

**Bericht zum  
Luftqualitätsmodell Krefeld**

**Feinscreening  
für 12 ausgewählte Gebiete  
innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld**

---

**Stand: Januar 2009**

**iMA cologne GmbH**

Neuenhöfer Allee 49-51  
D-50935 Köln

Tel (0221) 943 95 - 40  
Fax (0221) 943 95 - 48  
ISDN (0221) 943 95 - 49  
E-mail [iMA\\_cologne@gmx.de](mailto:iMA_cologne@gmx.de)

**Bericht zum  
Luftqualitätsmodell Krefeld  
  
Feinscreening  
für 12 ausgewählte Gebiete  
innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld**

---

**Stand: Januar 2009**

Auftraggeber:	Stadt Krefeld Fachbereich Umwelt und Technik Konrad-Adenauer-Platz 17 D - 47792 Krefeld
Auftrags-Nr. :	P0762041
Auftrag vom:	26.06.2008
Bearbeiter	Dr. P. Scherer
Seitenzahl	28 + Anhang
Datum:	12. Feb. 2009

## INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
<b>1. Aufgabenstellung</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Untersuchungsgebiete</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Bewertungsgrundlagen</b> .....	<b>8</b>
3.1 Luftschadstoffe .....	8
3.2 Grenzwerte und Zielwerte .....	8
<b>4 Wind- und Ausbreitungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet</b> .....	<b>11</b>
4.1 Allgemeines .....	11
4.2 Messungen.....	11
<b>5 Emissionen</b> .....	<b>14</b>
5.1 Straßenverkehr .....	14
<b>6 Ausbreitungsrechnungen</b> .....	<b>16</b>
6.1 Ausbreitungsmodell .....	16
6.2 Berechnung der Zusatzbelastung .....	17
6.3 Berechnung der Gesamtbelastung .....	17
6.4 Umwandlung NO $\Rightarrow$ NO <sub>2</sub> .....	18
<b>7 Schadstoffimmissionen</b> .....	<b>19</b>
7.1 Überblick .....	19
7.2 Hintergrundbelastung.....	19
<b>8 Ergebnisse der Immissionsprognose</b> .....	<b>22</b>
<b>8. Zusammenfassung</b> .....	<b>25</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>27</b>
<b>Anhang</b>	

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

### IM ANHANG

#### Gebiet 01: Nassauerriering

NA-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
NA-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NA-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
NA-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NA-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 02: Nassauerriering / Blumentalstraße

NB-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
NB-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NB-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
NB-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NB-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 03: Oranierriering

OR-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
OR-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OR-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
OR-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OR-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 04: Moerser Straße / Blumentalstraße

MB-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
MB-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
MB-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
MB-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
MB-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 05: Nordwall

NW-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
NW-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NW-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
NW-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
NW-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 06: Ostwall (inkl. St.-Anton Straße)

OW-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
OW-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OW-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
OW-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OW-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 07: Obergath / Kölner Straße

OK-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
OK-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OK-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
OK-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OK-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

#### Gebiet 08: Kölner Straße südlich

KS-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
KS-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
KS-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
KS-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
KS-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

**Gebiet 09: Obergath / Gladbacher Straße**

OG-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
OG-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OG-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
OG-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
OG-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

**Gebiet 10: Hafelsstraße / Kölner Straße**

HK-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
HK-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
HK-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
HK-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
HK-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

**Gebiet 11: A57 Nord**

AN-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
AN-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
AN-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
AN-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
AN-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

**Gebiet 12: A57 Mitte**

AM-NO2I1-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Jahresmittelwert, Prognose 2010
AM-NO2I3-Prog10 :	NO <sub>2</sub> Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
AM-PM10I1-Prog10 :	PM10 Jahresmittelwert, Prognose 2010
AM-PM10I3-Prog10 :	PM10 Überschreitungshäufigkeit, Prognose 2010
AM-BENI1-Prog10 :	Benzol Jahresmittelwert, Prognose 2010

## **1. Aufgabenstellung**

Die Stadt Krefeld benötigt für die Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplanung und zur Abschätzung möglicher Auswirkungen von stadtplanerischen Vorhaben auf die Luftqualität im Stadtgebiet Informationen zur lufthygienischen Vorbelastung in ausgewählten Gebieten innerhalb des Stadtgebietes.

Die iMA cologne GmbH wurde von der Stadt Krefeld mit der Durchführung von Feinscreening-Berechnungen zum Luftqualitätsmodell Krefeld für 12 ausgewählte Gebiete innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld beauftragt. Für diese Gebiete sollen die Luftschadstoffimmissionen im Sinne eines definierten Prognosefalls für das Bezugsjahr 2010 insbesondere unter Berücksichtigung des Emittenten Kfz-Verkehr flächendeckend für die Luftschadstoffkomponenten NO<sub>2</sub>, PM10 Feinstaub und Benzol im Sinne der 22. BImSchV auf Basis geeigneter Ausbreitungsmodelle für Luftschadstoffe prognostiziert werden. Die in vorangegangenen Grobscreening-Berechnungen innerhalb des Stadtgebietes für das Prognosejahr 2010 ermittelten Immissionen für Industrie und Hausbrand sollen im Sinne einer prognostizierten Zusatzbelastung in den Feinscreening-Berechnungen berücksichtigt werden.

