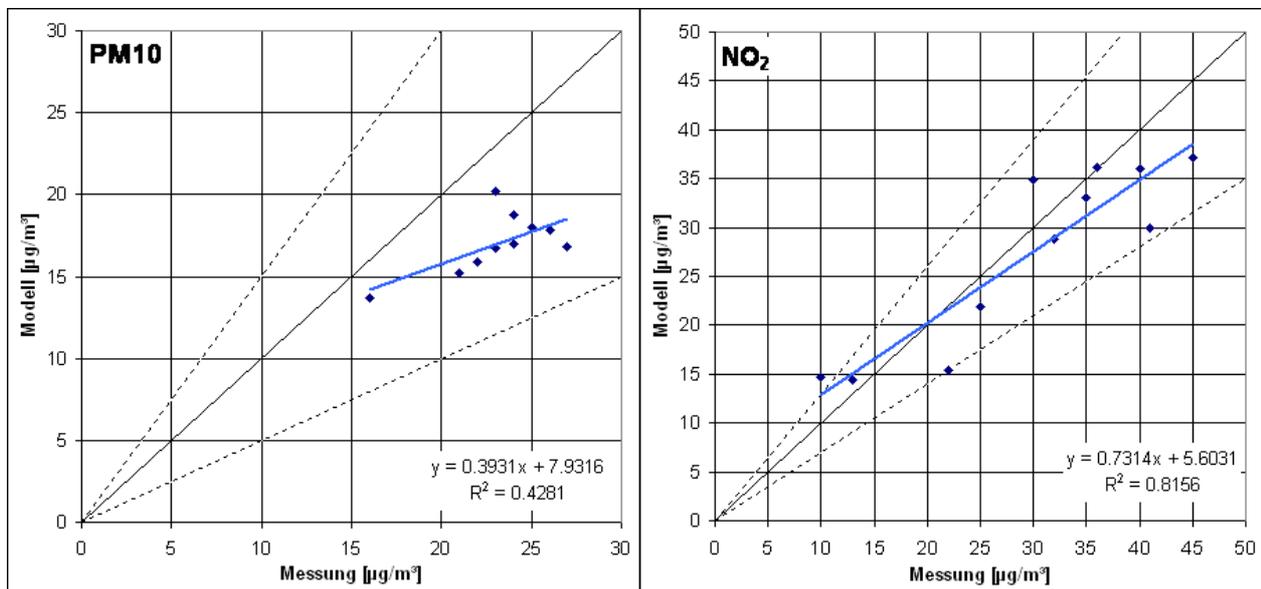


Abbildung 6-3: Vergleich von Messwerten 2005 mit der modellierten Vorbelastung für PM10 (links) und NO₂ (rechts). Dargestellt ist als durchgezogene Linie die Winkelhalbierende, als gestrichelte Linien der Bereich des Datenqualitätsziels für Modellierungen in Höhe von 50 % für PM10 und 30 % für NO₂ nach EU (2008) und als dicke blaue Linie die Regressionsgerade sowie rechts unten die Geradengleichung und das Bestimmtheitsmaß R².

Der Vergleich der modellierten Werte mit den Messwerten zeigt, dass, mit einer Ausnahme, für alle Messstationen das Datenqualitätsziel für Modellierungen entsprechend EU (2008) erreicht wird.

Lediglich der modellierte NO_2 -Wert für die Station „Kleiner Feldberg“ liegt außerhalb dieses Bereichs. Diese Station befindet sich in 810 m Höhe über NN auf der Kuppe eines Berges und liegt damit in Höhenschichten, die von einem Gittermodell in ihren Eigenschaften nicht vollständig erfasst werden können. Das RCG-Modell arbeitet mit geländefolgenden Koordinaten, d. h. die Schichtgrenzen liegen immer parallel zur Topographie. Zum Vergleich mit den Beobachtungen werden dann die Konzentrationen der ersten Modellschicht herangezogen. Bergstationen werden damit von den Luft- und Schadstoffmassen dieser Bodenschicht angeströmt. In der Realität dagegen werden Bergstationen, insbesondere wenn diese sich auf der Kuppe eines Berges befinden, von Luftmassen angeströmt, die keinen direkten Kontakt zum Boden haben und deswegen im Allgemeinen auch geringer mit Schadstoffen belastet sind. Dieser Effekt kann in einem Eulerschen Gittermodell nicht direkt modelliert werden, was dann zu der Überschätzung der Beobachtungen führt.

Für beide Stoffe unterschätzt das Modell im Mittel. Bei PM_{10} beträgt die mittlere Unterschätzung 26 % und bei NO_2 9 % (ohne Berücksichtigung der Station „Kleiner Feldberg“). Prinzipiell entspricht eine Unterschätzung bei einer Modellauflösung von etwa $1 \cdot 1 \text{ km}^2$ den Erwartungen, da in dieser Auflösung lokale Gegebenheiten im direkten Umfeld der Messstationen nicht detailliert abgebildet werden können.

Die höhere systematische Unterschätzung von im Mittel etwa 26 % bei PM_{10} ist ein übliches Phänomen bei der Modellierung der PM_{10} -Vorbelastung. Das ist zum einen darin begründet, dass nicht alle PM_{10} -Quellen mit ihren Emissionen bekannt sind, und auch die Qualität der verfügbaren anthropogenen Partikel-Emissionsdaten geringer ist als diejenige der klassischen Schadstoffe wie z. B. NO_x und SO_2 . Partikelemissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten, windbedingte Staubaufwirbelung von naturbelassenen Böden oder in Stadtgebieten (z. B. aus Baustellentätigkeit oder Wiederaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr) sowie biogene Aerosole sind unvollständig oder gar nicht erfasst, da diese Emissionen zum Teil stark von den meteorologischen Bedingungen und der Beschaffenheit des Untergrundes abhängen. Auch die gasförmigen Primäremissionen, die zu den organischen und anorganischen Sekundäraerosolen führen, stehen nur zum Teil zur Verfügung (z. B. biogen emittierte Isoprene und Terpene, aber auch anthropogen verursachte NH_3 -Emissionen).

Zum anderen sind die physikalisch-chemischen Prozesse, die zur Bildung und dynamischen Entwicklung von Aerosolen führen, wegen der extrem inhomogenen Eigenschaften der Aerosole bzgl. Größe, Masse, Oberfläche und Zusammensetzung nur zum Teil bekannt oder können wegen ihrer Komplexität im Rahmen dreidimensionaler Modellierungen nur vereinfachend behandelt werden.

Ein weiterer Grund für die allgemeine Unterschätzung gravimetrischer PM_{10} -Beobachtungen ist der Wassergehalt der Proben, der bis zu 30% der Gesamtmasse betragen kann (Putaud et al., 2004). Dieser Wassergehalt ist in Modellrechnungen nicht berücksichtigt, da die für das Wiegen der Proben vorgeschriebenen Bedingungen (50% relative Feuchte, 20°C) nicht reproduziert werden können (z. B. Tsyro, 2005).

Die Ergebnisse mehrerer internationaler Modellvergleiche zeigen, dass alle diese Unsicherheiten in den meisten Modellrechnungen mit chemischen Transportmodellen zu einer Unterschätzung der beobachteten PM_{10} -Masse führen (Stern et al., 2008; Sartelet et al., 2007; Vautard et al., 2007; Whyatt et al., 2007).

Einen Vergleich der beobachteten und der berechneten NO₂- und PM₁₀-Tagesmittelwerte zeigt die Abbildung 5-4 für die Station Raunheim. Diese Station liegt nicht im direkten Einflussbereich lokaler Quellen, so dass der Verlauf und das Konzentrationsniveau der Messungen von einem urbanen Modelllauf mit einer Auflösung von circa 1 · 1 km² simuliert werden sollte. Die an dieser Station beobachteten NO₂-Tagesmittelwerte wurden vom RCG-Modell im Jahresverlauf auch gut nachvollzogen. Nahezu alle Perioden stark erhöhter NO₂-Tagesmittelwerte wurden erfasst. Der beobachtete PM₁₀-Konzentrationsverlauf in Raunheim zeigt den für PM₁₀-Messungen typischen Verlauf mit kurzzeitig starken Erhöhungen der Konzentrationen. Das allgemeine Konzentrationsniveau wurde vom Modell auch reproduziert, die an einzelnen Tagen auftretenden hohen Spitzenwerte wurden aber nicht erreicht. Die Nicht-Erfassung der beobachteten Spitzenwerte ist ein generelles Problem der Modellrechnung, das dann auch zu der oben bereits diskutierten Unterschätzung der Jahresmittelwerte führt. Die Auswertung des Tagesgrenzwertkriteriums wird deshalb nicht auf der Basis der modellierten Zeitreihe, sondern mit Hilfe eines statistischen Ansatzes aus den PM₁₀-Jahresmittelwerten abgeleitet (siehe Kapitel 5.2.5).

Um die systematische Unterschätzung der PM₁₀-Vorbelastung in erster Näherung zu korrigieren, wurden bei der Bildung der Gesamtbelastung (Kapitel 6.3) die mit RCG berechneten PM₁₀-Vorbelastungskonzentrationen pauschal um 30 % erhöht. In der Ursachenanalyse wird diese Erhöhung als „unbekannter“ Anteil klassifiziert.

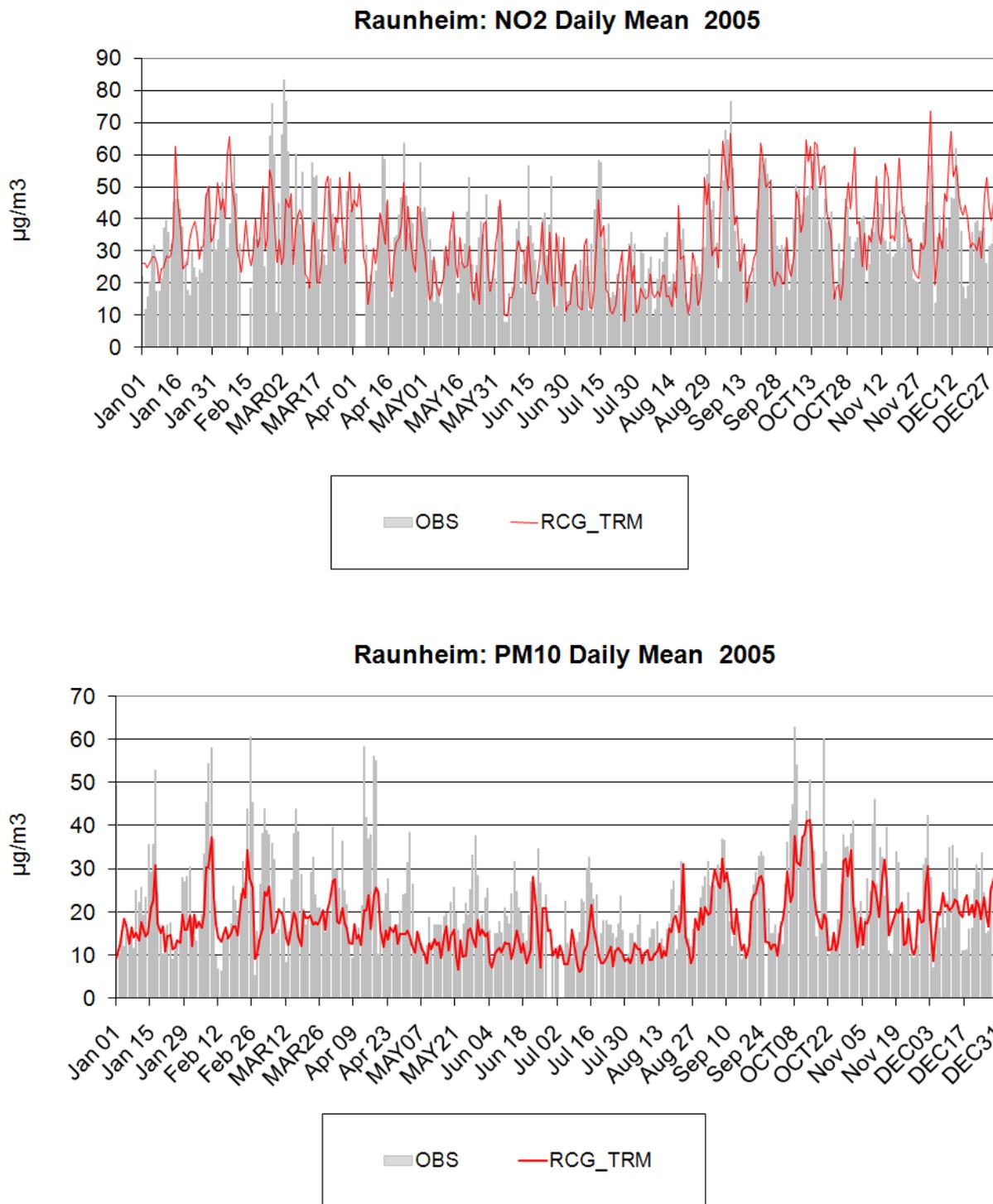


Abbildung 6-4: Berechnete (RCG_TRM) und beobachtete (OBS) Zeitreihen der täglichen Mittelwerte von NO₂ und PM₁₀ in µg/m³ für die Station Raunheim

6.3 Szenarien zur Quellgruppenanalyse

Zur Abschätzung der Beiträge der Quellgruppen Industrie, Gebäudeheizung und Kfz-Verkehr zur Vor- und Gesamtbelastung wurden drei Szenarien berechnet, bei denen im Untersuchungsgebiet alle Emissionen der jeweiligen Verursacherguppe zu Null gesetzt wurden. Die Beiträge der Quellgruppen in diesem Gebiet zur gesamten Vorbelastung ergeben sich dann als Differenzen der Ergebnisse des Basislaufs und der Ergebnisse der jeweiligen Läufe ohne die Emissionen der drei Quellgruppen. Die einzelnen Quellgruppen tragen durch Emissionen außerhalb des Untersuchungsgebiets auch zum Ferntransport in das Untersuchungsgebiet bei und die Anteile der einzelnen Quellgruppen an der gesamten Vorbelastung sind damit streng genommen höher, als die hier ermittelten Beiträge aufgrund von Emissionen im Untersuchungsgebiet.

Es wird darauf hingewiesen, dass der so bestimmte Beitrag nur als Näherung betrachtet werden kann. Hauptursache dafür sind die nichtlinearen Beziehungen zwischen den Vorläuferemissionen und den über eine komplexe Kette chemischer Reaktionen und physikalischer Prozesse entstehenden Folgeprodukten wie NO_2 , O_3 und sekundäre Aerosole, die einen großen Anteil an der Gesamtmasse des PM_{10} haben. Eine Änderung der Zusammensetzung der Emissionen und damit des Gemisches der Vorläuferemissionen führt zu einer Änderung der chemischen Abläufe und damit zu einer Änderung der Konzentrationsbeiträge.

6.3.1 Szenario Industrie

Im Mittel über das Untersuchungsgebiet Rhein-Main entspricht das Industrie-Szenario einer Minderung der PM_{10} -Emissionen um circa 29 % und der NO_x -Emissionen um circa 12 % (Tabelle 4-2)³. Die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte der Vorbelastung, die durch die Quellgruppe Industrie im Untersuchungsgebiet verursacht wird, ist in Abbildung 6-5 für PM_{10} und in Abbildung 6-6 für NO_2 kartographisch dargestellt. Die relativen Anteile der Industrie an der Vorbelastung finden sich für PM_{10} in Abbildung 6-7 und für NO_2 in Abbildung 6-8.

Die größten Beiträge der Industrieemissionen zur PM_{10} -Vorbelastung treten mit bis zu $20.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 58 % im Bereich Hanau/Großkrotzenburg auf. Weitere höher belastete Gebiete finden sich im Bereich Limburg, Wiesbaden und im Südwesten des Untersuchungsgebiets sowie, lokal sehr begrenzt, an weiteren Stellen. Im Mittel liegen die Beiträge im Untersuchungsgebiet bei $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. etwa 4 %. Im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets liegen die Beiträge der Industrie an der Vorbelastung unter $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 9 %. In den durch Industrie stärker belasteten Bereichen werden Anteile von über 20 % in Wiesbaden und über 23 % in Limburg erreicht.

Der Beitrag der Industrieemissionen zur NO_2 -Vorbelastung bewegt sich in der selben Größenordnung wie der PM_{10} -Beitrag, zeigt aber eine deutlich anderer räumliche Verteilung. Die größten Beiträge der Quellgruppe Industrie zur NO_2 -Vorbelastung wurden mit über $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Bereich Limburg im Nordwesten des Untersuchungsgebiet sowie bis zu $11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. etwas über 44 % für den Südosten in Bayern berechnet. Weitere erhöhte Beiträge finden sich in den Bereichen der Städte Wiesbaden, Frankfurt, Friedberg und Hanau. Im Mittel liegen die Beiträge im Untersuchungsgebiet bei $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. etwa 6 %. Im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets liegen die

³ Die Tabelle 4-2 enthält für PM_{10} nur die Auspuffemissionen des Kfz-Verkehrs, die für die Berechnungen zur Berücksichtigung der Nicht-Auspuffemissionen verdoppelt wurden (s. Abschnitt 5.1.3). Damit verändern sich die Anteile der anderen Quellgruppen an den Gesamtemissionen gegenüber Tabelle 4-2.

Beiträge der Industrie an der NO₂-Vorbelastung unter 2.2 µg/m³ bzw. 10 %. In den durch Industrie stärker belasteten Bereichen in Hessen werden Anteile von über 20 % in Wiesbaden und über 25 % in Limburg und Friedberg erreicht.

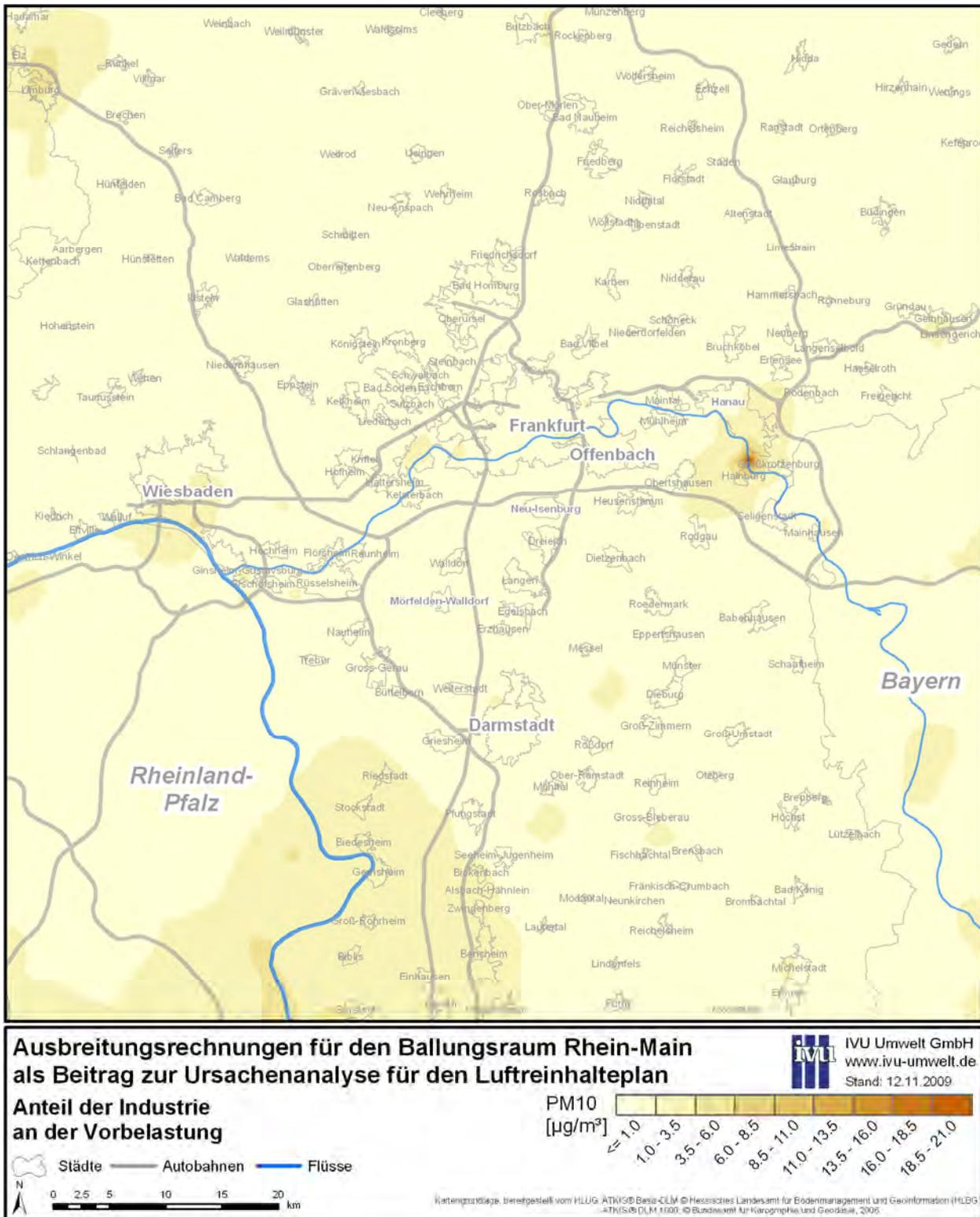


Abbildung 6-5: PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Industrie

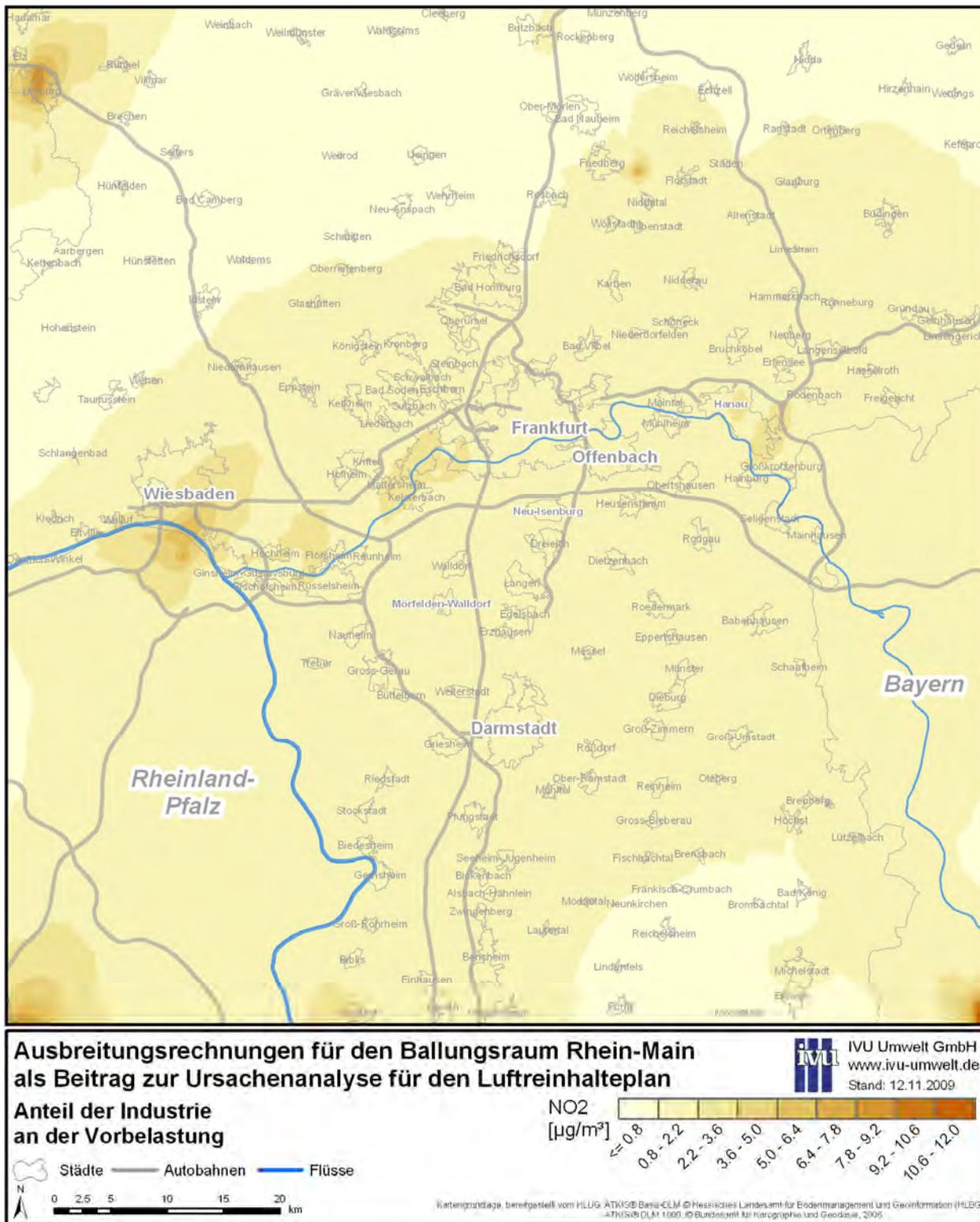


Abbildung 6-6: NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Industrie

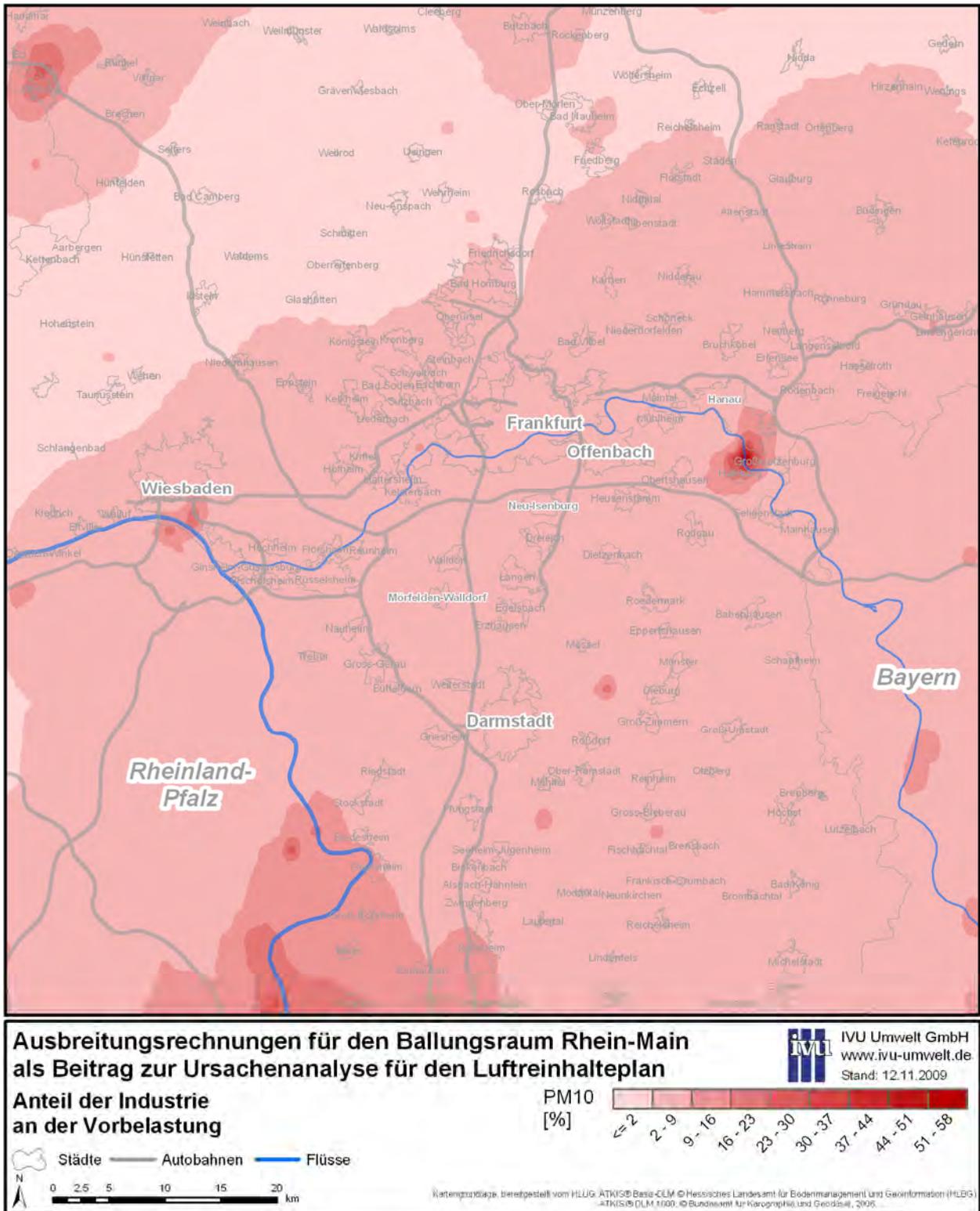


Abbildung 6-7: Relativer Anteil der Industrie an der PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