Für das Feinscreening wurde in Abstimmung mit der Stadt Krefeld das Jahr 2010 als möglichst zeitnahes Bezugsjahr gewählt, ab dem alle Grenzwerte der 22. BImSchV ohne Toleranzmargen gültig und insbesondere die Hintergrundbelastungen sowie die Kfz-bedingten Emissionen pessimal höher als in folgenden Bezugsjahren anzusetzen sind.

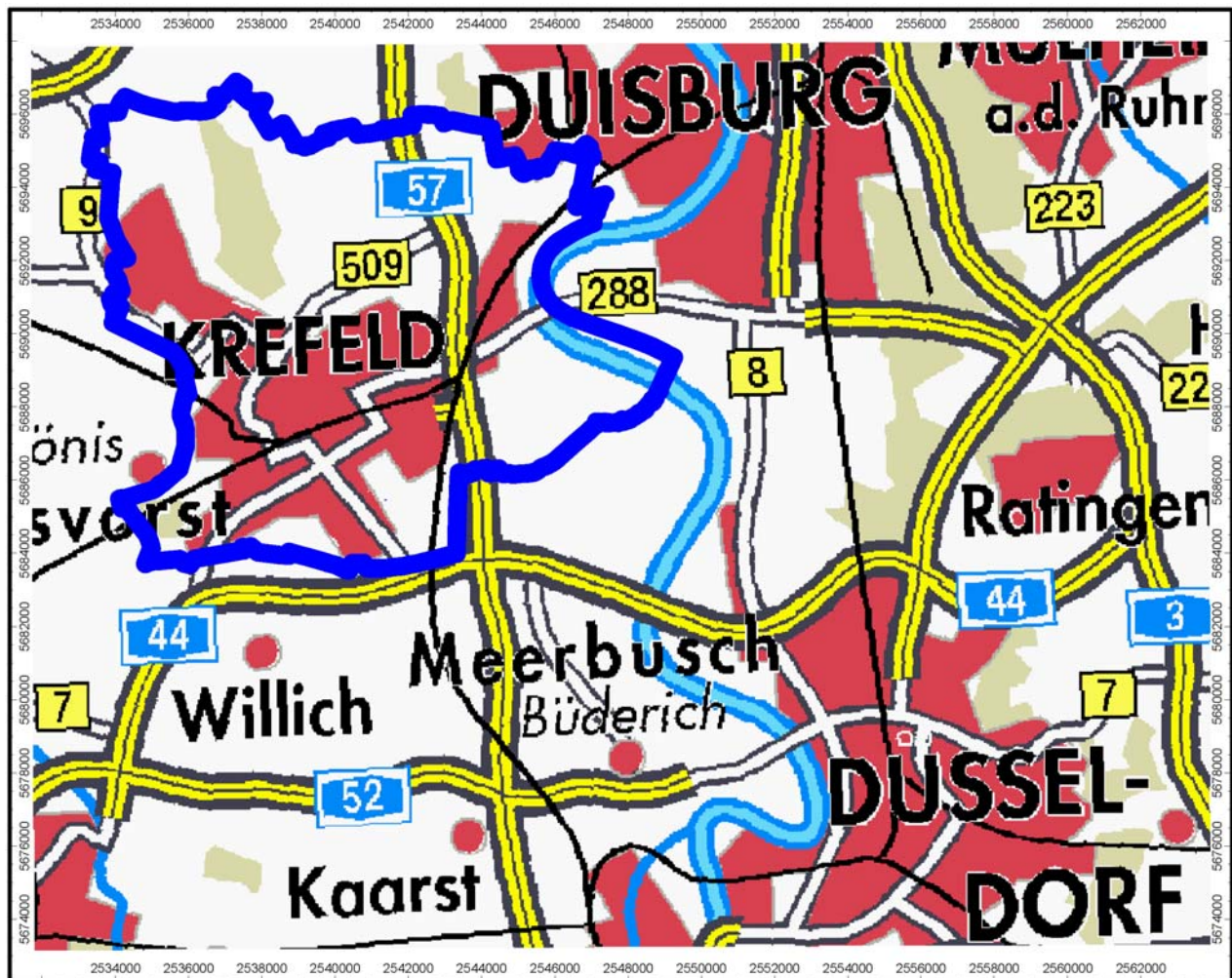
Die einzelnen Schritte der Feinscreenings werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Für die detaillierte und flächendeckende Berechnung der Kfz-bedingten Luftbelastung wird ein mikroskaliges Strömungs- und Ausbreitungsmodell eingesetzt. Das Modell ist in der Lage, die 3-dimensionale Strömungskonfiguration, d.h. Leewirbel hinter Gebäuden, Wirbelstrukturen in Straßenschluchten, Düsen- und Eckeneffekte an höheren Bauwerken sowie windschwache Zonen in dicht bebauten Bereichen räumlich hoch aufgelöst zu berechnen.