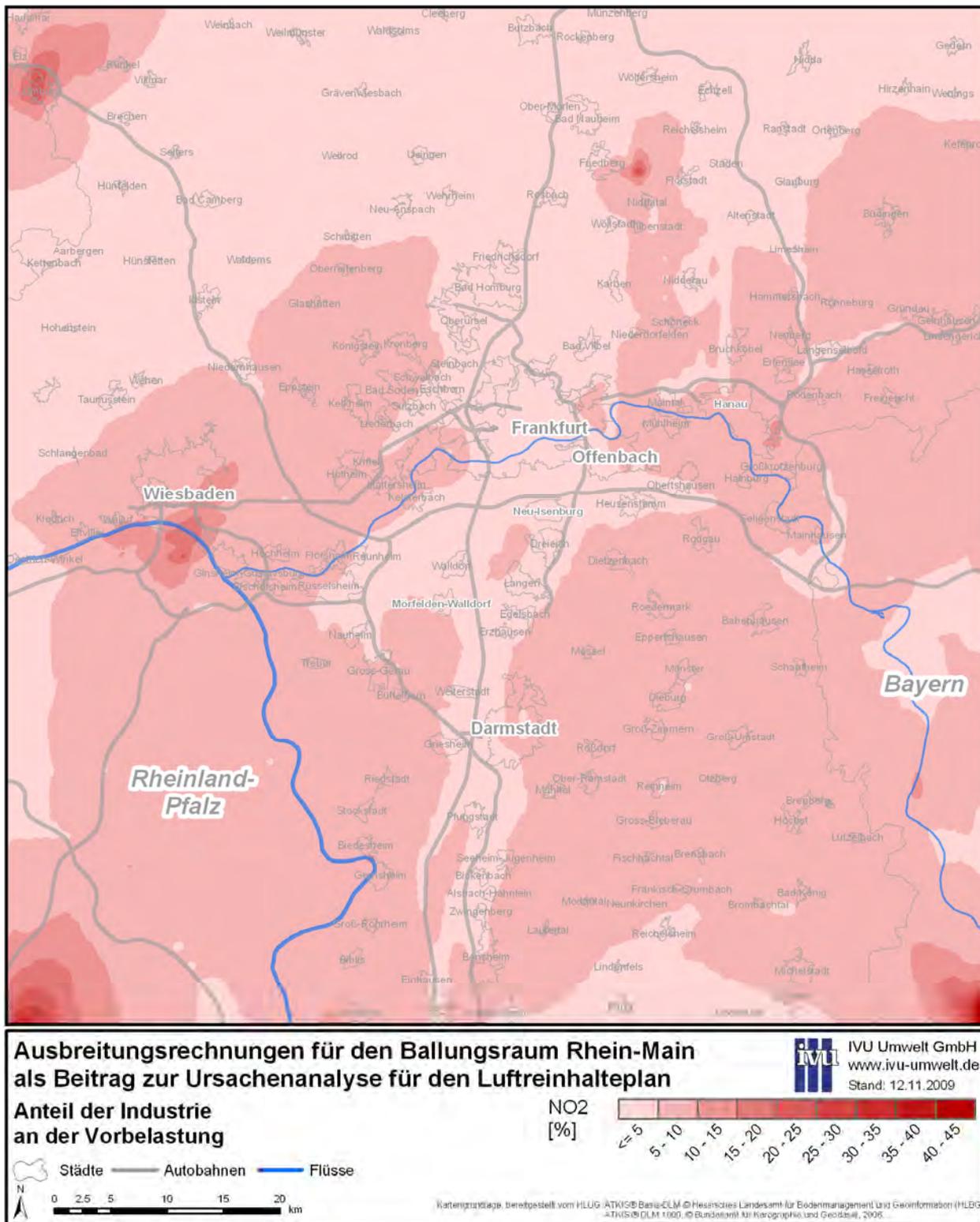


Abbildung 6-8: Relativer Anteil der Industrie an der NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

6.3.2 Szenario Gebäudeheizung

Im Mittel über das Untersuchungsgebiet Rhein-Main entspricht das Gebäudeheizungs-Szenario einer Minderung der PM₁₀- und NO_x-Emissionen um circa 12 % (Tabelle 4-2)⁴. Die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte der Vorbelastung, die durch den Gebäudeheizung im Untersuchungsgebiet verursacht wird, ist in Abbildung 6-9 für PM₁₀ und in Abbildung 6-10 für NO₂ kartographisch dargestellt. Die relativen Anteile der Gebäudeheizung an der Vorbelastung finden sich für PM₁₀ in Abbildung 6-11 und für NO₂ in Abbildung 6-12.

Der Beitrag der Gebäudeheizung zur PM₁₀-Vorbelastung liegt im Mittel mit unter 1 µg/m³ bei etwa 4 %. Die größten Beiträge werden bei PM₁₀ mit bis zu 1.7 µg/m³ bzw. knapp über 10 % in den Stadtgebieten der großen Städte berechnet. Die Anteile der Gebäudeheizung liegen in weiten Bereichen des Untersuchungsgebiets über 5 %.

Der Beitrag der Gebäudeheizung zur NO₂-Vorbelastung ist sowohl absolut als auch relativ deutlich größer als der PM₁₀-Beitrag. Die größten Beiträge wurden auch bei NO₂ für die Stadtgebiete der großen Städte mit bis zu 6.6 µg/m³ berechnet. Im Mittel liegen sie im Untersuchungsgebiet bei 2.1 µg/m³ bzw. etwa 10 %. Die Anteile liegen fast im gesamten Ballungsraum flächendeckend über 10 % und erreichen knapp über 19 % mit einer – im Vergleich zu PM₁₀ – relativ homogenen räumlichen Verteilung außerhalb der Einflussbereiche großer Verkehrsachsen, wo der Anteil der Gebäudeheizung an der Vorbelastung auf unter 6 % sinkt.

⁴ Die Tabelle 4-2 enthält für PM₁₀ nur die Auspuffemissionen des Kfz-Verkehrs, die für die Berechnungen zur Berücksichtigung der Nicht-Auspuffemissionen verdoppelt wurden (s. Abschnitt 5.1.3). Damit verändern sich die Anteile der anderen Quellgruppen an den Gesamtemissionen gegenüber Tabelle 4-2.

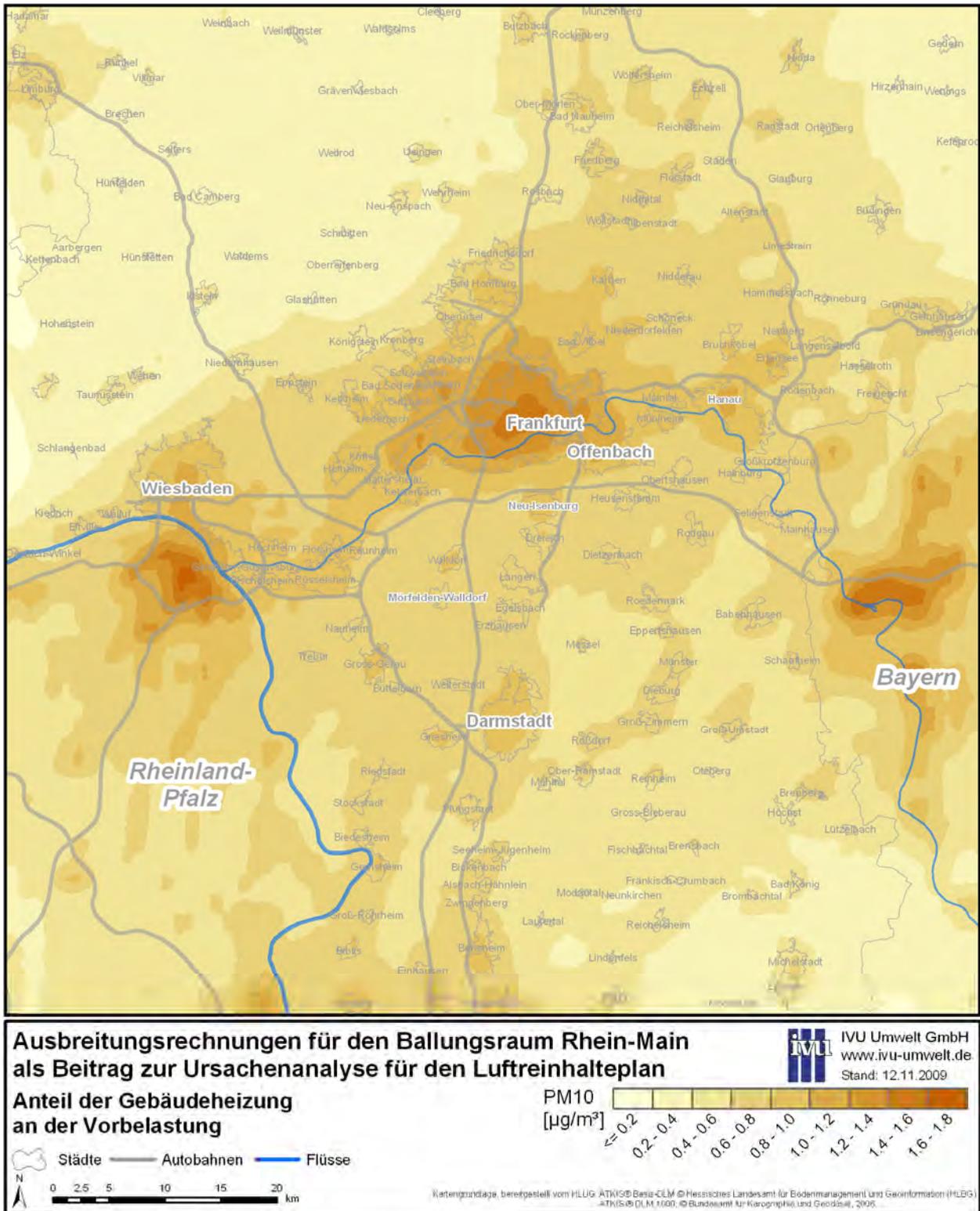


Abbildung 6-9: PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Gebäudeheizung

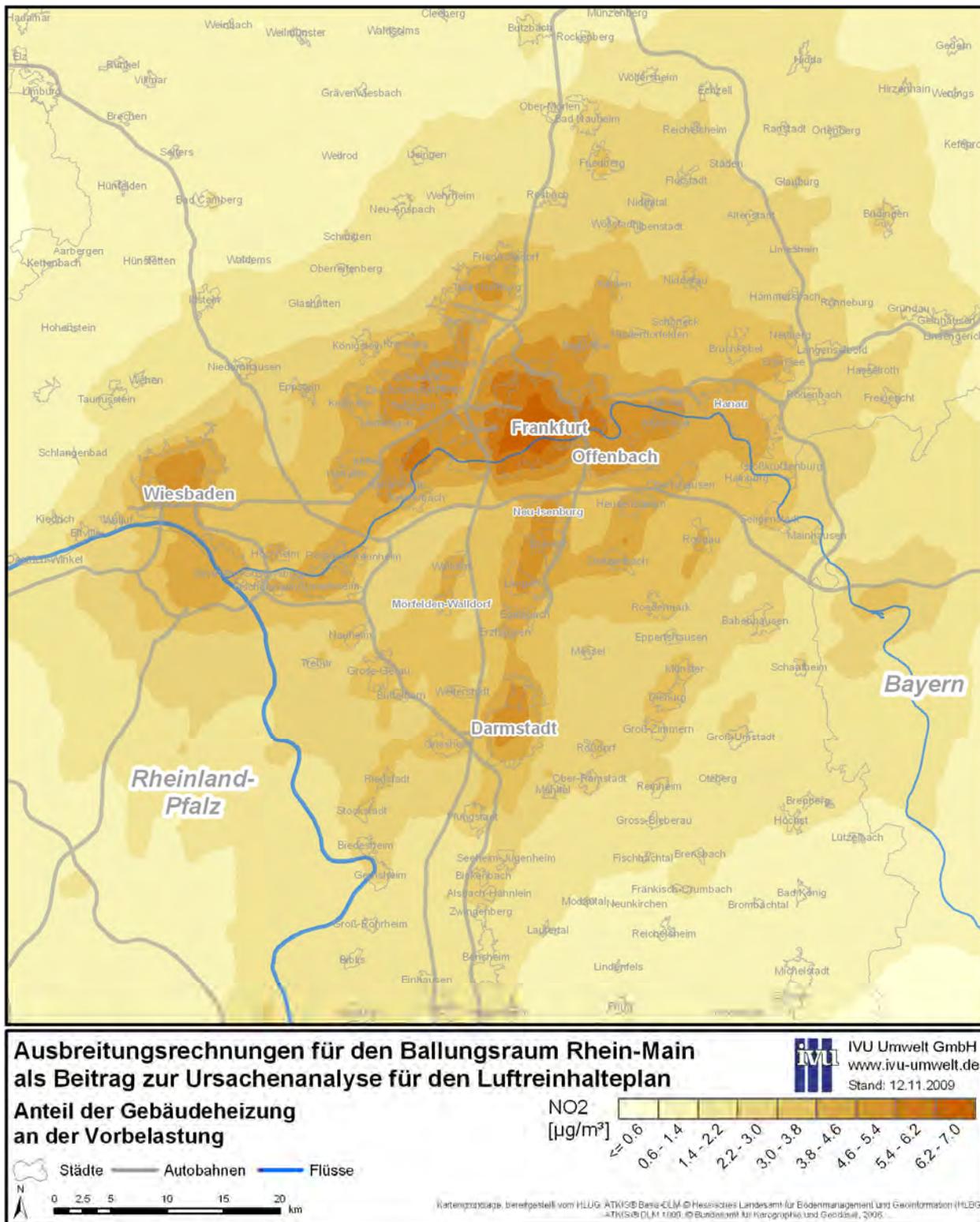


Abbildung 6-10: NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Gebäudeheizung

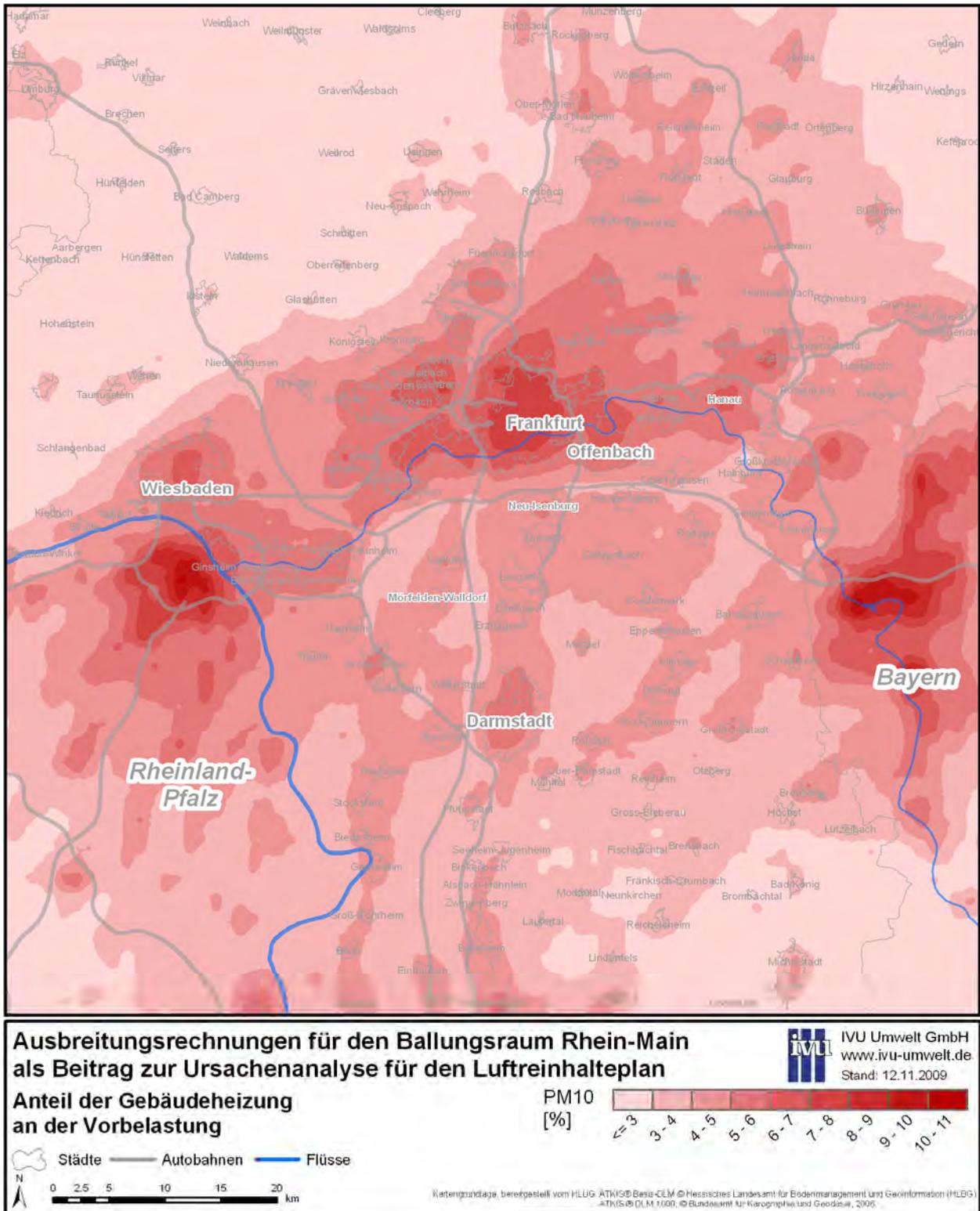


Abbildung 6-11: Relativer Anteil der Gebäudeheizung an der PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

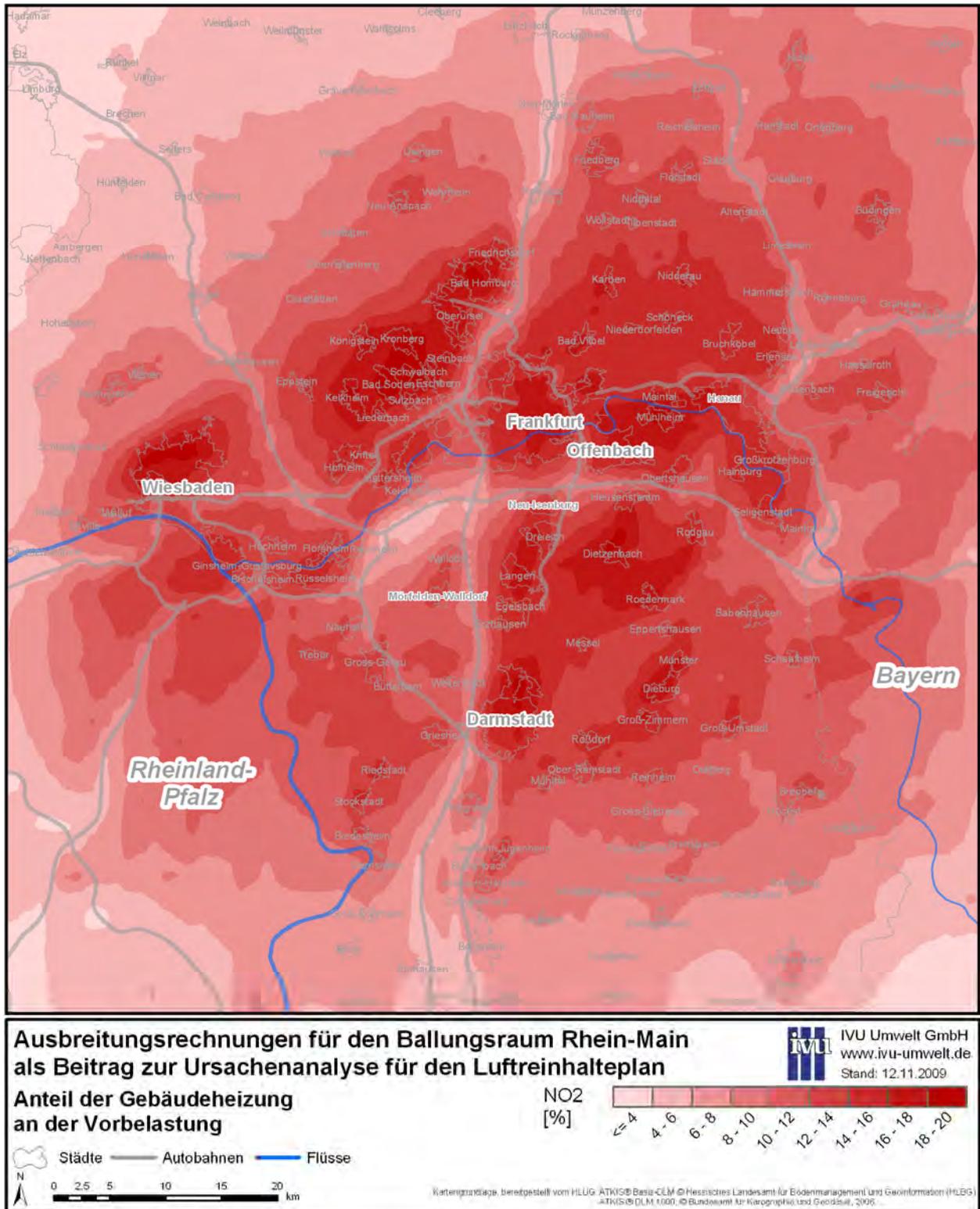


Abbildung 6-12: Relativer Anteil der Gebäudeheizung an der NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

6.3.3 Szenario Kfz-Verkehr

Im Mittel über das Untersuchungsgebiet Rhein-Main entspricht das Verkehrs-Szenario einer Minderung der PM10-Emissionen um circa 48 % und der NO_x-Emissionen um circa 50 % (Tabelle 4-2)⁵. Die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte der Vorbelastung, die durch den Kfz-Verkehr im Untersuchungsgebiet verursacht wird, ist in Abbildung 6-13 für PM10 und in Abbildung 6-14 für NO₂ kartographisch dargestellt. Die relativen Anteile des Kfz-Verkehrs an der Vorbelastung finden sich für PM10 in Abbildung 6-15 und für NO₂ in Abbildung 6-16.

Der Beitrag der Verkehrsemissionen zur PM10-Vorbelastung liegt im Bereich der Autobahnen bei 7 µg/m³ bis 9.2 µg/m³ oder 30 % bis 41 %. In den Stadtgebieten wurden Beiträge von 3 µg/m³ bis 5 µg/m³ berechnet. Dies entspricht etwa 10 % bis 25 % der gesamten berechneten PM10-Konzentrationen in diesen Gebieten.

Der Beitrag der Verkehrsemissionen zur NO₂-Vorbelastung ist deutlich höher als der Beitrag bei PM10. Die größten Beiträge wurden entlang der großen Verkehrsachsen und in den Stadtgebieten berechnet. Im Bereich des Frankfurter Kreuzes können über 30 µg/m³ den Verkehrsemissionen zugeschrieben werden. Dies entspricht relativen Anteilen an der gesamten NO₂-Konzentration von mehr als 50 %. In den Stadtgebieten beträgt der hier berechnete Beitrag zu den NO₂-Jahresmittelwerten circa 12 µg/m³ bis 18 µg/m³ oder 30 % bis 40 %. Der höhere Beitrag der NO_x-Emissionen des Verkehrs zur Gesamtbelastung resultiert aus den im Vergleich zu den PM10-Emissionen höheren Beiträgen des Verkehrs zu den NO_x-Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet und aus dem höheren Anteil des Ferntransports an der PM10-Gesamtbelastung.

⁵ Die Tabelle 4-2 enthält für PM10 nur die Auspuffemissionen des Kfz-Verkehrs, die einen Anteil in Höhe von etwa 32 % an den Gesamtemissionen haben und für die Berechnungen zur Berücksichtigung der Nicht-Auspuffemissionen verdoppelt wurden (s. Abschnitt 5.1.3).

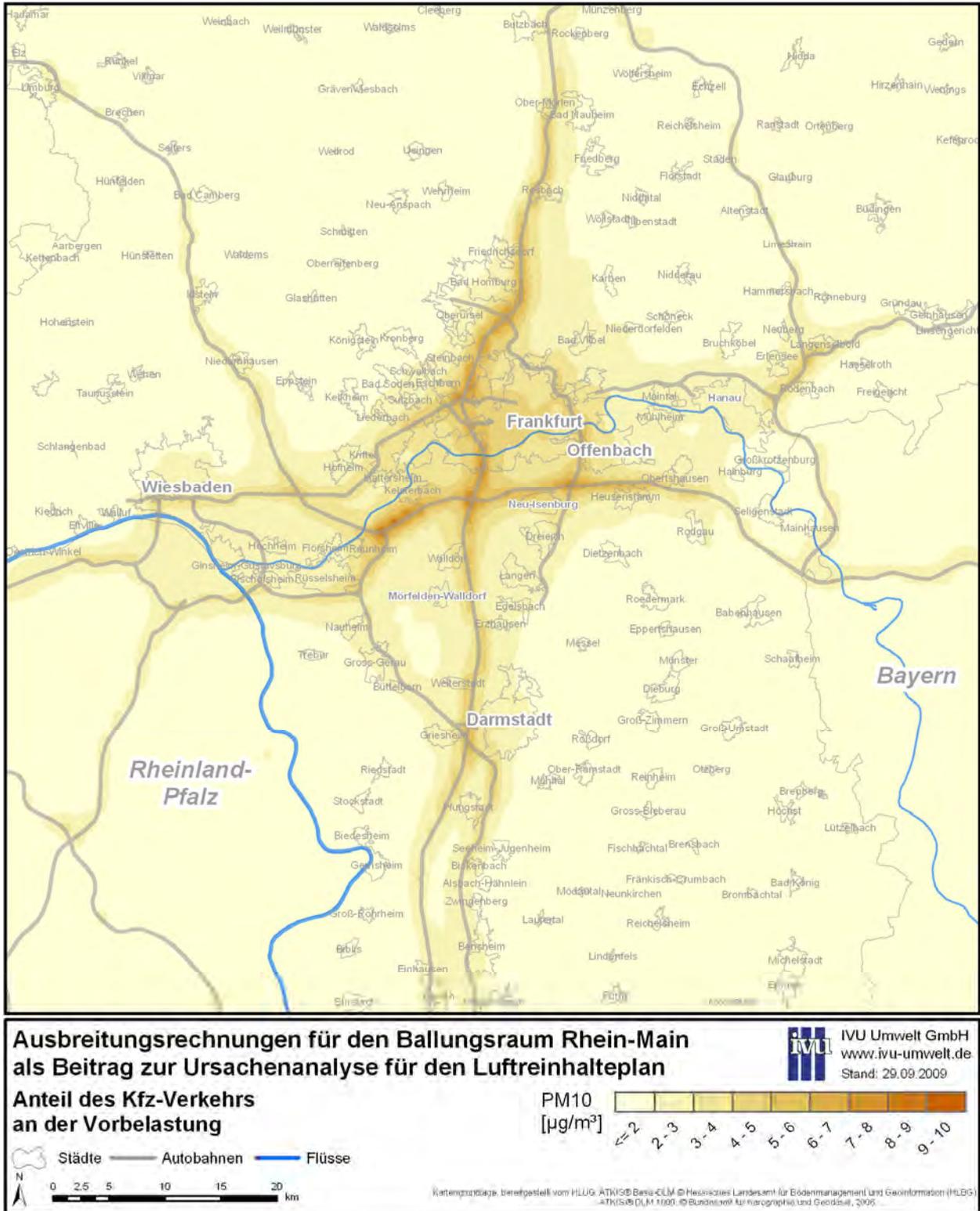


Abbildung 6-13: PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Kfz-Verkehr

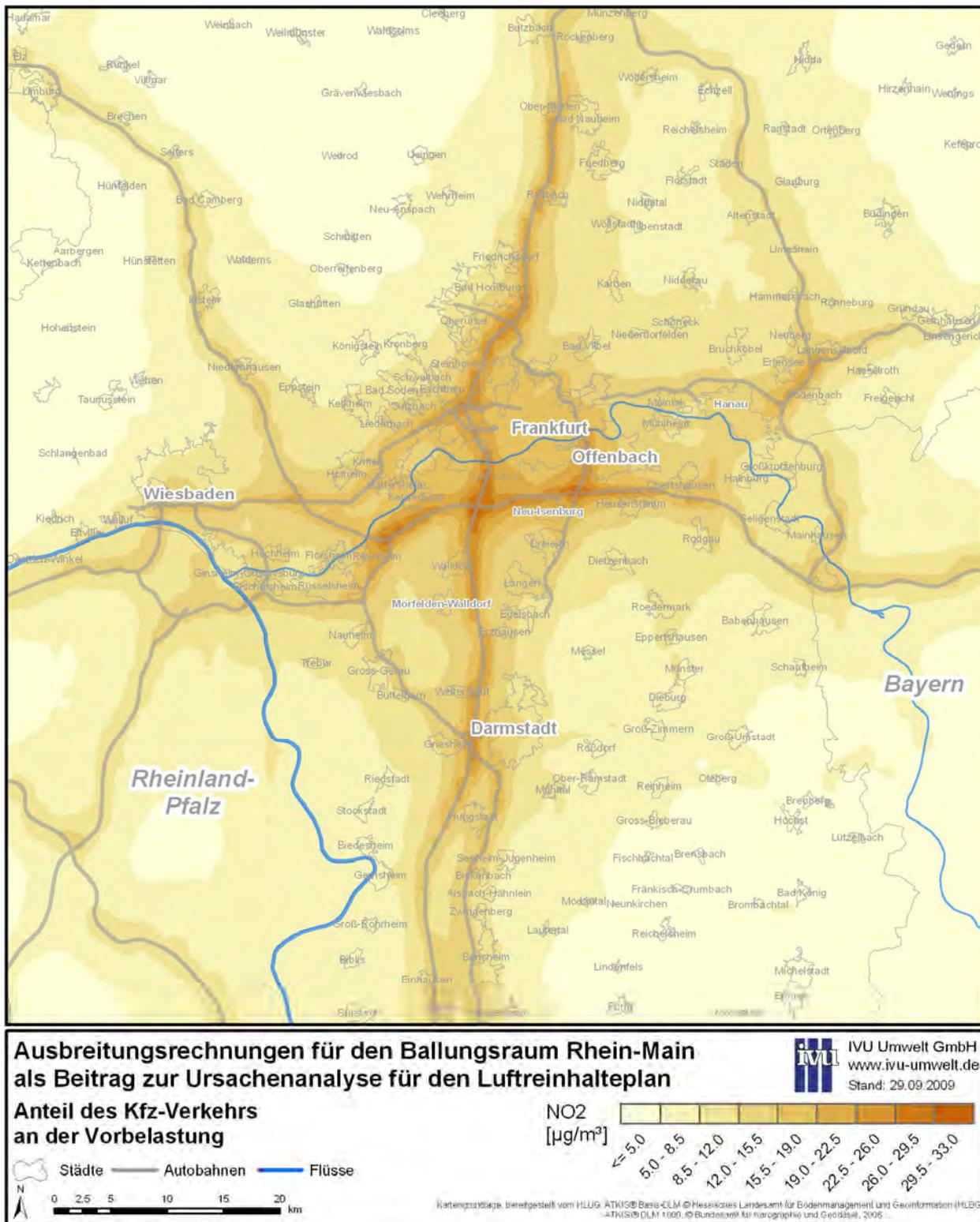


Abbildung 6-14: NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet verursacht durch Kfz-Verkehr

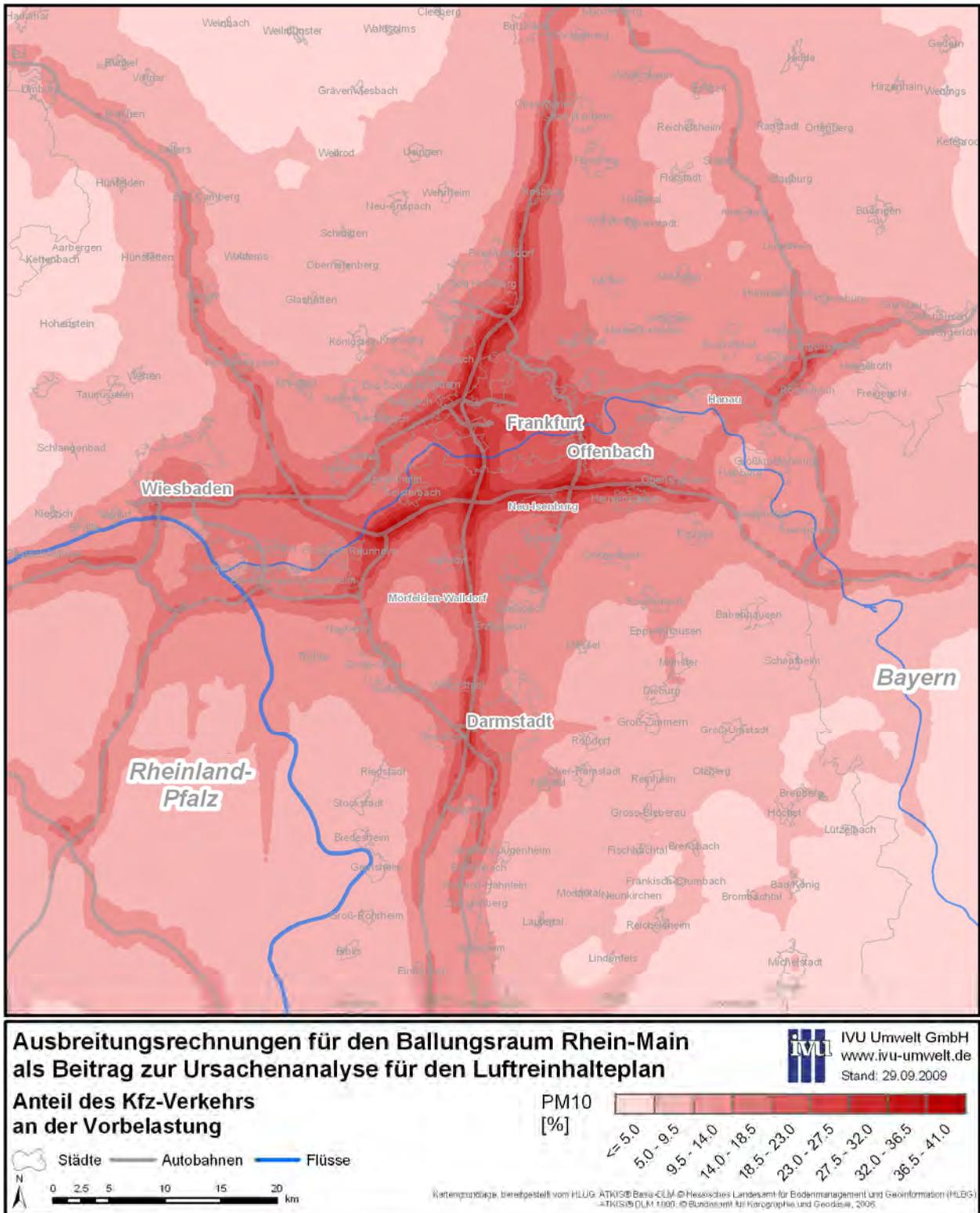


Abbildung 6-15: Relativer Anteil des Kfz-Verkehrs an der PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

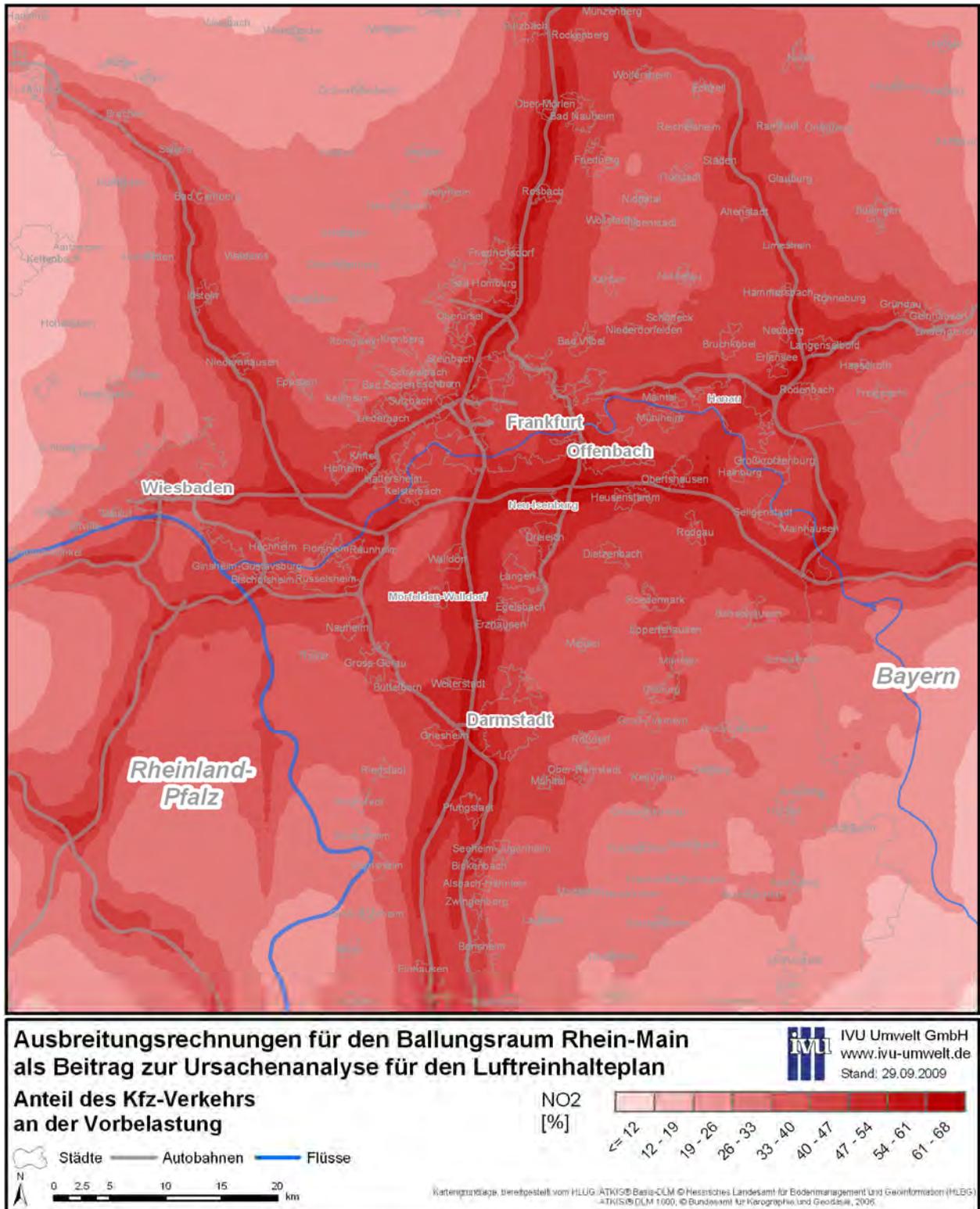


Abbildung 6-16: Relativer Anteil des Kfz-Verkehrs an der NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet

6.4 Szenario mit Emissionen von vier geplanten Großvorhaben

Die räumliche Verteilung der berechneten Jahresmittelwerte bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben ist in Abbildung 6-17 für PM10 und in Abbildung 6-18 für NO₂ kartographisch dargestellt. Die absoluten Änderungen der Vorbelastung in µg/m³ sowie die relativen Änderungen in % finden sich für PM10 und NO₂ in Abbildung 6-19 bis Abbildung 6-22.

Die Verwirklichung der vier Großvorhaben führt bei PM10 durch die Emissionsänderungen zu Zu- und Abnahmen. Abnahmen bis zu maximal 19 µg/m³ werden im Raum Hanau berechnet. Der Einfluss der abgeschalteten bodennahen PM10-Quelle erstreckt sich entsprechend der vorherrschenden Windrichtungen entlang einer südwestlich-nordöstlich ausgerichteten Achse. Bezogen auf den Basislauf bedeutet dies eine Absenkung der Vorbelastung von bis zu 54 % im direkten Nahbereich der bei Verwirklichung der Großvorhaben nicht mehr existierenden Quelle. Außerhalb des Einflussbereiches dieser Quelle wurden geringe Zunahmen der PM10-Vorbelastung berechnet, die aber generell deutlich unter 1 µg/m³ liegen. Die maximalen relativen Zunahmen liegen bei 2 %.

Bei der NO₂-Vorbelastung führt die Verwirklichung der vier Großvorhaben zu einer geringen Zunahme der NO₂-Vorbelastung, mit maximalen Zunahmen unter 1 µg/m³. Die relativen Zunahmen liegen, bezogen auf den Basisfall, unter circa 2.5 %.

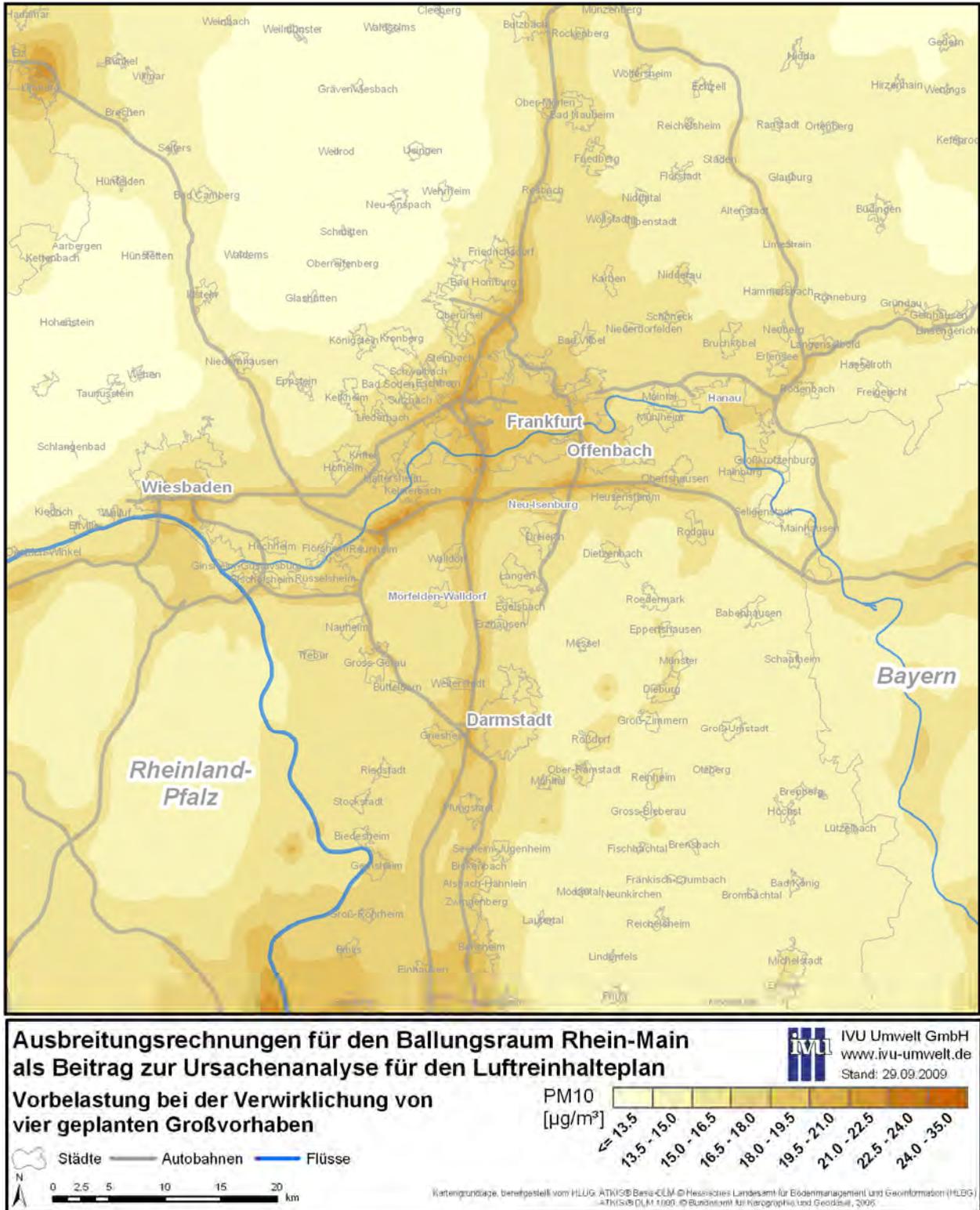


Abbildung 6-17: PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

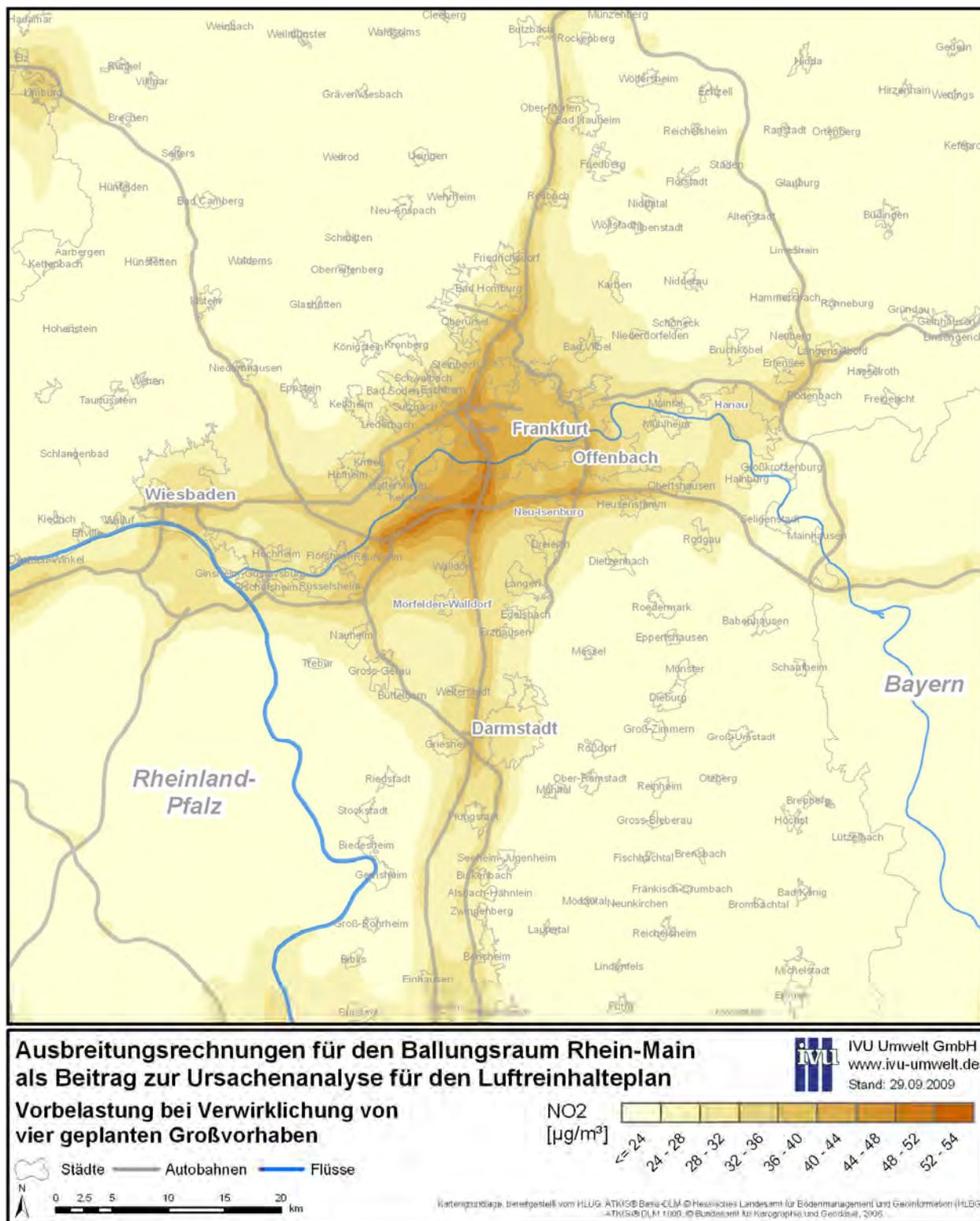


Abbildung 6-18: NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

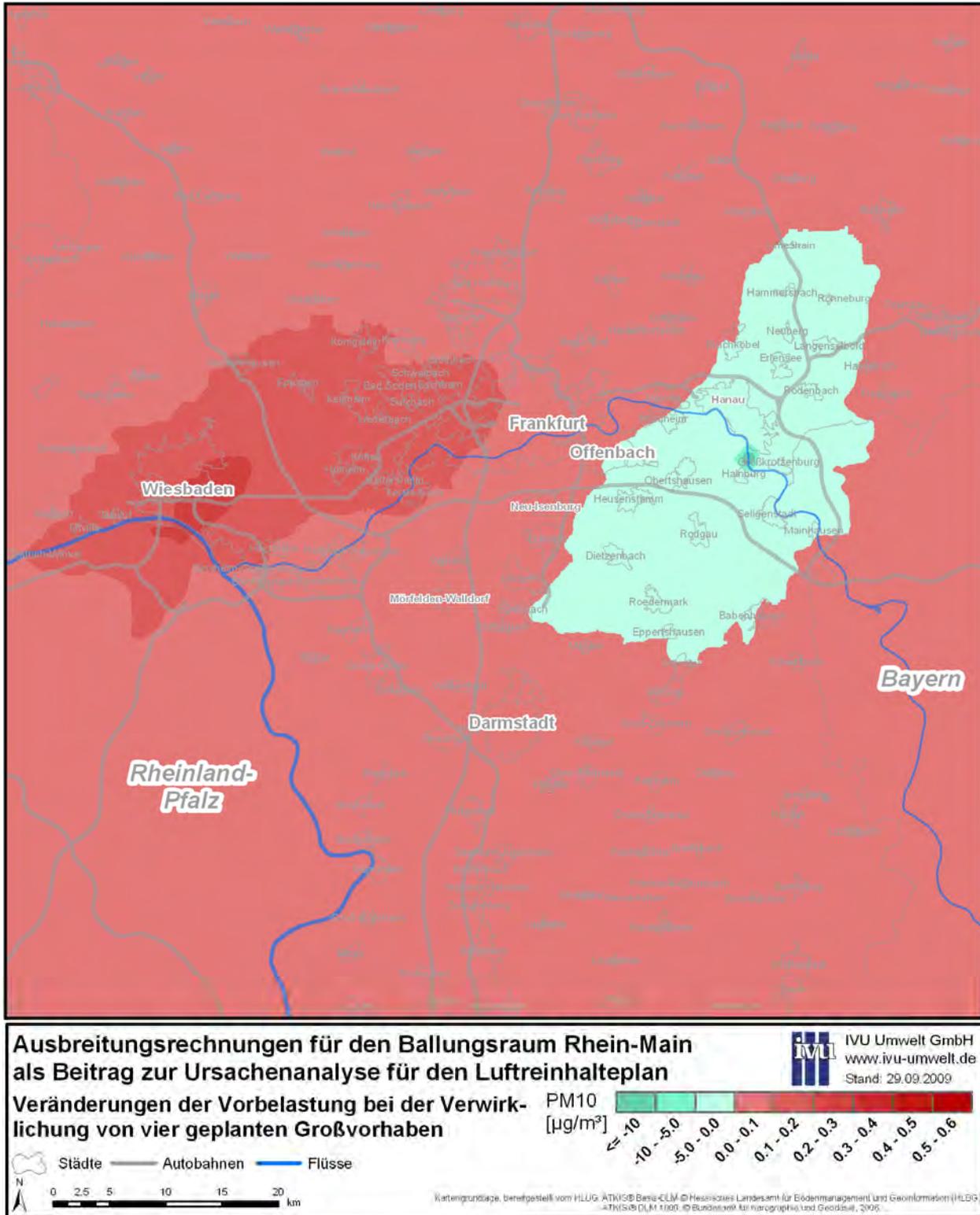


Abbildung 6-19: Absolute Änderung der PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

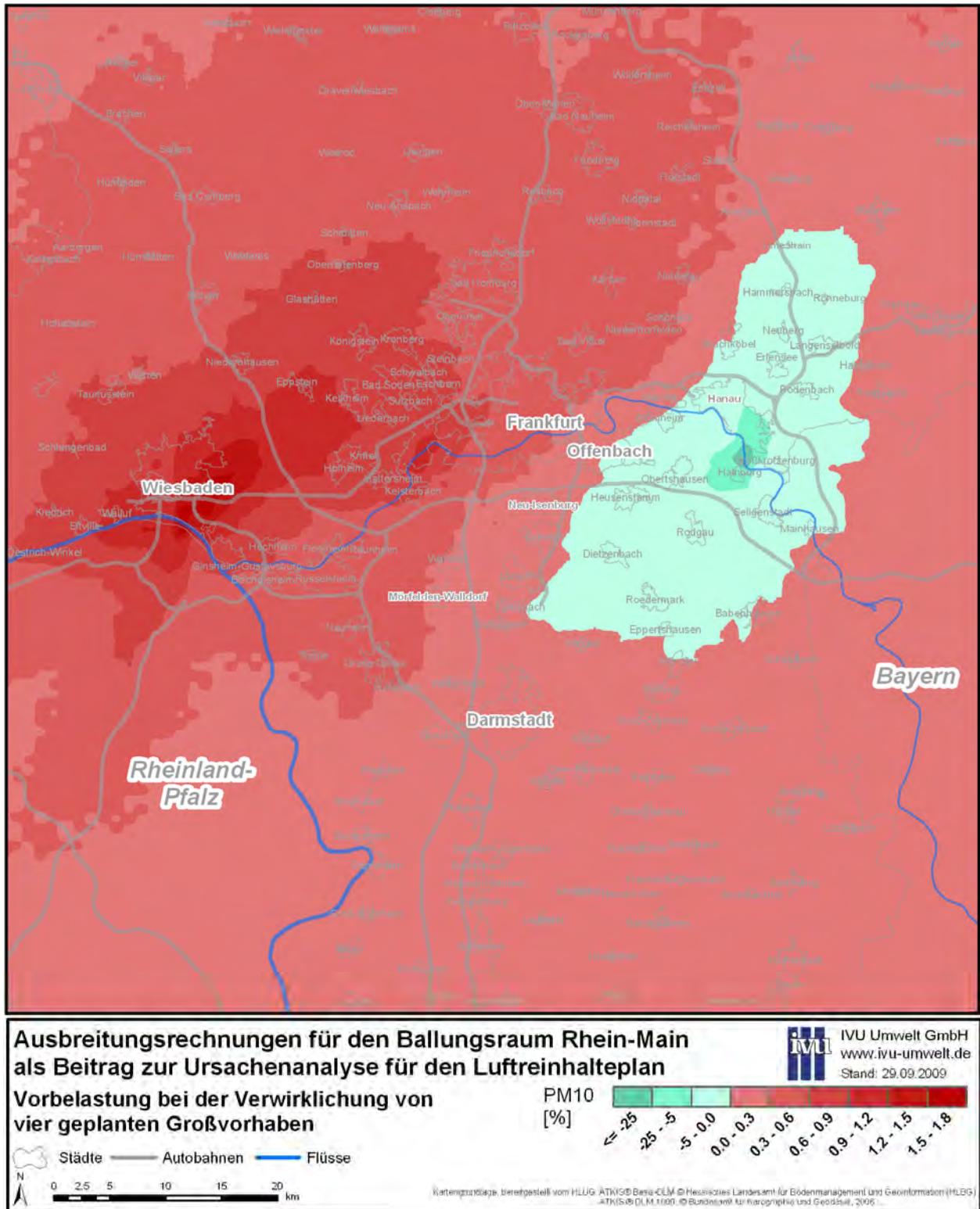


Abbildung 6-20: Relative Änderung der PM10-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

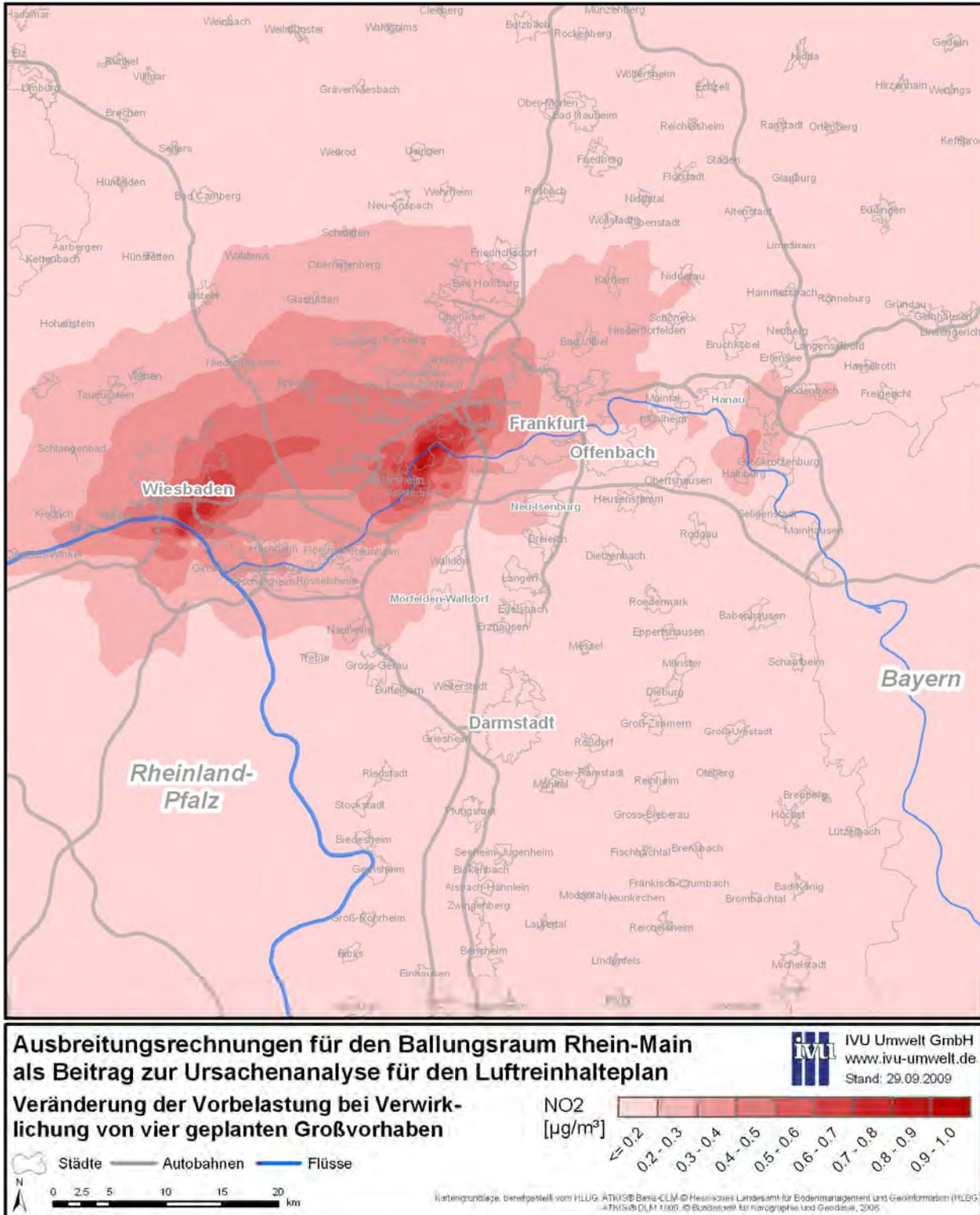


Abbildung 6-21: Absolute Änderung der NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

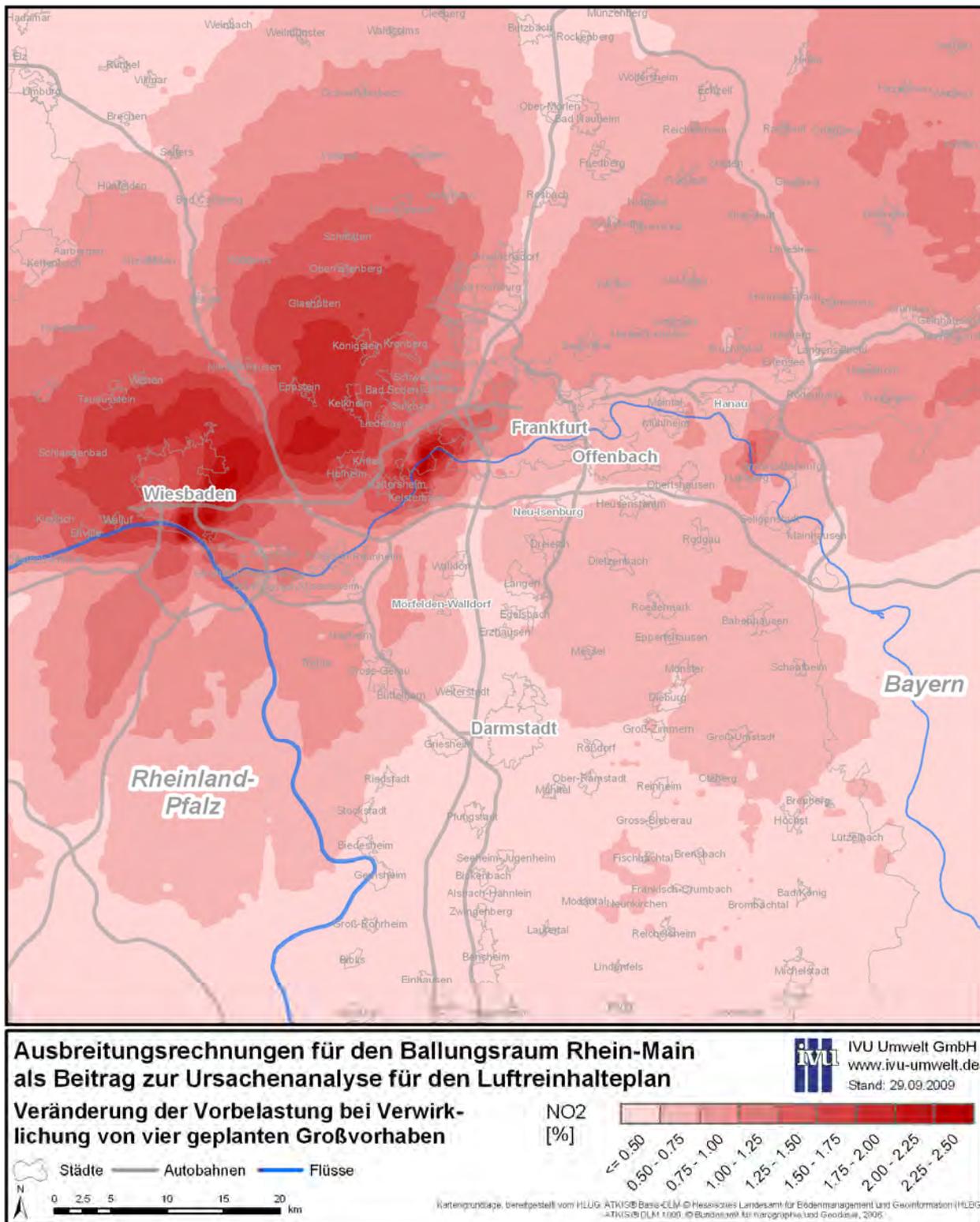


Abbildung 6-22: Relative Änderung der NO₂-Vorbelastung im Untersuchungsgebiet bei Verwirklichung von vier geplanten Großvorhaben

7 Ergebnisse zur Zusatz- und Gesamtbelastung

Gemäß der Methodik aus Kapitel 5.2 wurde mit dem CPB-Modell die Zusatzbelastung in den ausgewählten Straßenräumen berechnet. Die Gesamtbelastung in den Straßenräumen wurde dann als Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung bestimmt. Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, wurde die systematische Unterschätzung der PM₁₀-Vorbelastung pauschal durch eine Erhöhung der modellierten PM₁₀-Vorbelastungswerte um 30 % ausgeglichen.

7.1 Vergleich mit Messwerten

Innerhalb des Untersuchungsgebiets befinden sich zwei verkehrsbezogene HLOG-Luftmessstationen, von denen die eine in der Hügelstraße in Darmstadt und die andere in der Friedberger Landstraße in Frankfurt steht. Seit 2008 betreibt das HLOG vier zusätzliche NO₂-Passivsammler in Frankfurt und Offenbach.

Da Luftschadstoffbelastungen außer von den Emissionen immer auch von der meteorologischen Situation abhängen, ist ein Vergleich zwischen Mess- und Modellwerten nur für das gleiche meteorologische Bezugsjahr aussagekräftig. Als solches wurde vom HLOG das Jahr 2005 festgelegt (s. Abschnitt 4.1). Der Vergleich der für 2005 modellierten Werte mit den gemessenen Werten an den zwei Verkehrsmessstationen nach HLOG (2006) findet sich in Tabelle 7-1.

Tabelle 7-1: Vergleich von Messwerten 2005 mit der modellierten Gesamtbelastung

Station	PM ₁₀ [µg/m ³]			NO ₂ [µg/m ³]		
	Messung	Modell	Abweichung	Messung	Modell	Abweichung
Darmstadt Hügelstr.	34	33.4	-1.8 %	74	63.6	-14.0 %
Frankfurt Friedberger Landstr.	33	30.0	-9.0 %	63	55.5	-11.9 %

Bei den PM₁₀-Jahresmittelwerten stimmen die modellierten Werte für die Hügelstraße mit einer Abweichung von nur -1.8% sehr gut mit den Messdaten überein. Die Messungen für die Friedberger Landstraße (Frankfurt) werden mit einer Abweichung von -9% gleichfalls gut wiedergegeben. Für NO₂ unterschätzt die Modellrechnung erwartungsgemäß mit Abweichungen von -14 % bzw. -12 %. Ursache dafür ist nach derzeitigem Kenntnisstand die Unterschätzung der NO_x-Kfz-Emissionen durch das aktuelle HBEFA.

In Tabelle 7-2 sind die gemessenen PM₁₀-Tagesgrenzwertuberschreitungen den aus den modellierten PM₁₀-Jahresmittelwerten gemäß Kapitel 5.2.5 abgeleiteten Werten gegenübergestellt. Demnach ergibt sich für die Hügelstraße eine Überschätzung um 7 uberschreitungstage und für die Friedberger Landstraße eine Unterschätzung um 13 uberschreitungstage.

Tabelle 7-2: Vergleich von PM₁₀-Tagesgrenzwertuberschreitungen 2005 aus Messwerten mit aus der Modellierung abgeleiteten Werten

Station	Anzahl PM ₁₀ -Tagesmittelwerte > 50 µg/m ³		
	Messung	Modell	Abweichung
Darmstadt Hügelstr.	42	49	+16.7 %
Frankfurt Friedberger Landstr.	48	35	-27.0 %

In Tabelle 7-3 sind die Messwerte der zwei Verkehrsstationen und der vier Passivsammler des Jahres 2008 nach HLOG (2009a, b) zusammen- und den für 2005 modellierten Werten gegenüber gestellt. Laut HLOG (2009b) kann bei den Passivsammlern davon ausgegangen werden, dass sie die NO₂-Werte um etwa 20 % unterschätzen, was dort aus einem Vergleich der NO₂-Messwerte der Messstation und des Passivsammlers in der Friedberger Landstraße in Frankfurt abgeleitet wurde.

Tabelle 7-3: Gegenüberstellung von Messwerten 2008 mit der modellierten Gesamtbelastung 2005

Station	PM10 [µg/m ³]			NO ₂ [µg/m ³]		
	Messung	Modell	Abweichung	Messung	Modell	Abweichung
Darmstadt Hügelstr.	27	33.4	23.6 %	65	63.6	-1.8 %
Frankfurt Friedberger Landstr.	27.3	30.0	10.0 %	61	55.5	- 8.3 %
Passivsammler Frankfurt Friedb. Landstr	-	-	-	51	55.5	9.7 %
Passivsammler Offenbach Biebererstr.	-	-	-	38	45.3	20.1 %
Passivsammler Offenbach Mainstr.	-	-	-	43	52.4	22.1 %
Passivsammler Offenbach Untere Grenzstr.	-	-	-	43	51.4	19.9 %

Im Jahr 2008 sind die PM10-Konzentrationen gegenüber den Messwerten von 2005 an beiden Messstationen um 6 µg/m³ - 7 µg/m³ und damit um ca. 20 % zurückgegangen. Die PM10-Modelldaten für 2005 liegen beim Vergleich mit den Messungen für 2008 deutlich über den Messwerten. Entsprechend der geringeren Messwerte für die PM10-Jahresmittelwerte 2008 sind die uberschreitungsfalle des PM10-Tagesgrenzwerts für beide Stationen auf 22 Tage zurückgegangen.

Der größere Rückgang für NO₂ ist mit 12 % (9 µg/m³) in der Hügelstraße in Darmstadt zu beobachten, wohingegen die NO₂-Messungen an der Station Friedberger Landstraße nur um 2 µg/m³ differieren. Bei der Gegenüberstellung der Modellwerte für 2005 und der Messwerte für 2008 an diesen beiden Stationen ergibt sich für NO₂ eine gute Übereinstimmung (Abweichung -2 % - -8 %). Die Passivsammler liegen durchgehend mit 20 % bis 22 % unter den Modellwerten, womit sich bei Berücksichtigung der generellen Unterschätzung durch die Passivsammler auch für diese Stationen eigentlich eine gute Übereinstimmung ergibt. Es sei aber nochmals betont, dass ein Vergleich von Messungen für das Jahr 2008 mit Berechnungen für das Jahr 2005 nur mit Einschränkung bewertet werden kann, da sowohl die Emissionsbedingungen als auch die meteorologischen Bedingungen im Jahre 2008 mit großer Wahrscheinlichkeit nur bedingt mit denen für 2005 übereinstimmen.

Aus den Daten der Lufthygienischen Jahresberichte der HLOG für 2005 und 2008 wird ersichtlich, dass insgesamt die PM10-Belastungssituation in Hessen 2008 deutlich unter dem Niveau von 2005 lag. Das Jahr 2008 war also ein lufthygienisch günstigeres Jahr als 2005, was die Überschätzung der PM10-Messungen 2008 durch die Rechnung unter den meteorologischen Bedingungen 2005 erklärt. ähnliches gilt auch für den Vergleich der NO₂-Jahresmittelwerte. Geht man davon aus, dass eine Rechnung unter den meteorologischen Bedingungen von 2008 zu niedrigeren NO₂-Konzentrationen führen würde, bleibt die für 2005 festgestellte leichte Unterschätzung der NO₂-Messungen auch für 2008 erhalten.

7.2 Basisfall 2005

In Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2 ist die Gesamtbelastung für die ausgewählten 30 Straßenräume als Ergebnis der RCG- und CPB-Modellrechnungen dargestellt. Dabei

wurde jeweils die Maximalkonzentration der beiden Aufpunkte rechts und links der Straße ausgewertet.

Die Jahresmittelwerte von PM₁₀ liegen alle deutlich unterhalb des Grenzwerts von 40 µg/m³. Bezogen auf einen Referenzwert von 30 µg/m³ als Jahresmittelwert, der gemäß Kapitel 5.2.5 dem Tagesgrenzwertkriterium von mehr als 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ zugeordnet werden kann, werden an den 8 Stationen:

- Darmstadt: Bleichstraße, Heinrichstraße und Hügelstraße
- Frankfurt: Höhenstraße, Hochstraße und Mainzer Landstraße
- Wiesbaden: Kaiser-Friedrich-Ring und Schiersteinerstraße

Tagesgrenzwertverletzungen prognostiziert. An der Station Friedberger Landstraße in Frankfurt werden genau 30 µg/m³ berechnet.

Bei der Aufteilung der PM₁₀-Gesamtbelastung nach Verursachern liegt die Vorbelastung für alle Straßenräume auf vergleichbarem Niveau zwischen 20.1 µg/m³ und 24.3 µg/m³, worin der unbekannte Anteil aus der Korrektur der Vorbelastung in Höhe von 4.6 µg/m³ bis 5.6 µg/m³ enthalten ist. Die bekannten Anteile des Verkehrs im Untersuchungsgebiet an der Vorbelastung variieren zwischen 2.1 µg/m³ und 4.4 µg/m³. Der Verkehr an den untersuchten Straßenabschnitten trägt mit einer sehr stark variierenden Zusatzbelastung zwischen 1.8 µg/m³ und 14.3 µg/m³ zur Gesamtbelastung bei. Der Anteil der Quellgruppe Industrie im Untersuchungsgebiet ist mit Werten zwischen 0.5 µg/m³ und 1.2 µg/m³ bei einem Mittelwert von 0.7 µg/m³ eher gering. Gleiches gilt für die Gebäudeheizung mit Werten zwischen 0.7 µg/m³ und 1.5 µg/m³ bei einem Mittelwert von 1.2 µg/m³.

Entsprechend der hohen Variabilität der absoluten Vorbelastung durch den Kfz-Verkehr und der Zusatzbelastung variieren auch die relativen Verursacheranteile. So beträgt der summierte Anteil des Kfz-Verkehrs im Untersuchungsgebiet in der Schiersteinerstraße 48 % und in der Barbarossastraße nur 19.4 %. Gemittelt über alle Straßenräume beträgt der Anteil der modellierten Vorbelastung ohne Kfz-Verkehr 50 %, dabei im Minimum in der Schiersteinerstraße 38 %. Die Anteile der Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung aus dem Untersuchungsgebiet liegen bei Spannweiten von 3 % bzw. 2.5 % im Mittel bei 2.5 % bzw. 4.1 %.

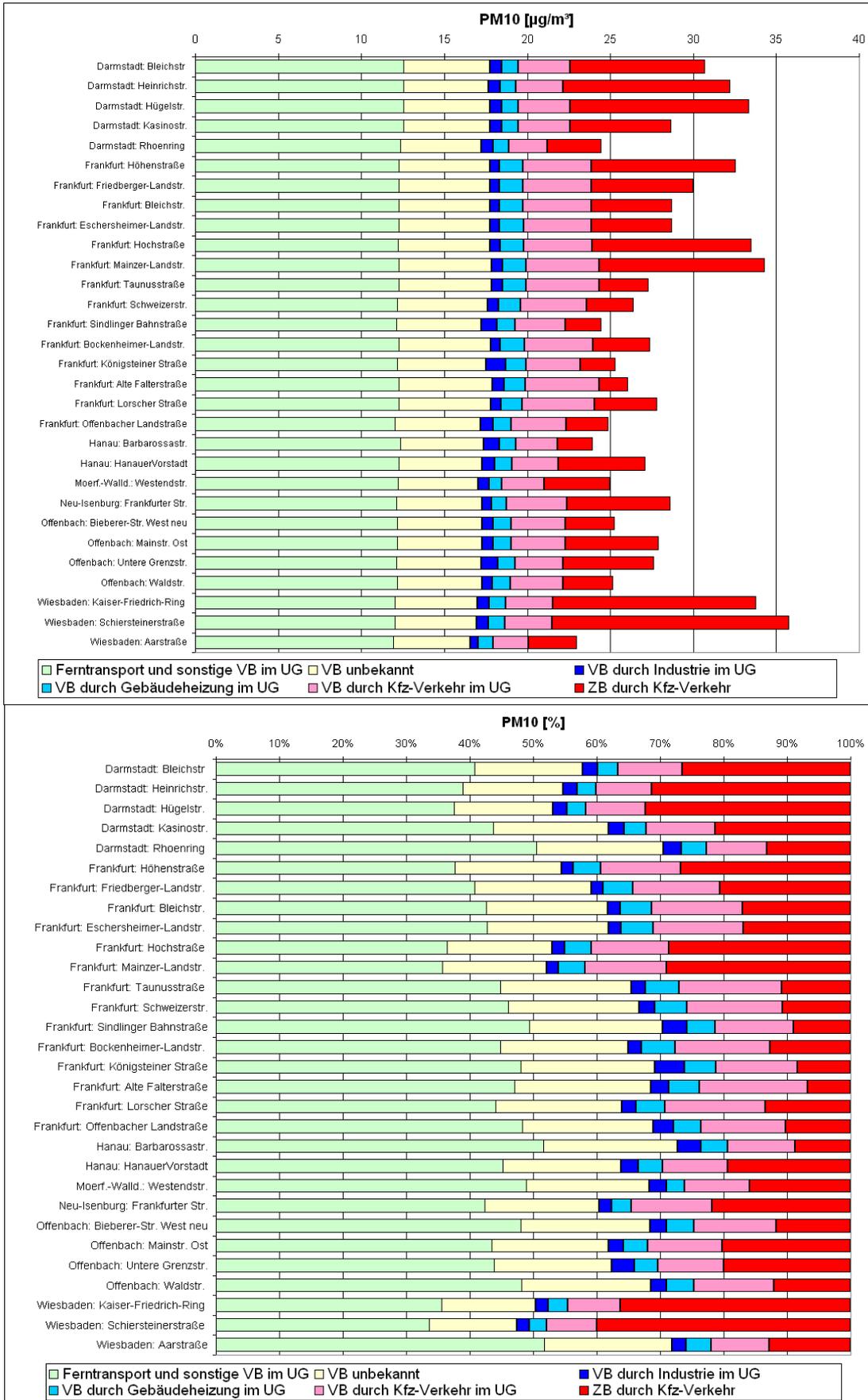


Abbildung 7-1: Ursachenanalyse PM10, Basisfall (oben absolut, unten relativ) mit VB = Vor-, ZB = Zusatzbelastung, UG = Untersuchungsgebiet

Bei NO₂ variiert der Jahresmittelwert stärker als bei PM₁₀. In allen Straßenräumen bis auf die Barbarossastraße werden NO₂-Jahresmittelwerte über dem ab 2010 gültigen Grenzwert von 40 µg/m³ prognostiziert. Die Spitzenwerte der NO₂-Belastung werden mit über 60 µg/m³ in

- Darmstadt: Heinrichstraße und Hügelstraße und in
- Frankfurt: Höhenstraße, Hochstraße und Mainzer-Landstraße erreicht.

An weiteren 13 Straßenräumen wurden Werte über 50 µg/m³ berechnet. Summiert über alle Kfz-Verursacheranteile beträgt der mittlere Kfz-Beitrag 33 µg/m³ bzw. 63 %. Der höchste relative Verkehrsanteil liegt mit 76 % in der Heinrichstraße in Darmstadt und der niedrigste mit 51 % in der Alten Falterstraße in Frankfurt.

In der Heinrichstraße in Darmstadt stammen 55 % der NO₂-Konzentration aus den Emissionen des Kfz-Verkehrs im Hotspot. Dabei werden 33 % davon bereits als NO₂-Direktemissionen emittiert und 67 % über chemische Prozesse gebildet.

Der Anteil der NO₂-Direktemissionen am Konzentrationsanteil des Kfz-Verkehrs in den Straßenabschnitten beträgt im Mittel 24 %.

Der Anteil der Quellgruppe Industrie ist mit Werten zwischen 1.3 µg/m³ und 2.7 µg/m³ bei einem Mittelwert von 1.9 µg/m³ eher gering. Etwa drei Mal so hoch ist der Beitrag der Gebäudeheizung mit Werten zwischen 3.6 µg/m³ und 6.6 µg/m³ bei einem Mittelwert von 5.4 µg/m³. Die Anteile der Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung liegen bei Spannweiten von 3.9 % bzw. 6.6 % im Mittel bei 3.7 % bzw. 10.6 %.

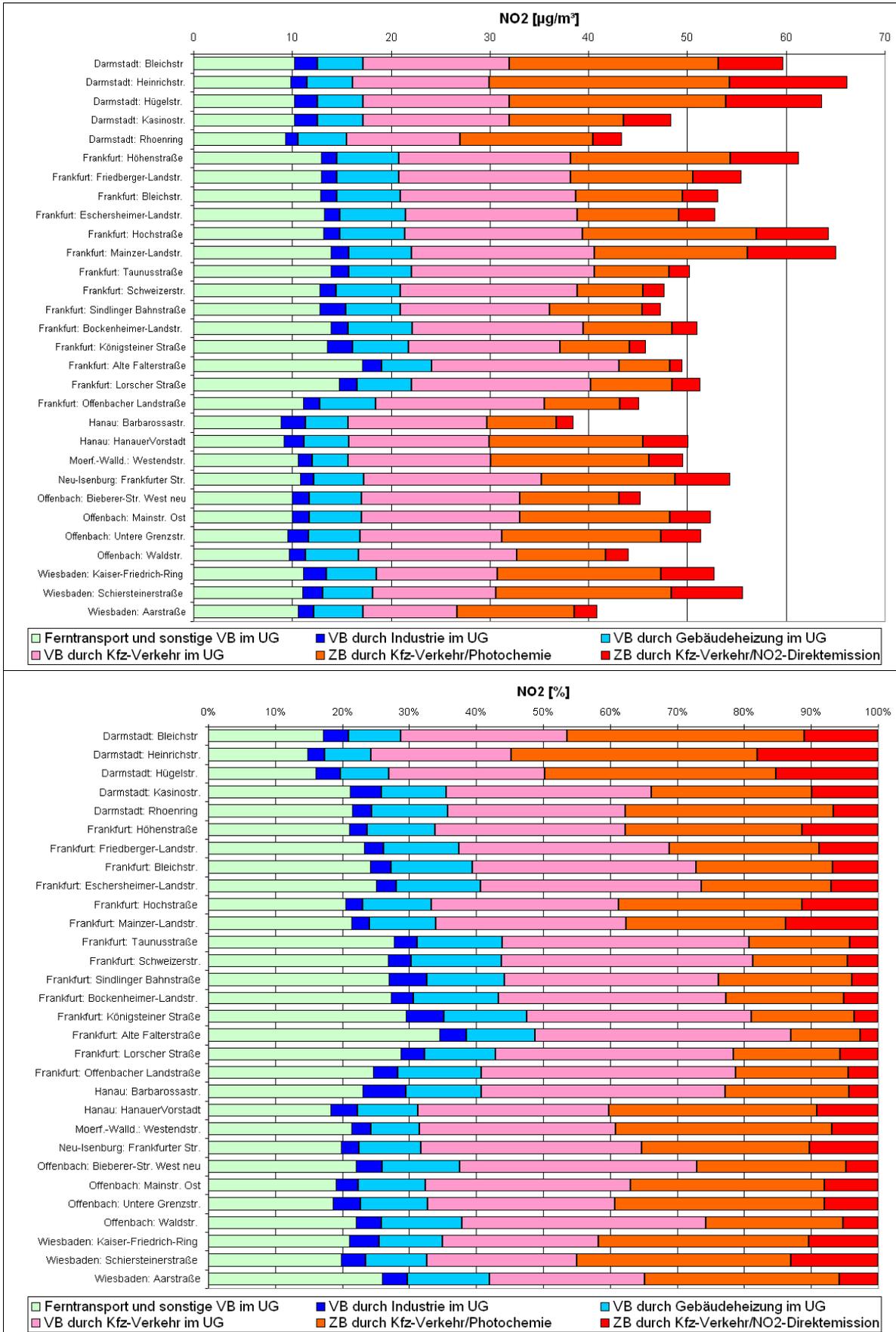


Abbildung 7-2: Ursachenanalyse NO₂, Basisfall (oben absolut, unten relativ) mit VB = Vor-, ZB = Zusatzbelastung, UG = Untersuchungsgebiet

7.3 Szenario mit Emissionen von vier geplanten Großvorhaben

In Abbildung 7-3 ist die Änderung des PM₁₀-Jahresmittelwerts und in Abbildung 7-4 die des NO₂-Jahresmittelwerts unter Berücksichtigung der geänderten Emissionssituation mit den vier geplanten Großvorhaben dargestellt.

Für PM₁₀ wird in allen Fällen mit Ausnahme der beiden Hanauer Straßenräume eine Erhöhung prognostiziert. Diese beträgt maximal 0.18 µg/m³ in Wiesbaden im Kaiser-Friedrich-Ring. Bezogen auf die PM₁₀-Gesamtbelastung im Basisfall wird das PM₁₀-Niveau um maximal 0.63 % erhöht. Bedingt durch die geänderte Emissionssituation in Hanau (siehe dazu auch Kapitel 1.1) verringert sich der PM₁₀-Jahresmittelwert dort um 0.11 µg/m³ bzw. 0.16 µg/m³, was einer relativen Minderung von 0.4 % bzw. 0.68 % entspricht.

Die Änderung bei der NO₂-Belastung ist sowohl absolut als auch relativ bezogen auf das Konzentrationsniveau des Basisfalls stärker als bei PM₁₀. So beträgt die maximale Erhöhung in der Königsteiner Straße bzw. in der Sindlinger Bahnstraße in Frankfurt jeweils 0.64 µg/m³ bzw. 0.65 µg/m³. Bezogen auf den Jahresmittelwert im Basisszenario erhöht sich die NO₂-Konzentration an diesen Straßen um 1.4 %.

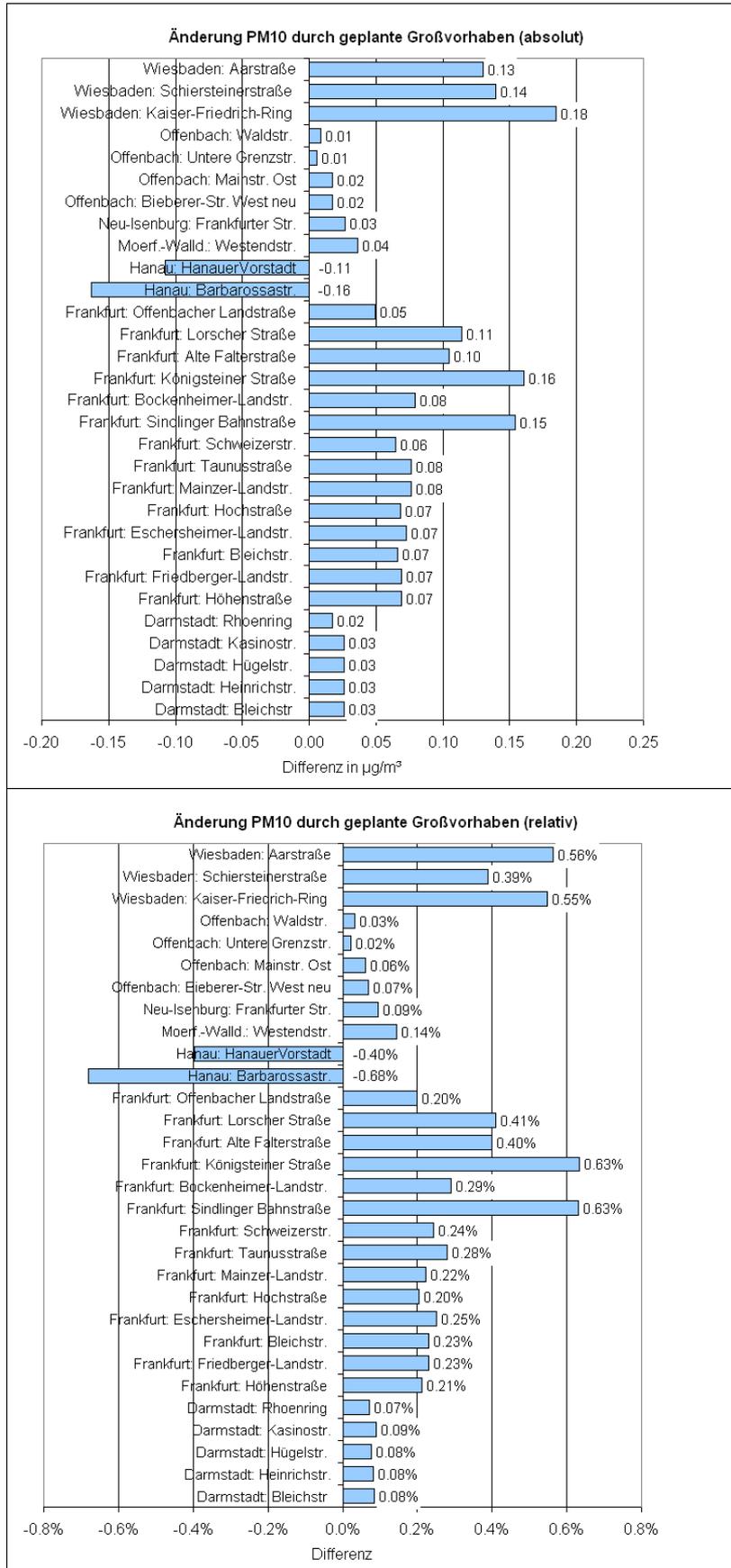


Abbildung 7-3: Änderung der PM10-Belastung an den Abschnitten durch die geplanten Großvorhaben (oben absolut, unten relativ)

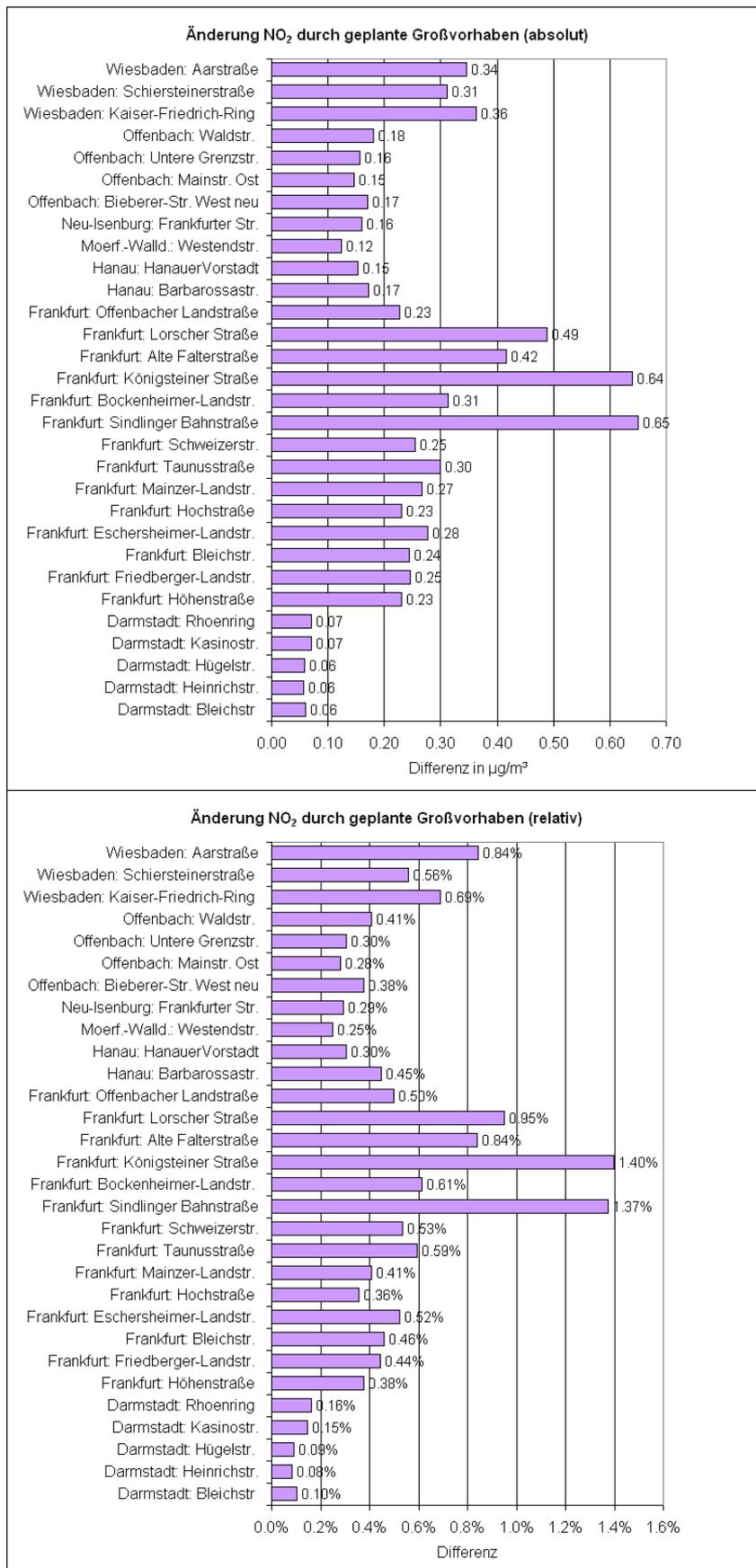


Abbildung 7-4: Änderung der NO₂-Belastung an den Abschnitten durch die geplanten Großvorhaben (oben absolut, unten relativ)

8 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde eine Ursachenanalyse als Grundlage für den Luftreinhalteplan des Ballungsraums Rhein-Main durchgeführt. Dabei war neben den Beiträgen der Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung insbesondere zu ermitteln, welchen Beitrag der Kfz-Verkehr an der Immissionsbelastung im Straßenraum hat.

In Analogie zu entsprechenden Arbeiten aus den Jahren 2003/2004 wurden Ausbreitungsrechnungen zur Ursachenanalyse erneut durchgeführt. Dabei wurde die gegenüber 2003/2004 geänderte Emissionssituation im Ballungsraum Rhein-Main berücksichtigt und die Analyse auf zusätzliche Straßenabschnitte ausgeweitet. Ein zusätzliche Aufgabe bestand in einer Szenariorechnung, die im Rhein-Main-Gebiet vier geplante emissionsrelevante Großvorhaben berücksichtigt.

Die Ermittlung der Konzentrationen erfolgte in einem zweistufigen Verfahren. Die urbane Vorbelastung wurde mit dem photochemischen Transportmodell REM-CALGRID (RCG) berechnet. Damit war gewährleistet, dass die zur NO₂-Vorbelastung und zur PM₁₀-Vorbelastung beitragenden chemisch-physikalischen Prozesse der Oxidantien- und Aerosolbildung angemessen berücksichtigt werden. Die Zusatzbelastung im Straßenraum wurde mit dem Canyon-Plume-Box-Modell (CPB) berechnet. Dabei wurden NO₂-Direktemissionen des Kfz-Verkehrs und relevante chemische Umwandlungsprozesse zur NO₂-Bildung im Straßenraum berücksichtigt.

Als Ergebnis der Modellierung der Vorbelastung wurden die mit Abstand höchsten PM₁₀-Jahresmittelwerte im Bereich Hanau berechnet. Weitere Gebiete mit hohen PM₁₀-Konzentrationen sind das Frankfurter Stadtgebiet, Wiesbaden, Darmstadt und Limburg. Hohe NO₂-Jahresmittelwerte wurden vor allem im Rhein-Main-Becken im Großraum Frankfurt und entlang der Achse Wiesbaden-Frankfurt-Hanau berechnet. Spitzenkonzentrationen von über 40 µg/m³ ergaben sich im Bereich des Flughafens Frankfurt, des Frankfurter Kreuzes und des Wiesbadener Kreuzes. Auch entlang der A5, in Darmstadt und Limburg wurden erhöhte NO₂-Konzentrationen berechnet.

Die Verursacheranalyse für die Vorbelastung beruht auf Szenariorechnungen für die bekannten Quellen im Untersuchungsgebiet. Die einzelnen Quellgruppen tragen durch Emissionen außerhalb des Untersuchungsgebiets zum Ferntransport in das Untersuchungsgebiet bei und die Anteile der einzelnen Quellgruppen an der gesamten Vorbelastung sind damit streng genommen höher, als die hier ermittelten Beiträge aufgrund von Emissionen im Untersuchungsgebiet.

Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich bei PM₁₀ im Nahbereich von Straßen einen Verkehrsanteil von 30 % bis 40 % an der Vorbelastung. Entfernt von den Quellen nehmen die Anteilswerte schnell auf unter 15 % ab. Die Anteile der Quellgruppe Industrie liegen im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets unter 10 %, können in stärker belasteten Bereichen aber auch Werte von über 50 % erreichen. Die Gebäudeheizung weist im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets Anteile zwischen 5 % und 11 % auf.

Die Kfz-Anteile an der NO₂-Vorbelastung betragen im Nahbereich von Straßen bis zu 70 %. Großflächig liegen die Verursacheranteile der Kfz-Emissionen am NO₂-Jahresmittelwert im Untersuchungsgebiet bei über 30 %. Die Anteile der Quellgruppe Industrie liegen im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets unter 10 %, können in stärker belasteten Bereichen aber auch Werte von 20 % und darüber erreichen. Die Gebäudeheizung weist im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebiets Anteile zwischen 10 % und 20 % auf.

Die Berechnungen für das Szenario mit den geplanten Großvorhaben zeigen, dass für-PM10 und NO₂ nur geringfügige Erhöhungen der Konzentrationen im Untersuchungsgebiet von unter 1 µg/m³ zu erwarten sind. Eine Abnahme der PM10-Belastung ergibt sich nur im Bereich Hanau.

Die Berechnungen der Gesamtbelastung für die 30 Straßenräume zeigen, dass unter den gegebenen Bedingungen an 8 bis 9 Abschnitten Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes und an 29 Abschnitten des ab 2010 geltende NO₂-Jahresgrenzwerts prognostiziert werden. Der Verursacheranteile des Kfz-Verkehrs an der PM10-Belastung liegt im Abschnitt mit der höchsten Gesamtbelastung bei fast 50 %, wobei davon ca. 80 % direkt aus dem untersuchten Straßenraum stammen. Gemittelt über alle Straßenräume beträgt der Anteil der Vorbelastung ohne Kfz-Verkehr 50 %. Die Anteile der Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung liegen im Mittel bei 2.5 % bzw. 4.1 %.

Die Verursacheranalyse für NO₂ zeigt, dass der summierte Kfz-Anteil im Mittel 63 % beträgt. Im Straßenraum werden etwa drei Viertel der NO₂-Zusatzbelastung photochemisch gebildet, ein Viertel stammt aus NO₂-Direktemissionen des Kfz-Verkehrs. Die Anteile der Quellgruppen Industrie und Gebäudeheizung liegen im Mittel bei 4 % bzw. 11 %.

9 Literatur

4. BImSchV, 2007: Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV). Fassung vom 23.10.2007. BGBl. I S. 2470. 2007.

11. BImSchV 2007: Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen - 11. BImSchV). In der Fassung der Bekanntmachung vom 05.03.2007. BGBl. I S. 289. 2007.

22. BImSchV, 2007: Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft - 22. BImSchV). In der Fassung vom 04.06.2007. BGBl. I S. 1006. 2007.

DÜRING, I.; LOHMEYER, A. 2004: Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL (Hrsg.): KRdL-Expertenforum Staub und Staubinhaltsstoffe. KRdL-Schriftenreihe Band 33. Düsseldorf, 2004.

EU, 2008: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 152, S. 1. 2008.

FRAPORT, 2008: Flugrouten, Steigprofile und Emissionen des Flugverkehrs 2005. Datenlieferung. FRAPORT AG, 2008.

HLUG, 2006: Lufthygienischer Jahresbericht 2005. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden, 2006.

HLUG, 2009a: Lufthygienischer Jahresbericht 2008. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden, 2008.

HLUG, 2009b: Messwerte Passivsammler 2008. Datenlieferung. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Wiesbaden, 2009.

IBJ, 2006: G 13.1 Luftschadstoffgutachten - Flugverkehr; Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlagen zur Planfeststellung. Ingenieurbüro Janicke. 2006.

INFRAS, 2004: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 2.1. Auftraggeber: UBA Berlin, BUWAL Bern, UBA Wien. 2004.

IVU, 1996: Entwicklung eines Modellinstrumentariums für § 40 Abs. 2 BImSchG (Inerte Schadstoffe). Teilvorhaben I im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines Modellinstrumentariums zur immissionsseitigen Bewertung von Kfz-Emissionen“. FE-Vorhaben FKZ 105 02 812/2. Auftraggeber: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. 1996.

IVU UMWELT, 2004: Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Rhein-Main. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2004.

IVU UMWELT, 2006A: G 13.3: Luftschadstoffgutachten - Kfz-Verkehr und stationäre Quellen im Umland; Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlagen zur Planfeststellung. 2006.

IVU UMWELT, 2006B: Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub und Stickstoffdioxid. FKZ 204 42 222. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unter Mitarbeit von ifeu Heidelberg GmbH. 2006.

IVU UMWELT, 2007: Aktualisierung der Datengrundlage für EKatDyn. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2007.

IVU UMWELT, 2008: IMMIS^{em/luft/lärm} - Handbuch zur Version 4.0. 2008.

IVU Umwelt, 2009: Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen, 1. Zwischenbericht. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2009

KERSCHBAUMER, A.; REIMER, E., 2003: Erstellung der Meteorologischen Eingangsdaten für das REM/CALGRID-Modell: Modellregion Berlin-Brandenburg. Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben FE-Vorhaben 299 43 246. Freie Universität Berlin. Institut für Meteorologie. 2003.

KERSCHBAUMER, A.; STERN, R.; REIMER, E. 2005: Ausbreitungsrechnungen mit dem Aerosol-Chemie-Transportmodells REM/CALGRID für die Region Berlin-Brandenburg. Abschlußbericht. Im Rahmen des Projekts „Untersuchung des Potentials und der Umsetzbarkeit von Maßnahmen und der damit erzielbaren Minderungen der Feinstaub-(PM10) und Stickoxidemissionen in Berlin“. Institut für Meteorologie, FU Berlin. Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. 2005.

MUVEDA, 2006: G 13.2 Luftschadstoffgutachten - Kfz-Verkehr und stationäre Quellen auf dem Flughafengelände; Ausbau Flughafen Frankfurt Main, Unterlagen zur Planfeststellung. MUVEDA GbR. 2006.

PUTAUD, J.; ET AL, 2004: Putaud, J.; Raesa, F.; Van Dingenen, R.; Brüggemann, E.; Facchini, M.; Decesari, S.; Fuzzi, S.; Gehrig, R.; Hueglin, C.; Laj, P.; Lorbeer, G.; Maenhaut, W.; Mihalopoulos, N.; Mueller, K.; Querol, X.; Rodriguez, S.; Schneider, J.; Spindler, G.; ten Brink, H.; Tørseth, K.; Wiedensohler, A., 2004: A European aerosol phenomenology - 2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. *Atmospheric Environment* 38 2579–2595. 2004.

REIMER, E. AND B. SCHERER, 1992. An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling, *Air Poll. Modelling and its Applications IX* (1992). Plenum Press.

SARTELET, K.; ET. AL, 2007: Sartelet, K.; Debry, E.; Fahey, K.; Roustan, Y.; Tombette, M.; Sportisse, B., 2007: Simulation of aerosols and gas-phase species over Europe with the POLYPHEMUS system. part I: model-to-data comparison for 2001. *Atmospheric Environment* 41 6116-6131. 2007.

STERN, R.; GRAFF, A.; YAMARTINO, R. J., 2003A: Dispersion Modelling within the European Community's Air Quality Framework Directive: long-term modelling of O₃, PM₁₀ and NO₂. Presented at the 26th ITM on Air Pollution Modelling and its Application. May 26-30, 2003, Istanbul, Turkey. 2003.

STERN, R.; FATH, J.; KERSCHBAUMER, A., 2003B: Erstellung der Emissionsdatenbasis Berlin-Brandenburg. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 29943 246 auf dem Gebiet des Umweltschutzes "Entwicklung eines Modellsystems für das Zusammenspiel von Messung und Rechnung für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität". Im Auftrag des Umweltbundesamts. 2003.

STERN, R., 2003C: Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM/CALGRID. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 "Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon". Im Auftrag des Umweltbundesamts. 2003.

STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005A: Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Kassel. Bericht für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie im Unterauftrag der IVU-Umwelt GmbH.

STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005B: Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID als Beitrag zur Ursachenanalyse im Rhein-Main Gebiet. Bericht für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie im Unterauftrag der IVU Umwelt GmbH.

STERN, R., KERSCHBAUMER, A., REIMER, E., 2005C: Ausbreitungsrechnungen mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID als Beitrag zur Ursachenanalyse im Lahn-Dill Gebiet. Bericht für das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie im Unterauftrag der IVU Umwelt GmbH.

STERN, R., 2005D: Der Beitrag des Ferntransports zu den PM10- und den NO₂-Konzentrationen in Deutschland: Eine Modellstudie. KRdL-Experten-Forum "Partikel und Stickstoffdioxid", VDI-KRdL-Schriftenreihe 34, 2005

STERN, R., 2006A: Großräumige PM10-Ausbreitungsmodellierung: Abschätzung der gegenwärtigen Immissionsbelastung in Europa und Prognose bis 2010. In: „Feinstaub und Stickstoffdioxid“ Wirkung-Quellen-Luftreinhaltelpläne-Minderungsmaßnahmen. Herausgeber: DIN Deutsches Institut für Normung und KRdL Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN. 2006 Beuth Verlag GmbH. 2006

STERN, R., 2006B: Der Beitrag des Ferntransports zu den PM10- und den NO₂-Konzentrationen in Deutschland unter besonderer Betrachtung der polnischen Emissionen: Eine Modellstudie. Abschlussbericht zu dem F&E-Vorhaben 204 42 202/03 „Analyse und Bewertung der Immissionsbelastung durch Feinstaub in Deutschland durch Ferntransporte“ und zu dem F&E-Vorhaben 202 43 270 „Entwicklung von Modellen zur Identifizierung von Schadstoffquellen -insbesondere im Verkehrsbereich- im Rahmen der 22. BImSchV - Dokumentation, Weiterentwicklung, Validierung und Maßnahmenplanung für ein bundeseinheitliches Vorgehen“. 2006

STERN, R.; ET.AL., 2008: Stern, R.; Bultjes, P.; Schaap, M.; Timmermans, R.; Vautard, R.; Hodzic, A.; Memmesheimer, M.; Feldmann, H.; Renner, E.; Wolke, R.; Kerschbaumer, A., 2008: A model inter-comparison study focussing on episodes with elevated PM10 concentrations. Atmospheric Environment 42 4567-4588. 2008.

TSYRO, S. G., 2005: To what extent can aerosol water explain the discrepancy between model calculated and gravimetric PM10 and PM2.5? Atmos. Chem. Phys. 5 515-532. 2005.

VAUTARD, R.; ET. AL., 2007: Vautard, R.; Bultjes P.; Thunis, P.; Cuvelier, K.; Bedogni, M.; Bessagnet, B.; Honoré, C.; Moussiopoulos, N.; Schaap, M.; Stern, R.; Tarrason, L.; van Loon, M., 2007: Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry-transport models over 4 European cities within the City-Delta project, 2007. Atmospheric Environment 41 173-188. 2007.

WHYATT, J. D.; ET. AL., 2007: Whyatt, J. D.; Metcalfe, S. E.; Nicholson, J.; Derwent, R. G.; Page, T.; Stedman, J. R., 2007: Regional scale modelling of particulate matter in the UK, source attribution and an assessment of uncertainties. Atmospheric Environment 41 3315–3327. 2007.

YAMARTINO, R. J.; WIEGAND, G., 1986: Development and Evaluation of Simple Models for the Flow, Turbulence and Pollutant Concentration Fields within an Urban Street Canyon. Atmospheric Environment 20 2137-2156. 1986.

Anhang

A.1 Darstellung der Straßenräume

Im Folgenden sind die Querschnitte der 30 ausgewählten Straßenräume dargestellt. Die Kennnummern IDx in den Bildunterschriften beziehen sich auf Tabelle 4-1.

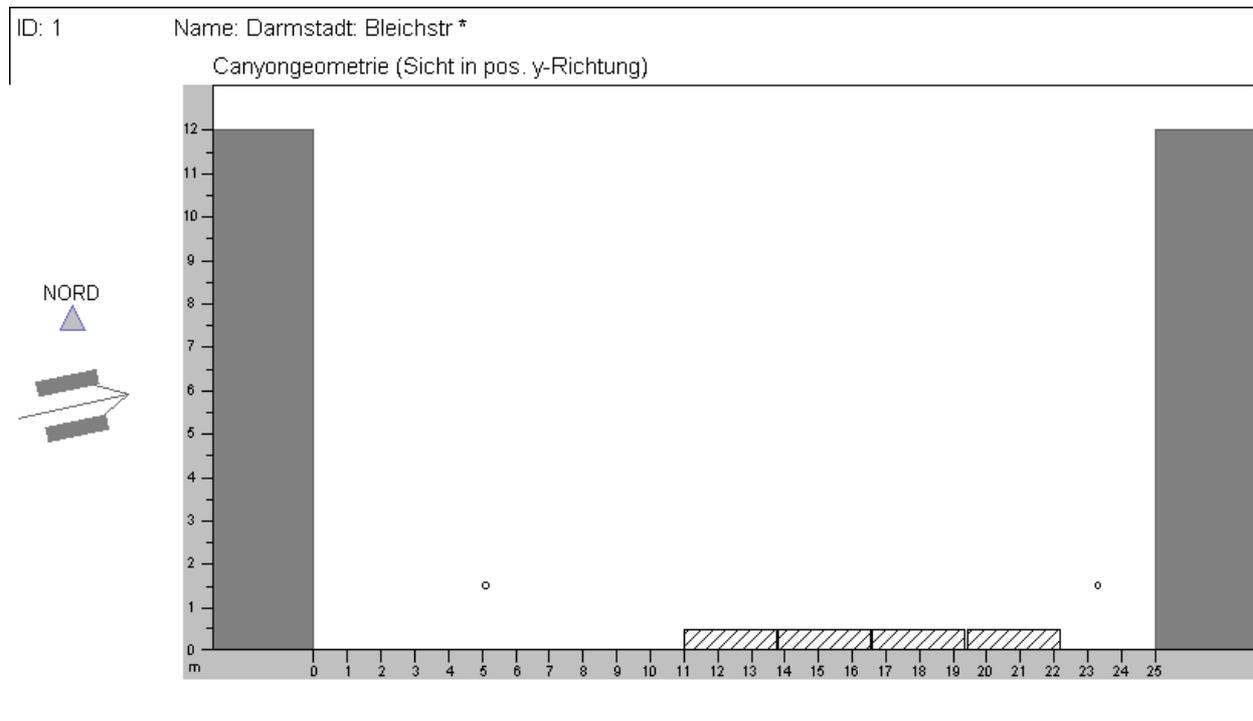


Abbildung A-1: Straßenraum Querschnitt - ID1

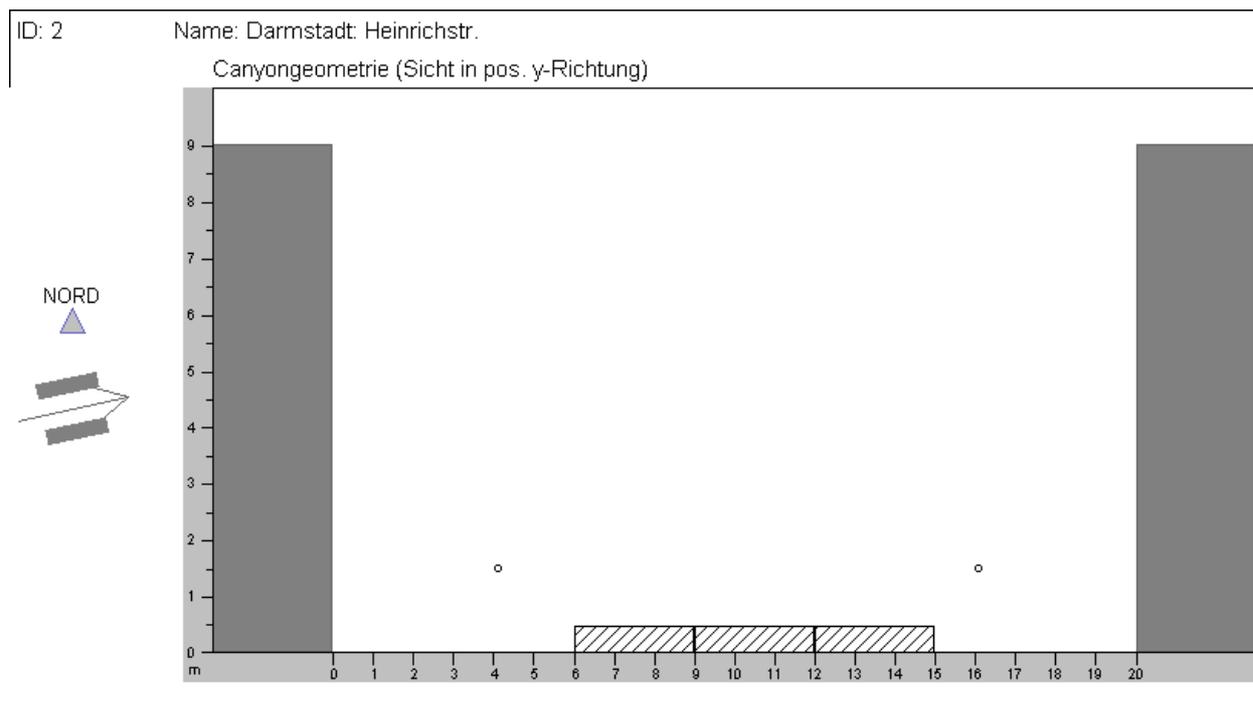


Abbildung A-2: Straßenraum Querschnitt - ID2

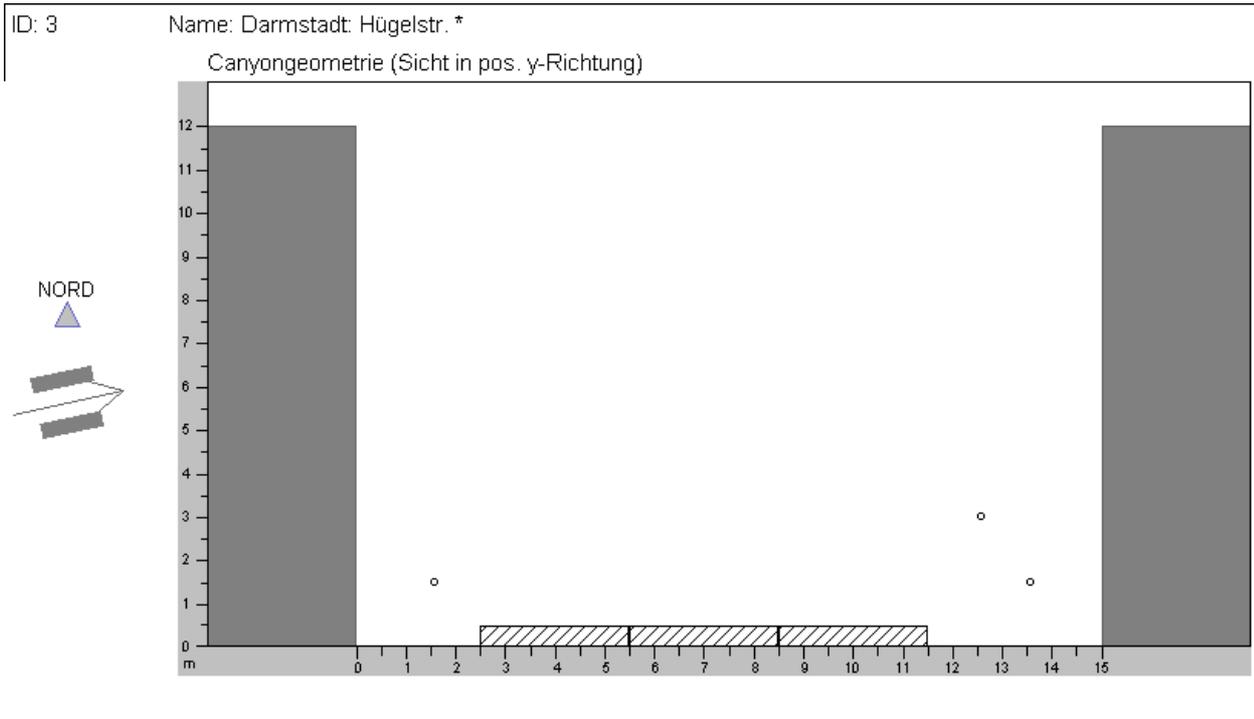


Abbildung A-3: Straßenraum Querschnitt - ID3

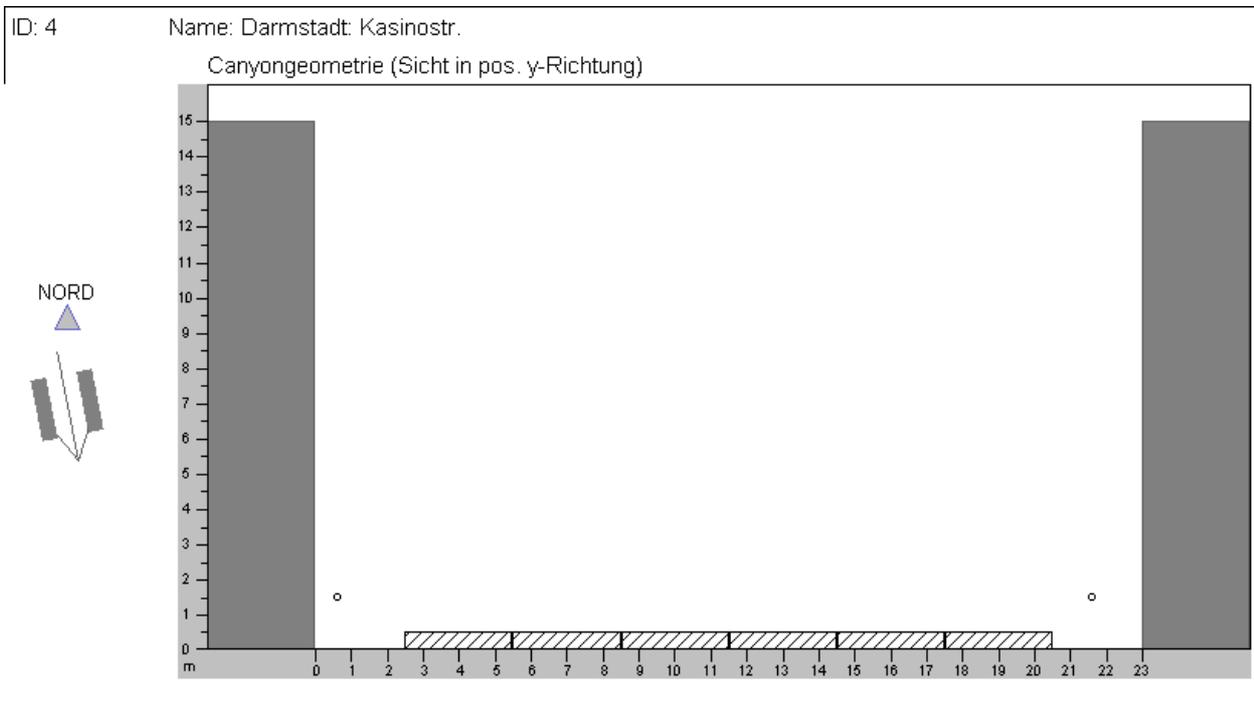


Abbildung A-4: Straßenraum Querschnitt - ID4

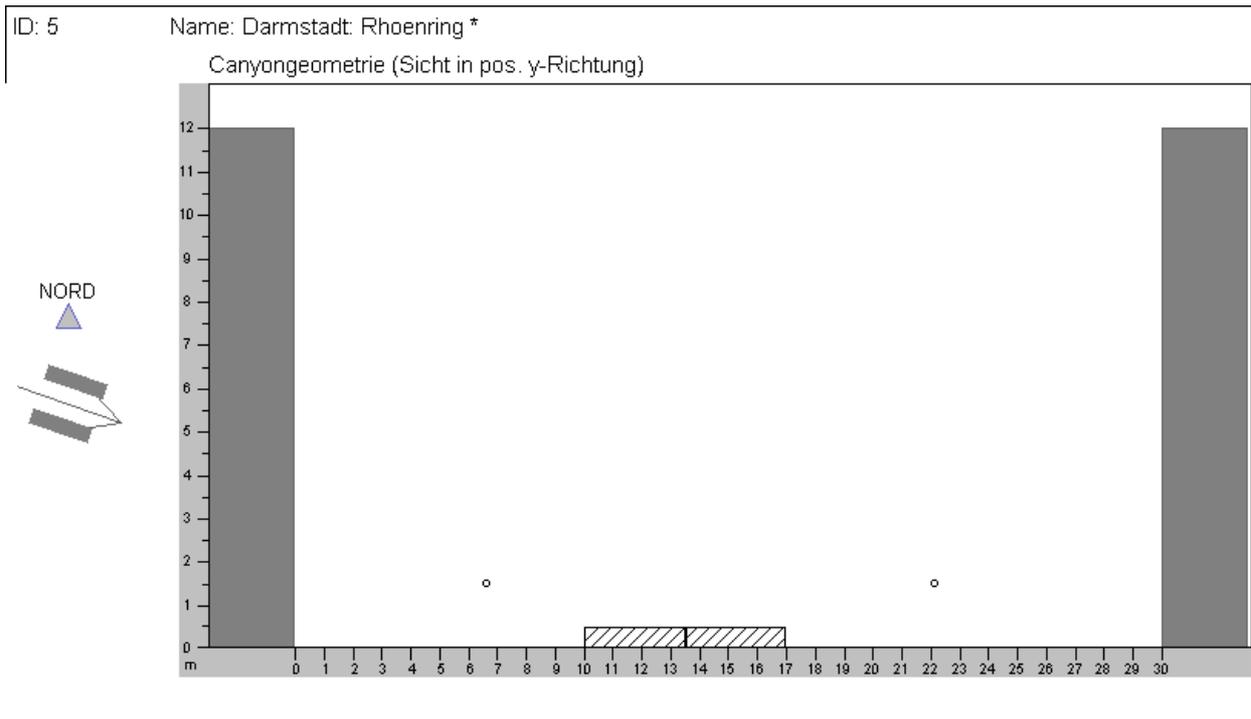


Abbildung A-5: Straßenraum Querschnitt - ID5

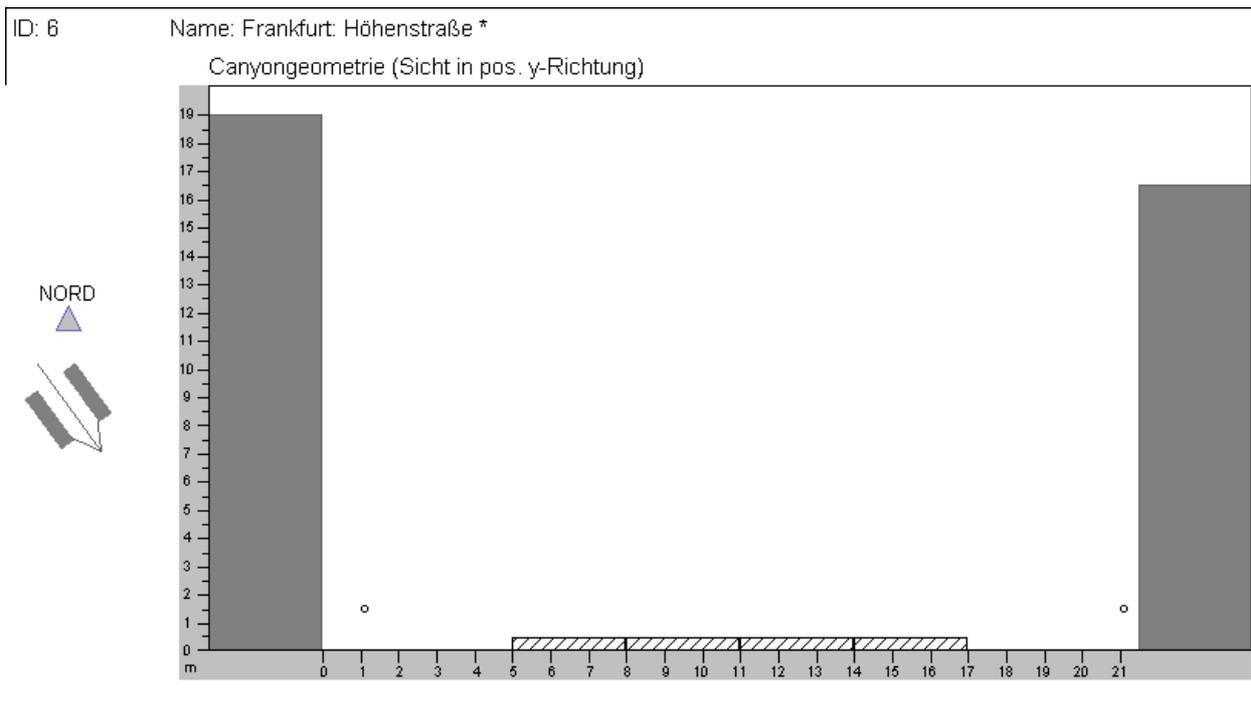


Abbildung A-6: Straßenraum Querschnitt - ID6

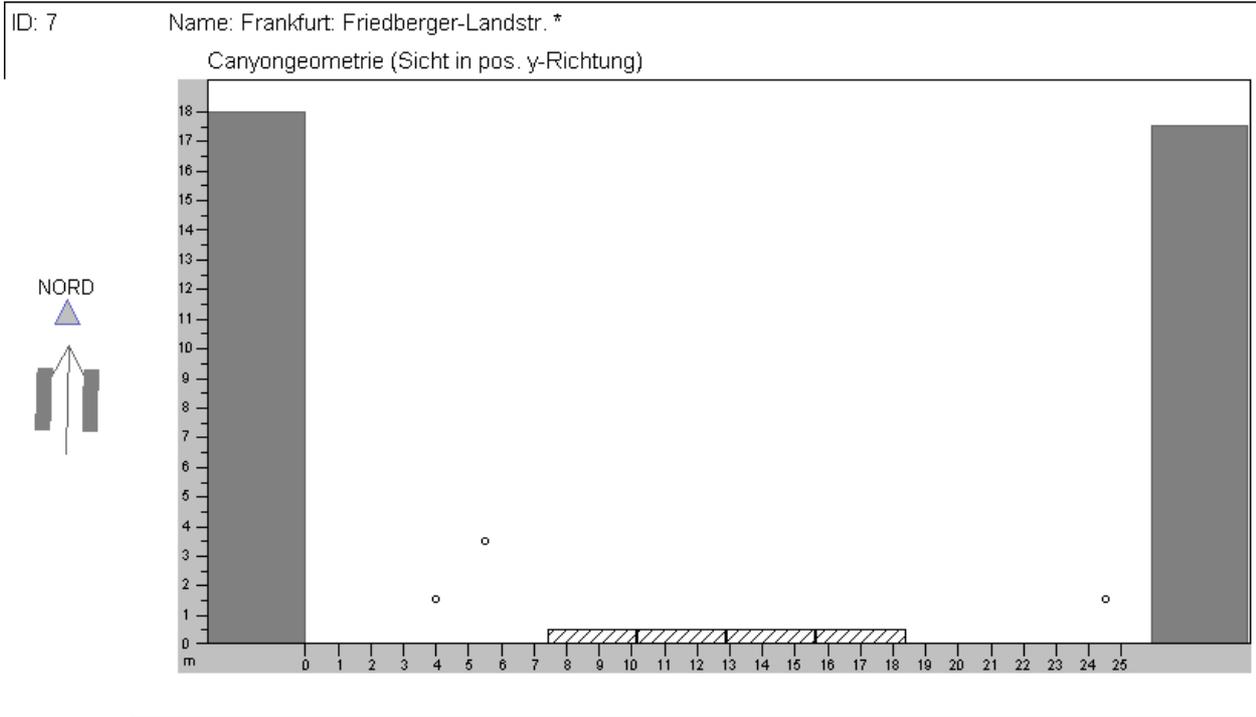


Abbildung A-7: Straßenraum Querschnitt - ID7

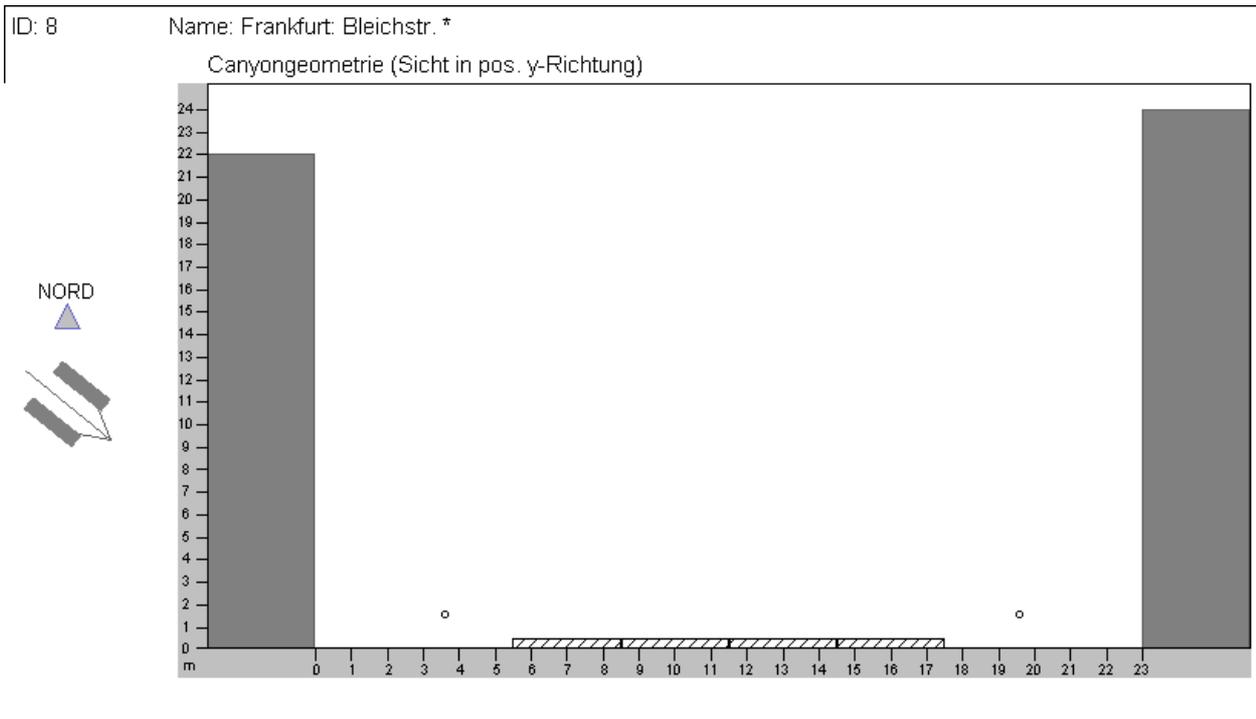


Abbildung A-8: Straßenraum Querschnitt - ID8

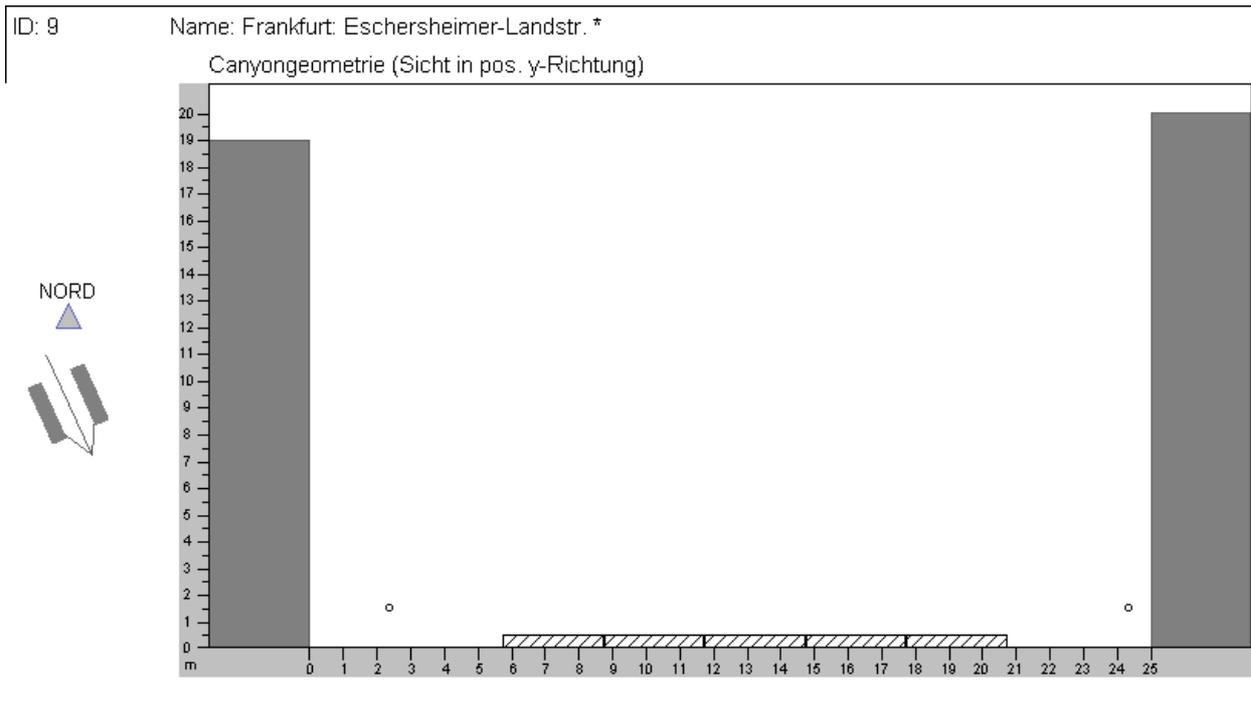


Abbildung A-9: Straßenraum Querschnitt - ID9

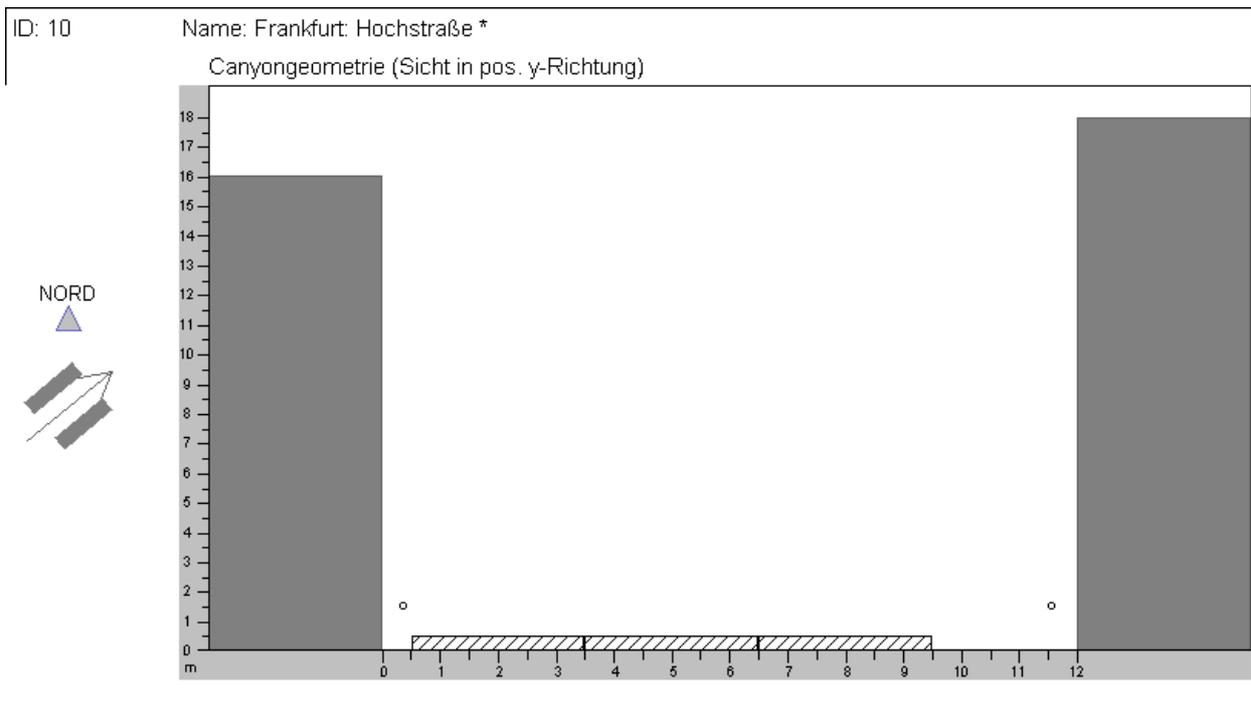


Abbildung A-10: Straßenraum Querschnitt - ID10

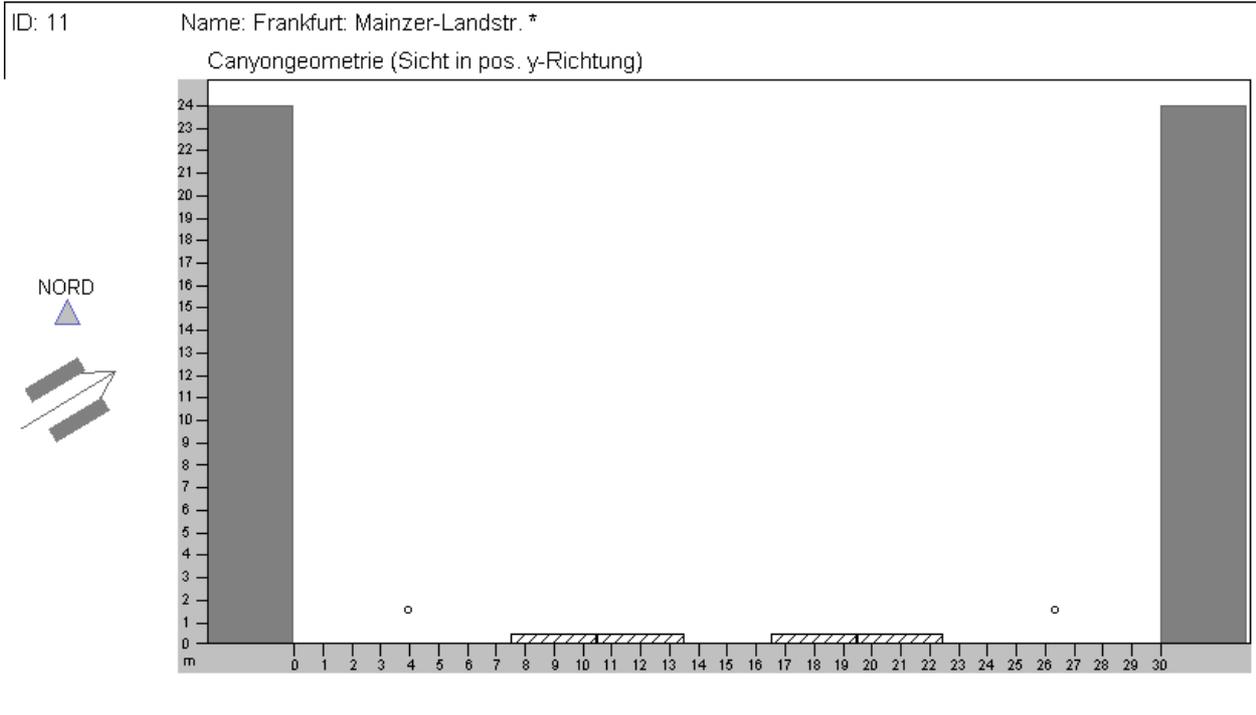


Abbildung A-11: Straßenraum Querschnitt - ID11

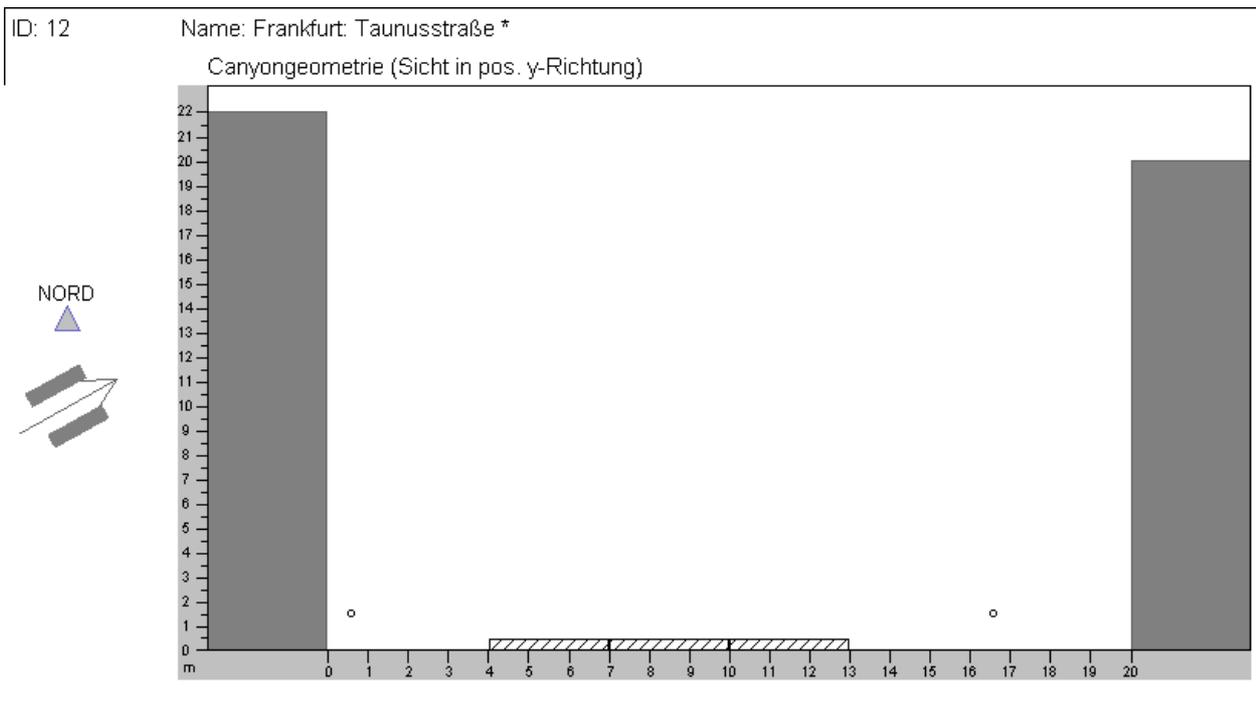


Abbildung A-12: Straßenraum Querschnitt - ID12

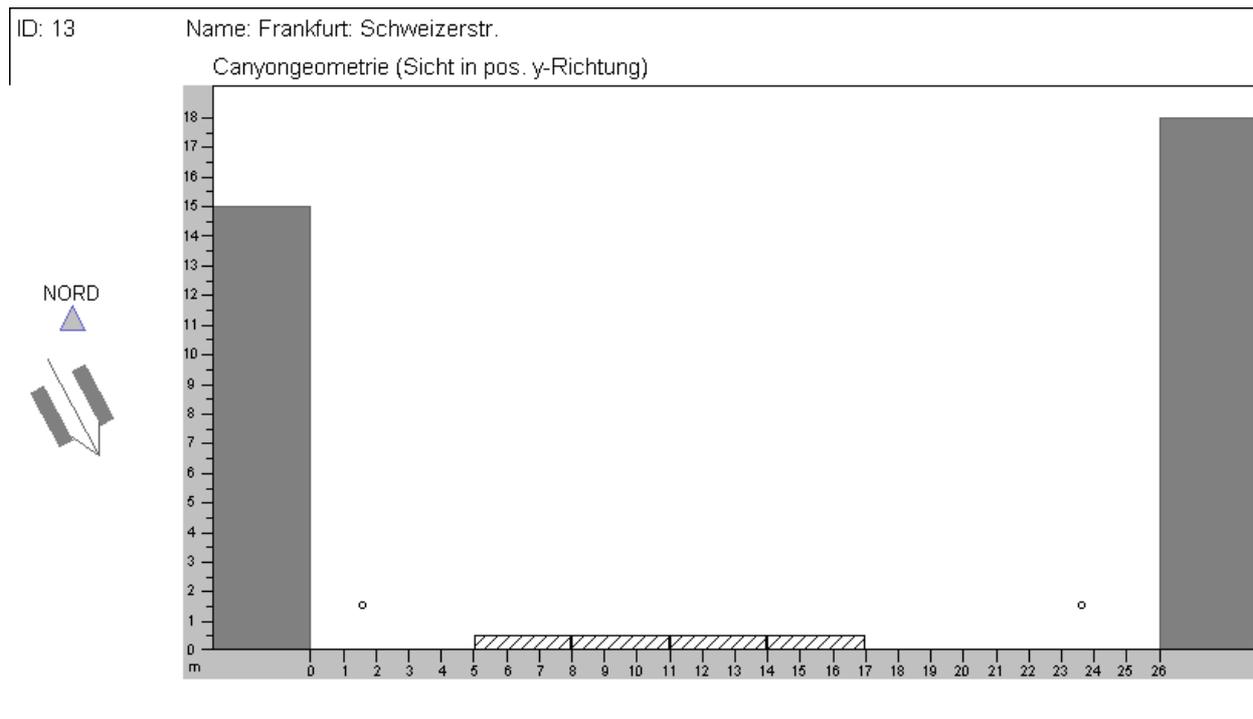


Abbildung A-13: Straßenraum Querschnitt - ID13

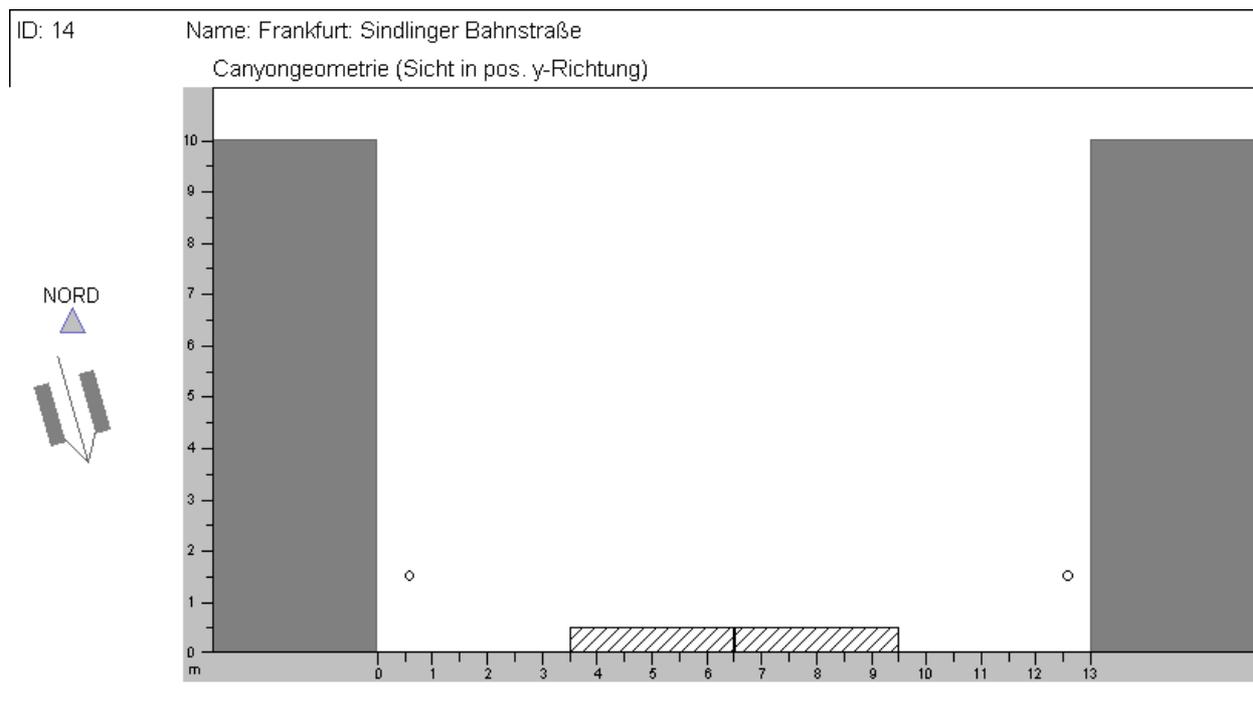


Abbildung A-14: Straßenraum Querschnitt - ID14

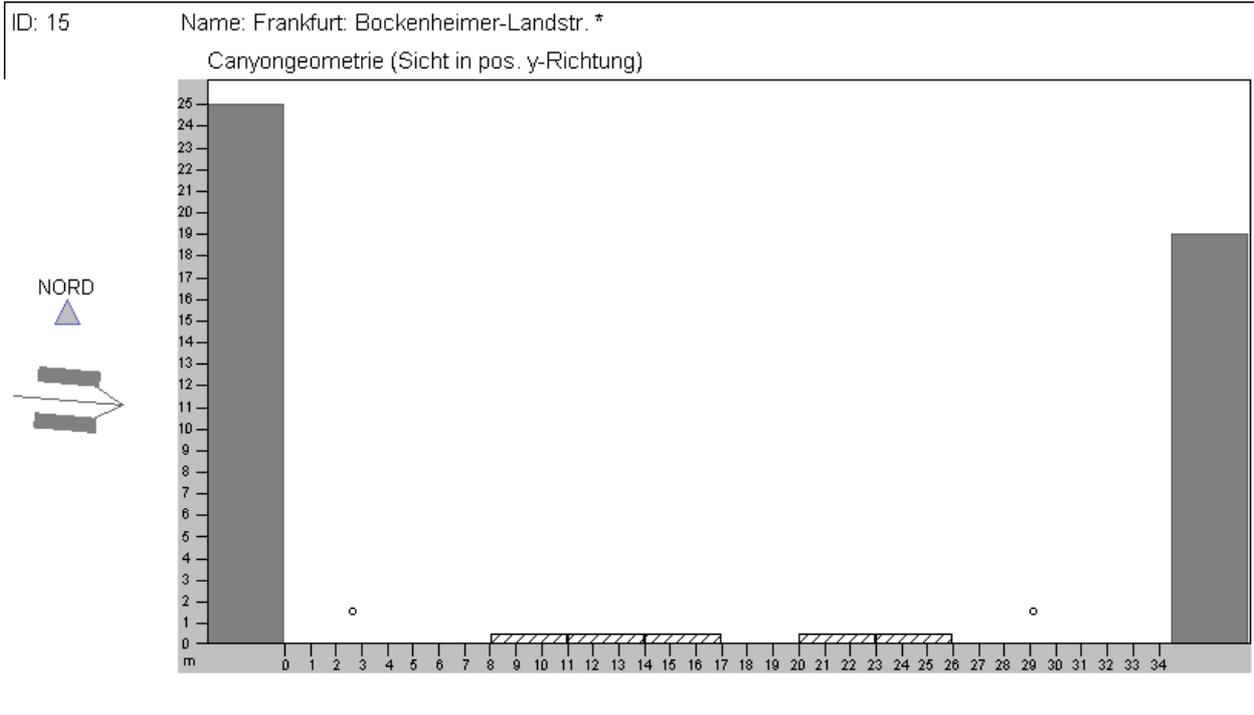


Abbildung A-15: Straßenraum Querschnitt - ID15

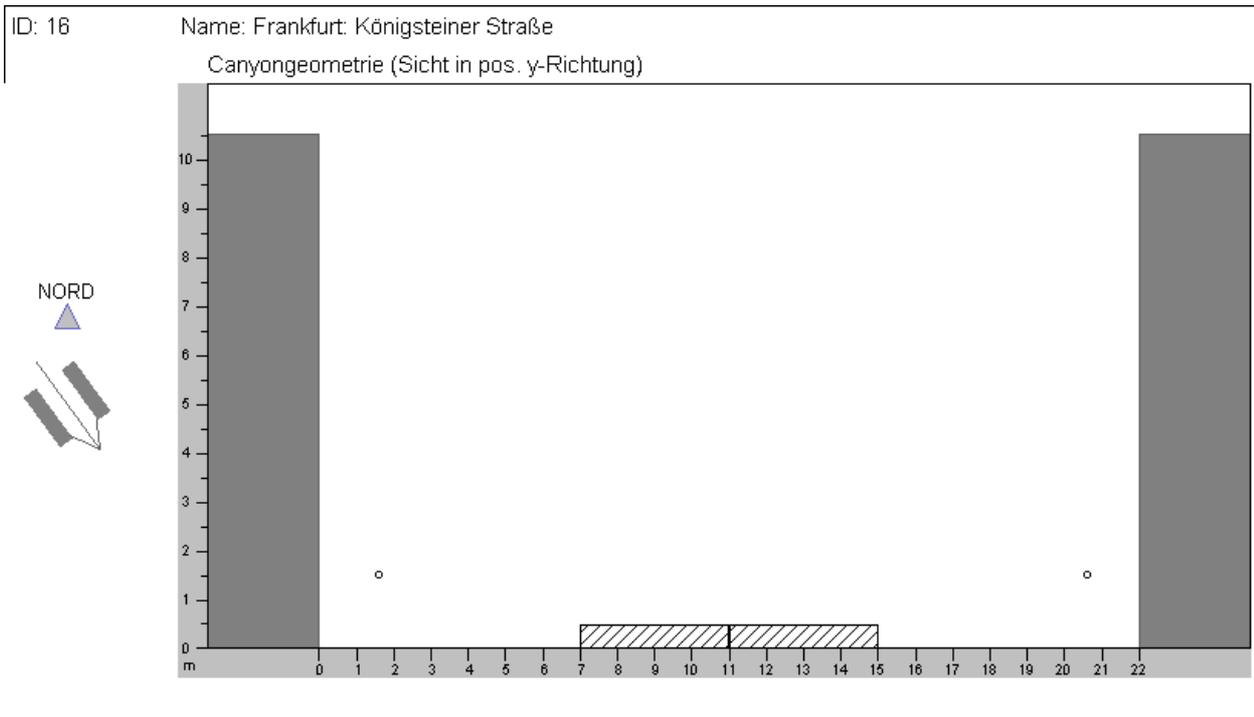


Abbildung A-16: Straßenraum Querschnitt - ID16

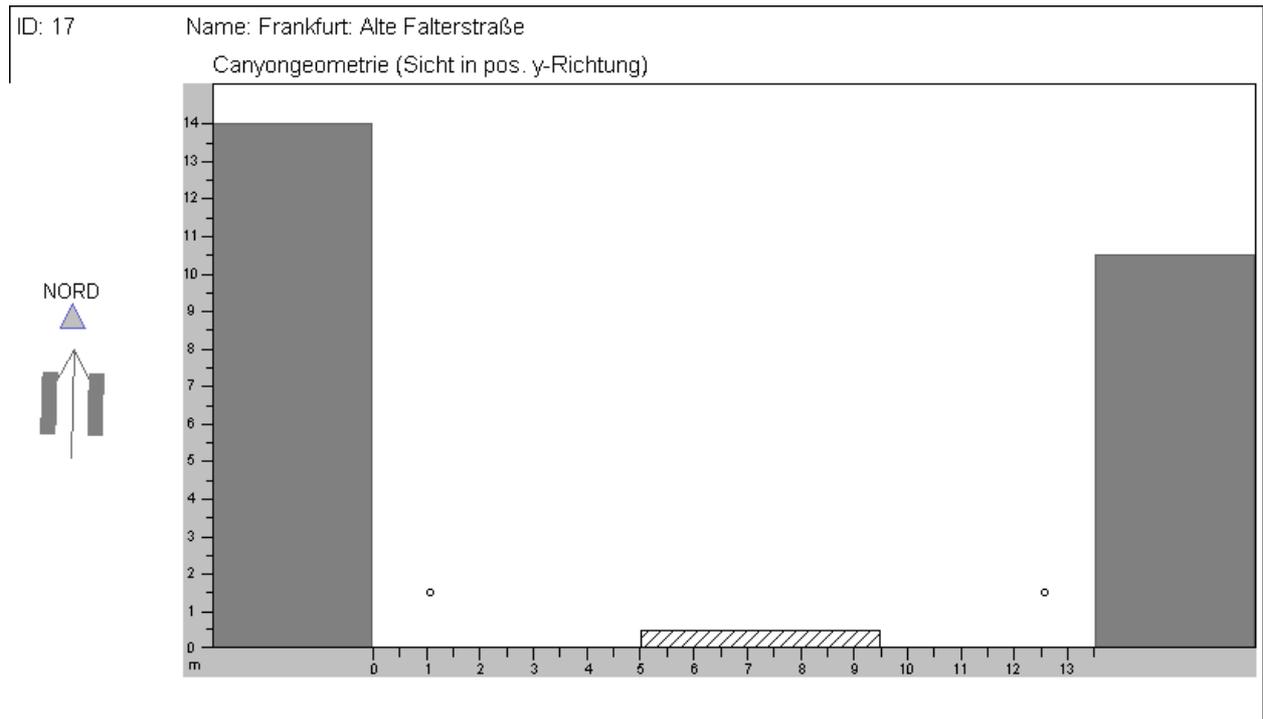


Abbildung A-17: Straßenraum Querschnitt - ID17

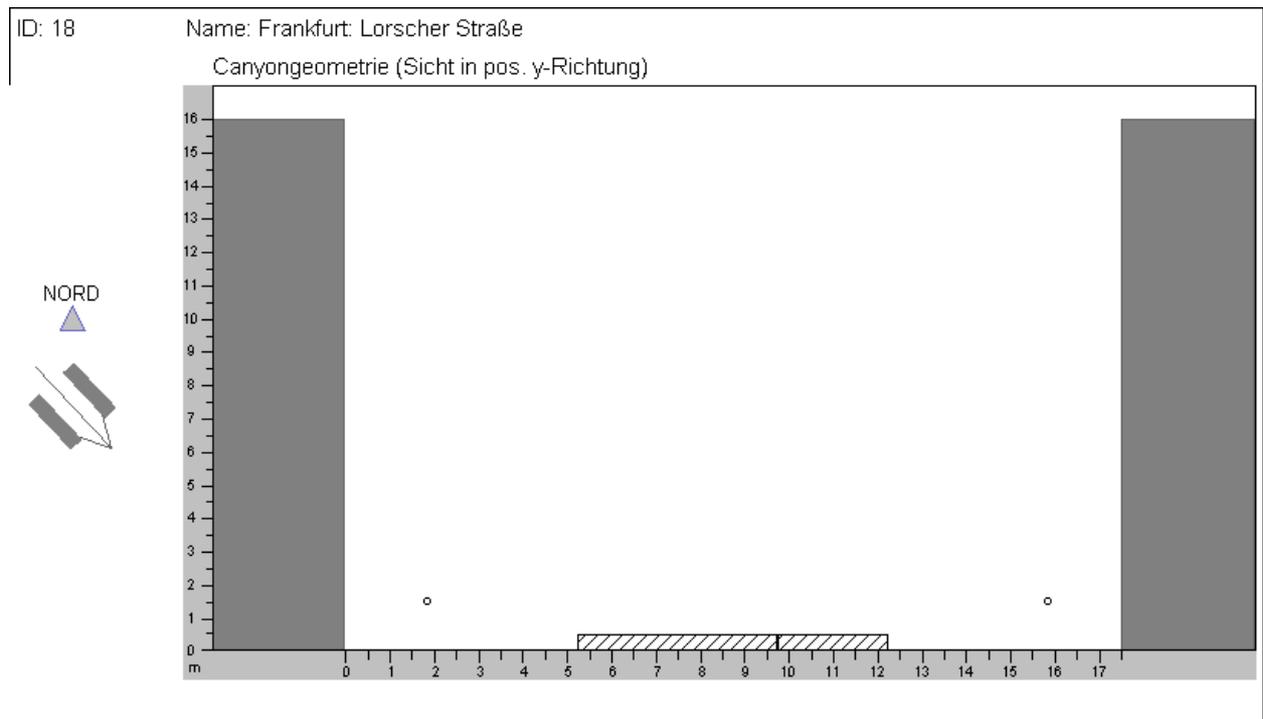


Abbildung A-18: Straßenraum Querschnitt - ID18

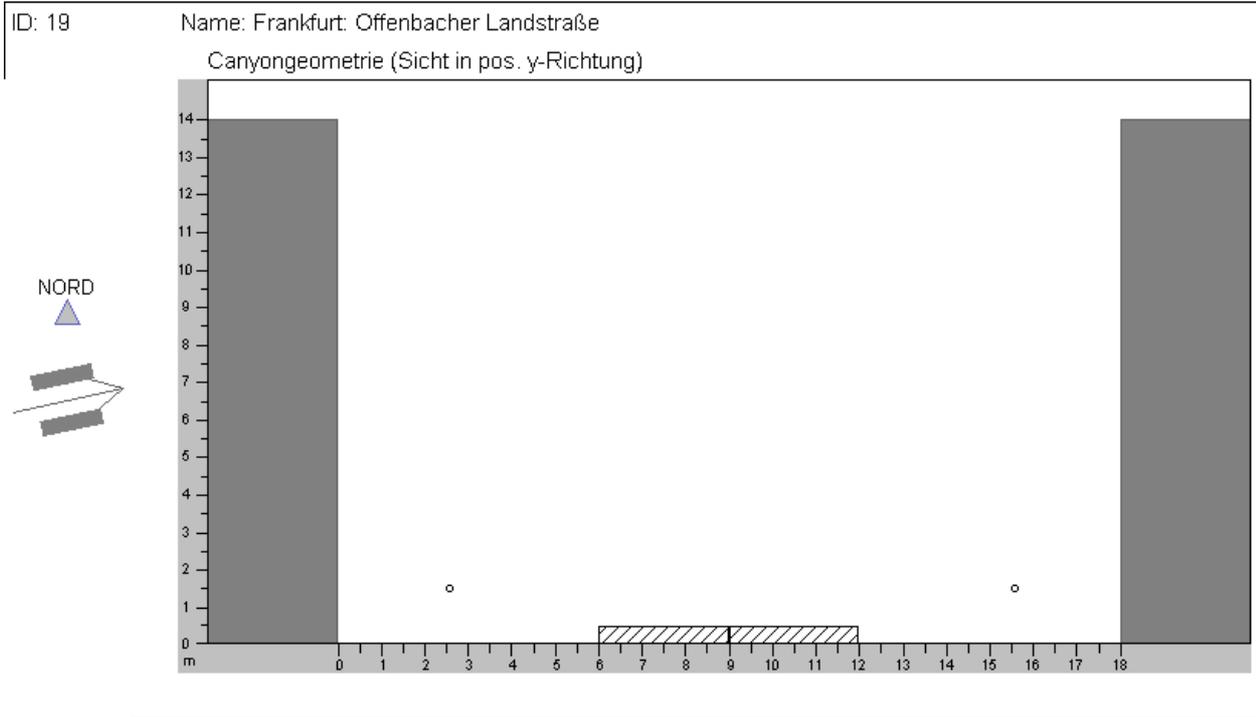


Abbildung A-19: Straßenraum Querschnitt - ID19

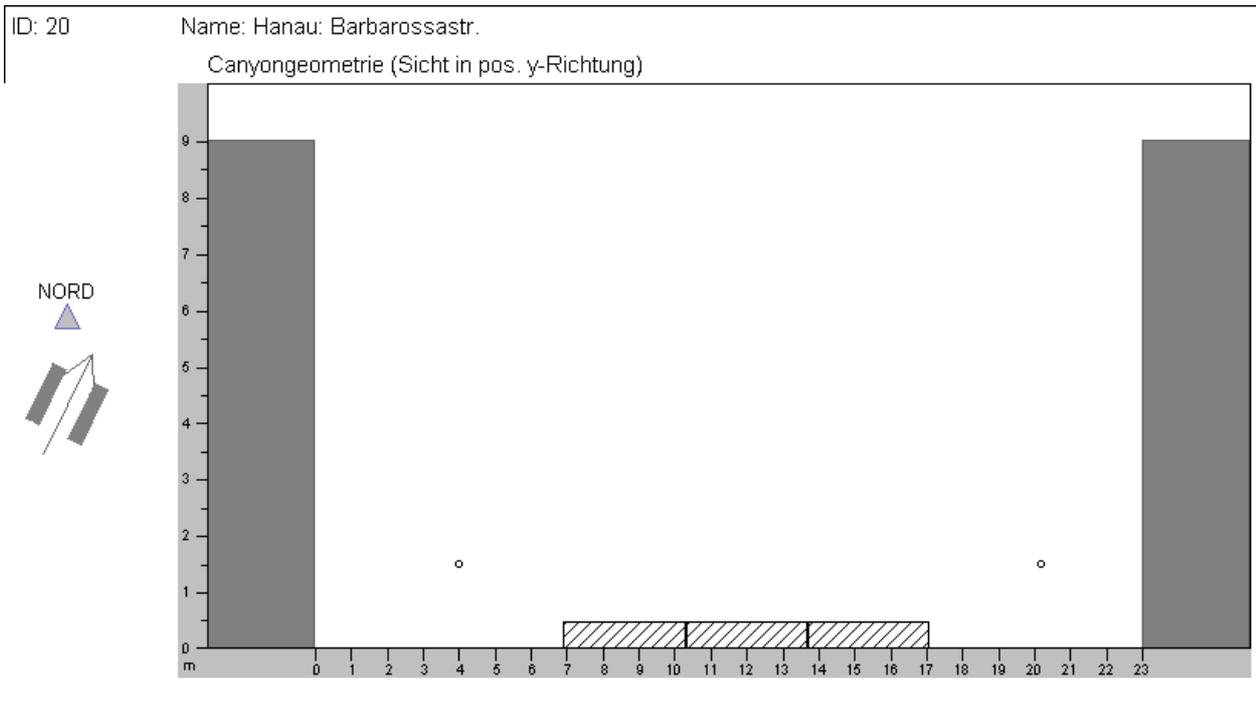


Abbildung A-20: Straßenraum Querschnitt - ID20

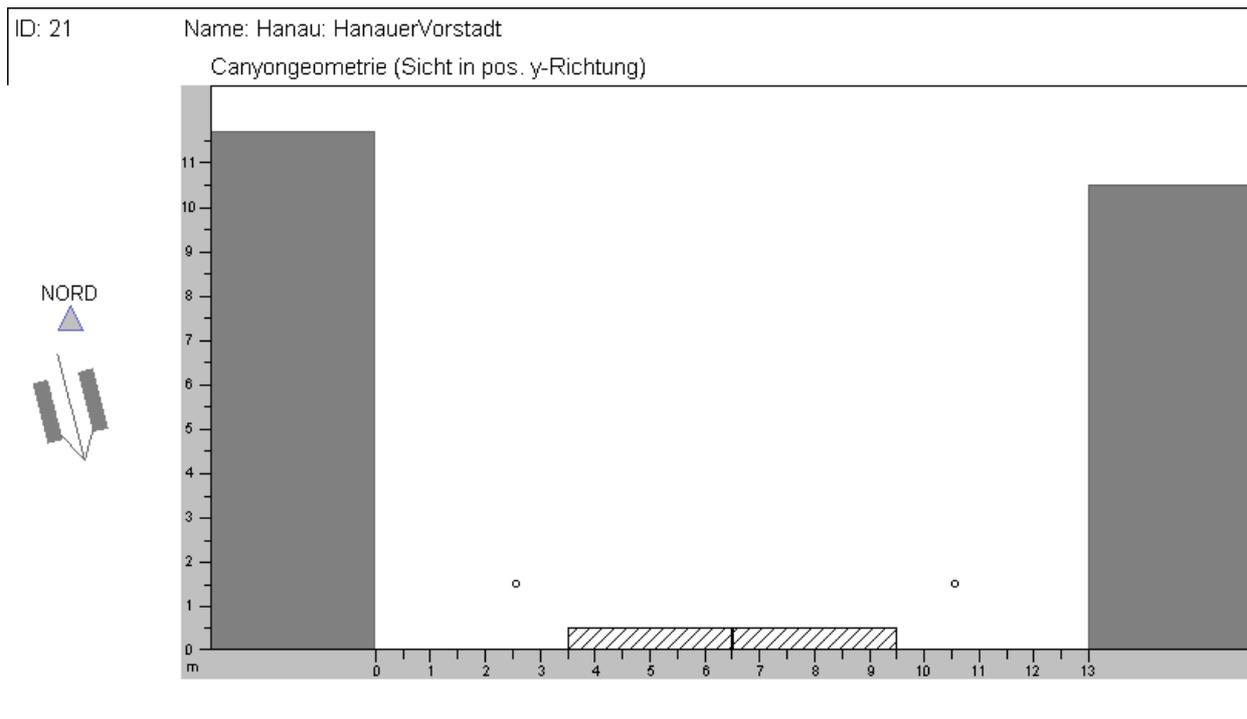


Abbildung A-21: Straßenraum Querschnitt - ID21

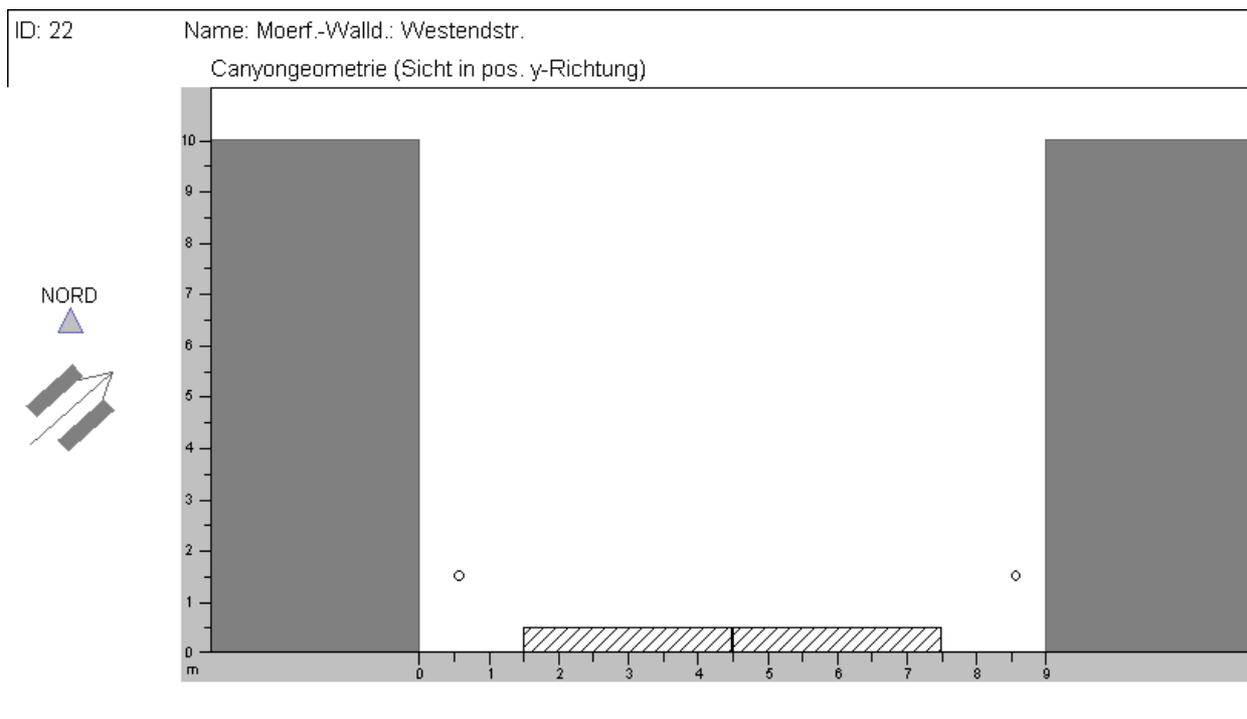


Abbildung A-22: Straßenraum Querschnitt - ID22

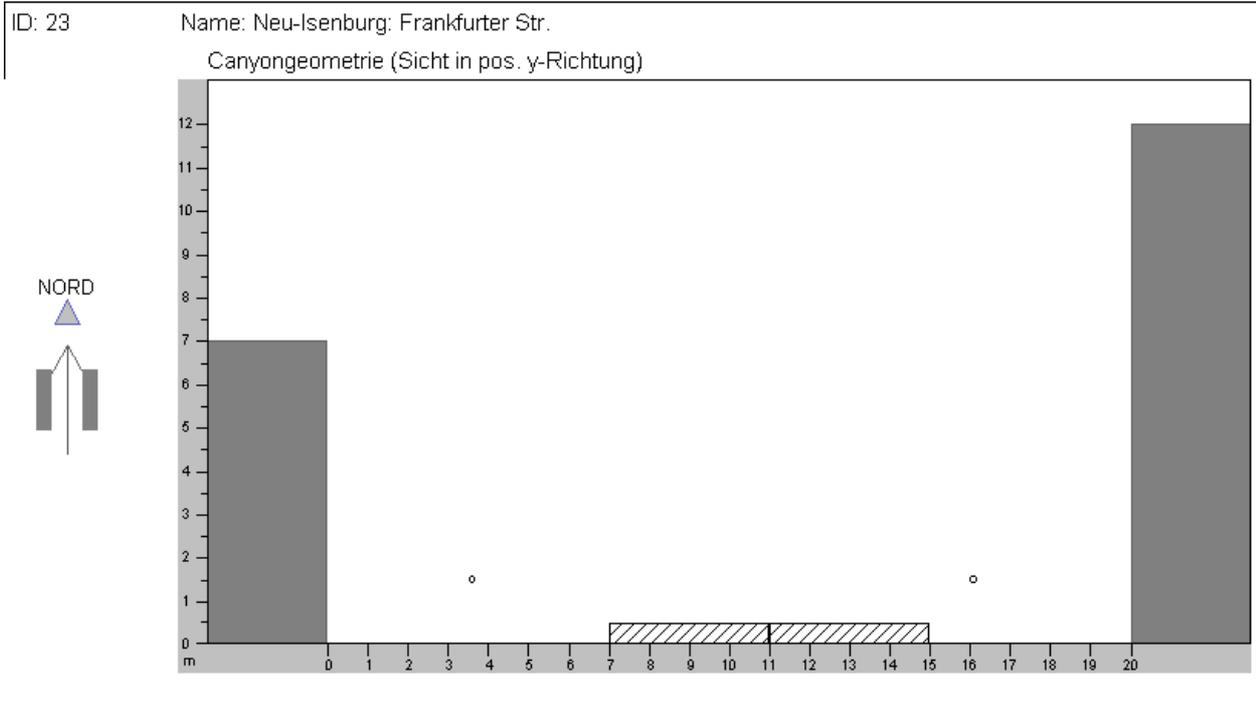


Abbildung A-23: Straßenraum Querschnitt - ID23

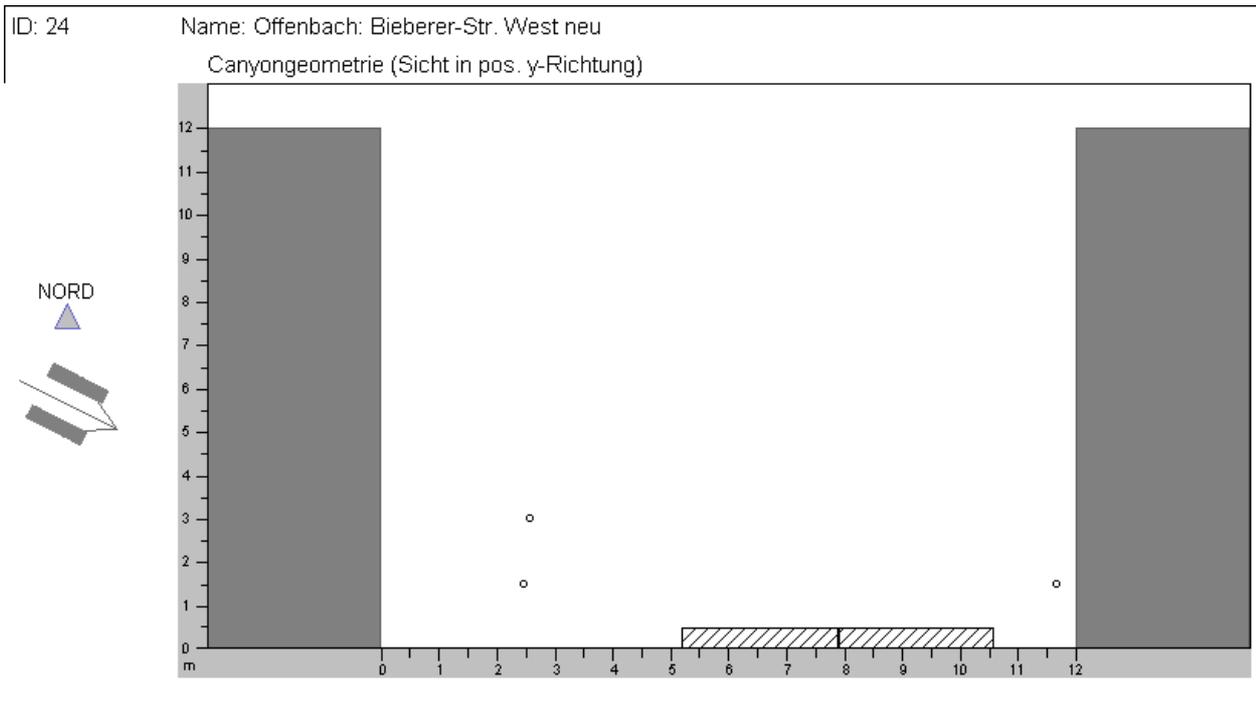


Abbildung A-24: Straßenraum Querschnitt - ID24

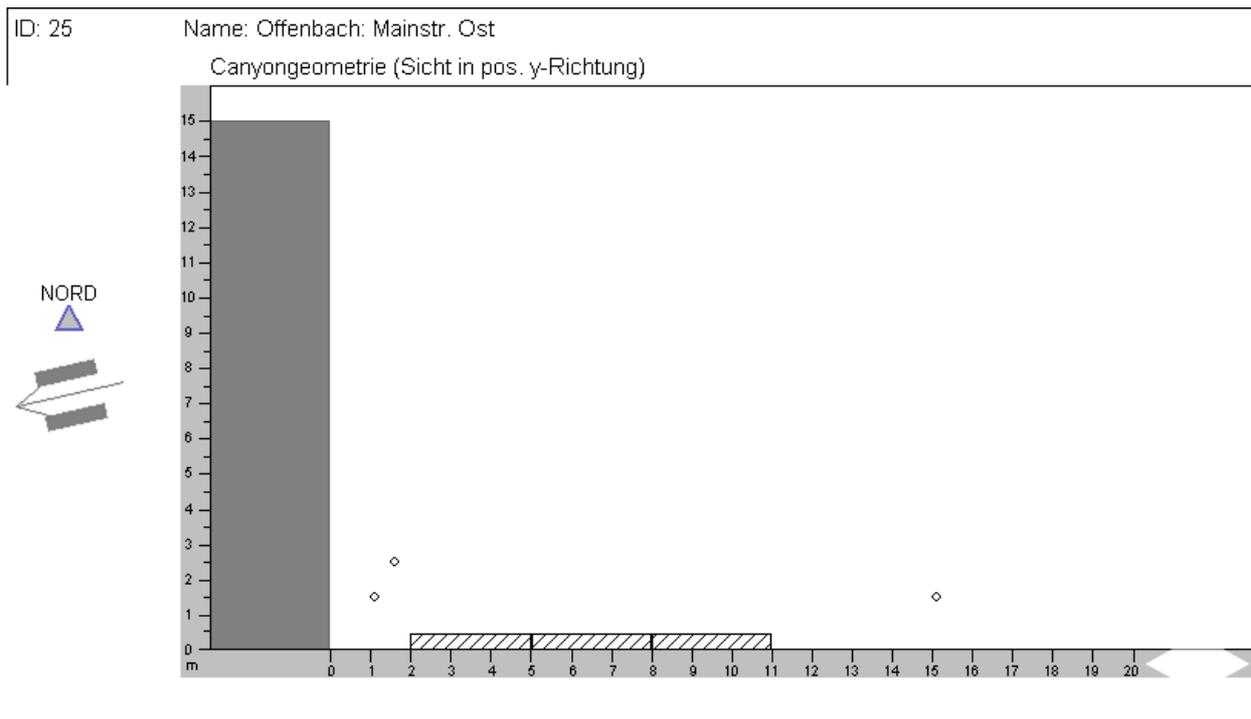


Abbildung A-25: Straßenraum Querschnitt - ID25⁶

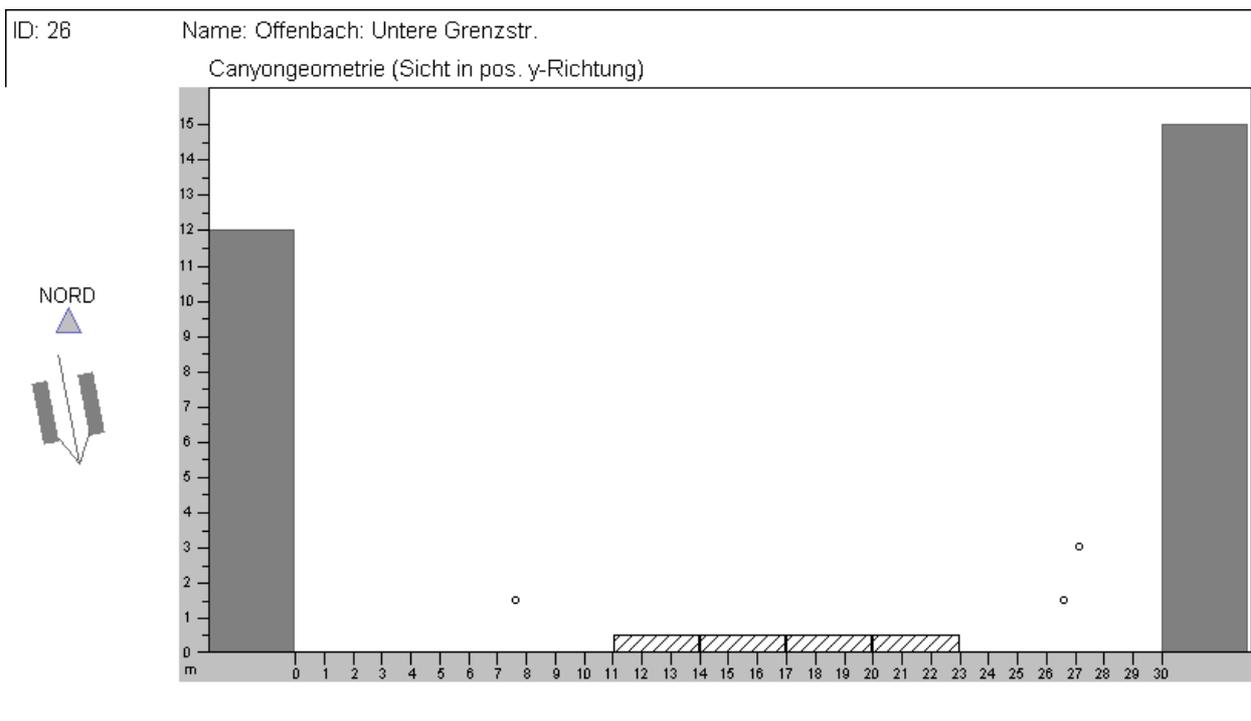


Abbildung A-26: Straßenraum Querschnitt - ID26

⁶ Für eine bessere Darstellung des Straßenraums Offenbach/Mainstr. Ost ist die Ausrichtung der Straße gegenüber der Angaben in Tabelle 5-2 um 180° gedreht worden.

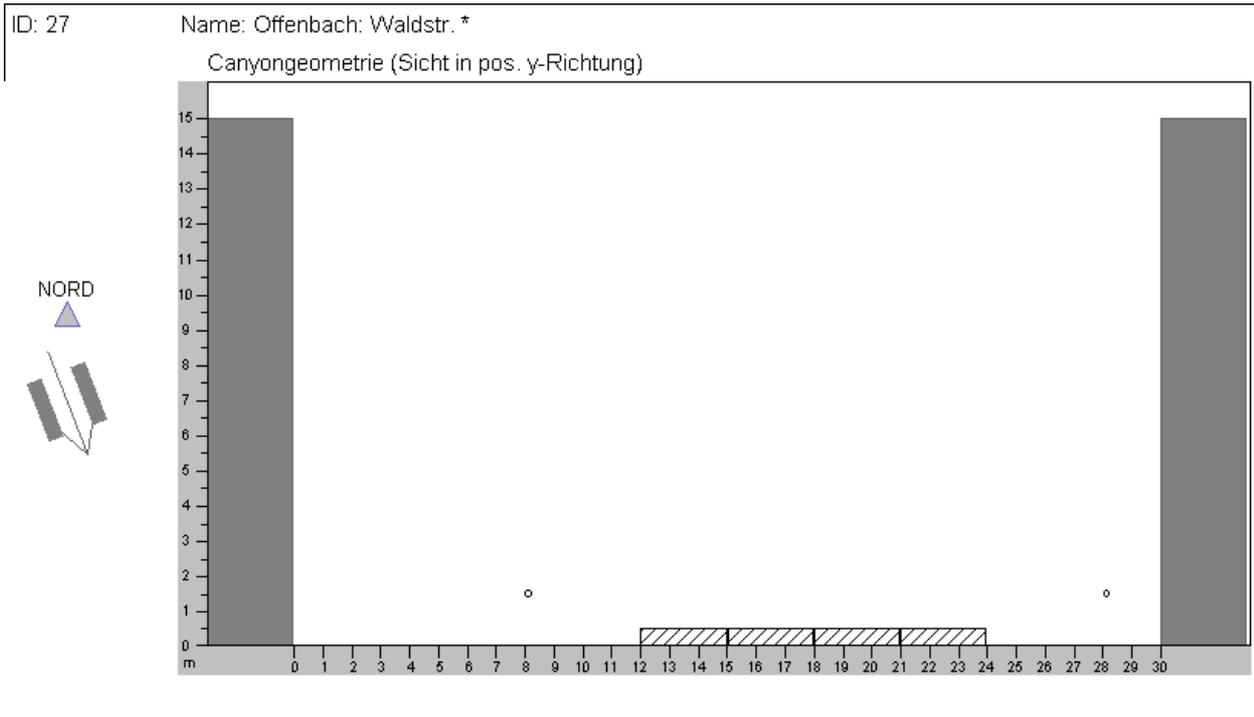


Abbildung A-27: Straßenraum Querschnitt - ID27

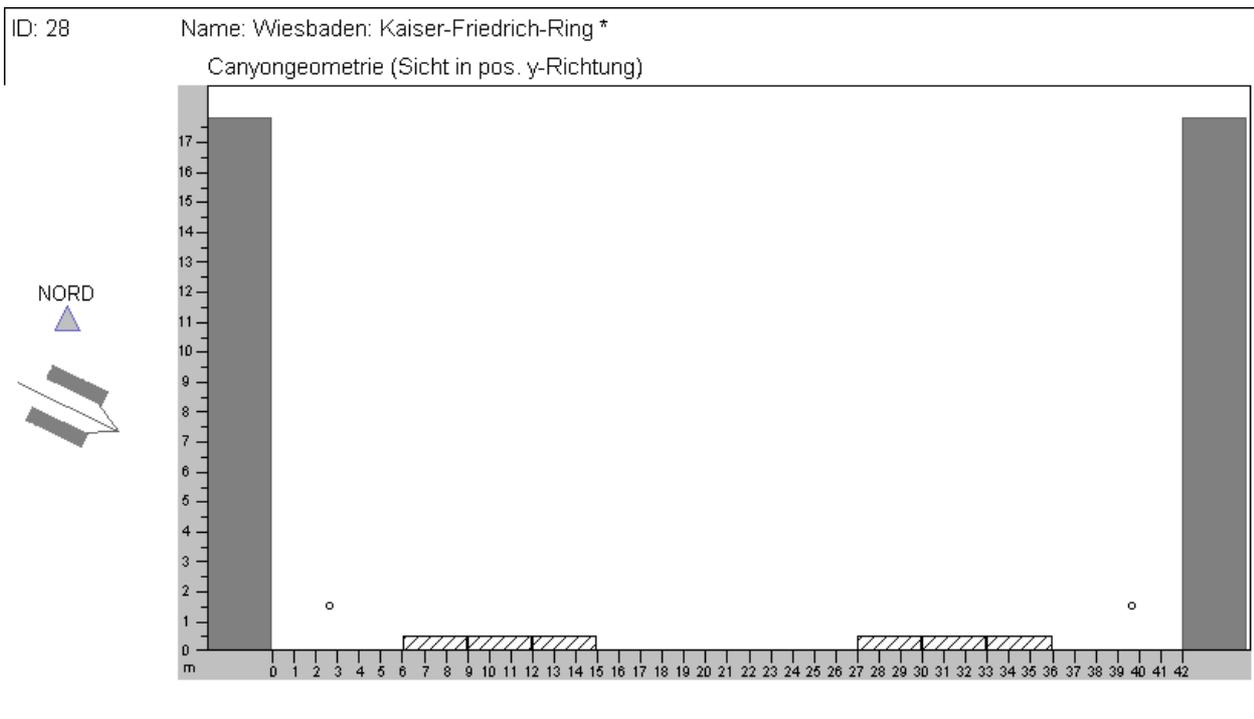


Abbildung A-28: Straßenraum Querschnitt - ID28

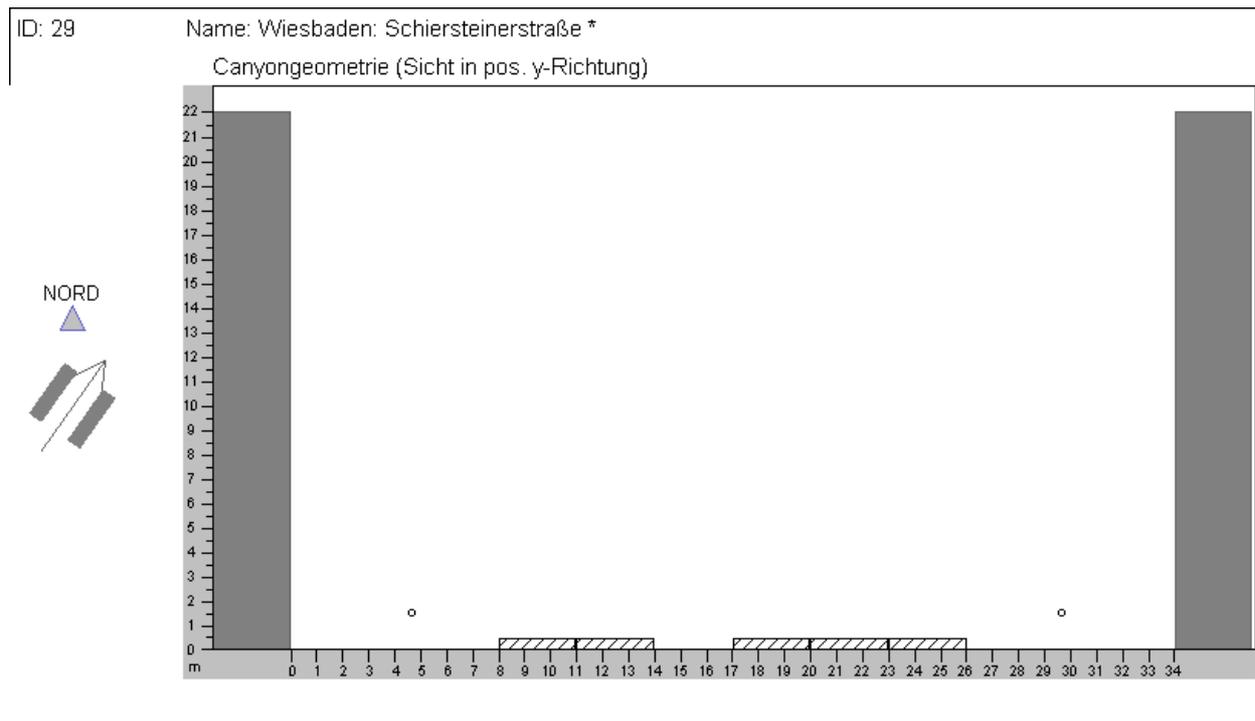


Abbildung A-29: Straßenraum Querschnitt - ID29

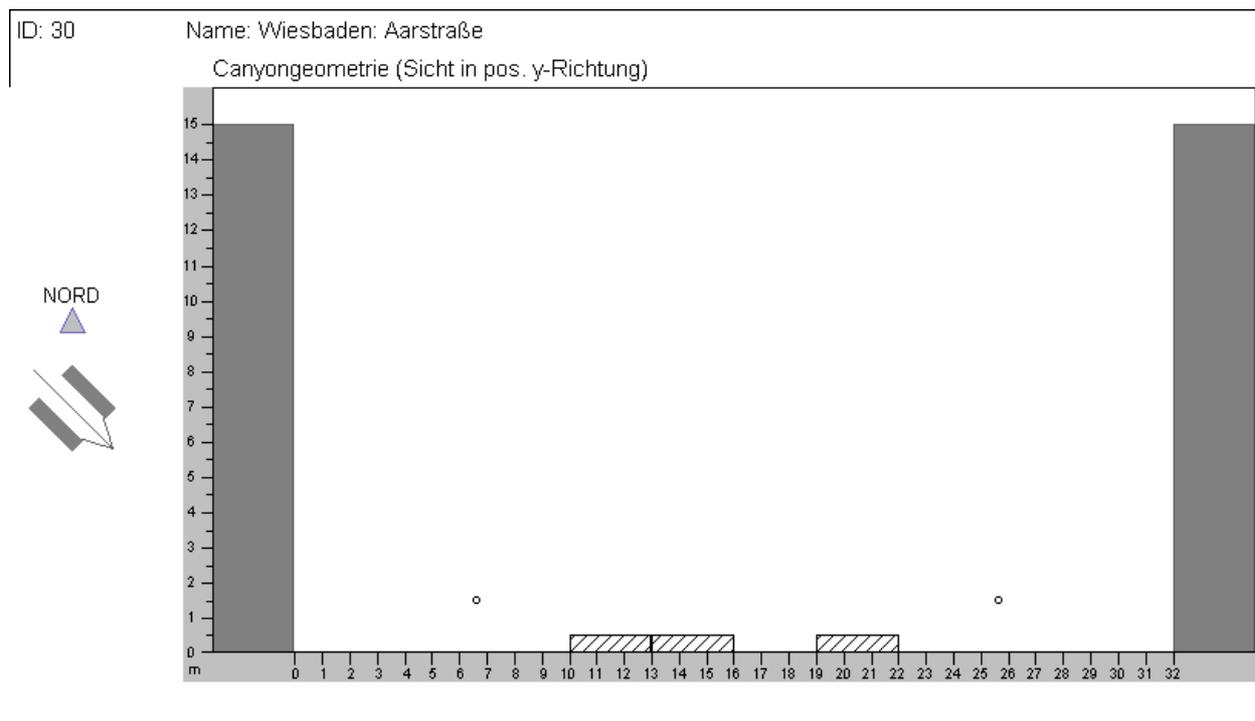


Abbildung A-30: Straßenraum Querschnitt - ID30