Die Berechnungen der industriellen Immissionen sowie der Immissionen aus Hausbrand und Kleinfeuerungsanlagen wurden im Rahmen der im Vorfeld bereits abgeschlossenen Grobscreening-Untersuchung zum Luftqualitätsmodell mit dem Modell AUSTAL2000 durchgeführt.

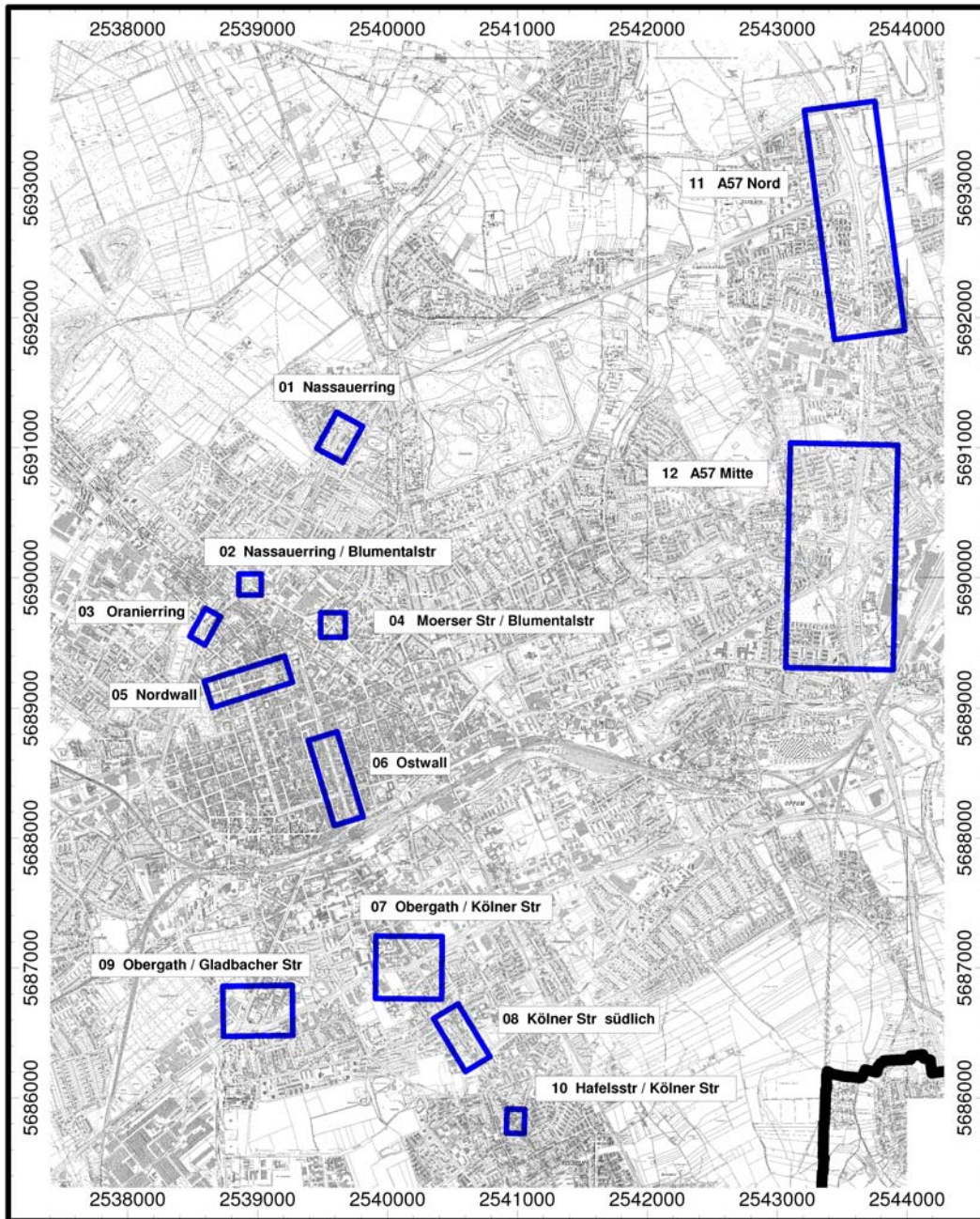
## 2. Untersuchungsgebiete

Die Lage des Stadtgebietes von Krefeld ist der **Abbildung 2-1** zu entnehmen.



**Abbildung 2-1:** Lage des Stadtgebietes von Krefeld (dunkelblau umrandet; Quelle: Geoserver NRW)

In den folgenden Abbildungen 2–5 ist die Lage der 12 untersuchten Gebiete innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld dargestellt.



**Abbildung 2-2: Lage der 12 ausgewählten Feinscreening-Gebiete 01 – 12 innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld (Angaben in Gauss-Krüger-Koordinaten; Stand: Februar 2009)**



**Tabelle 1: Liste der 12 Untersuchungsgebiete für das Feinscreening sowie die zugeordneten IDs der Gebiete**

<b>ID</b>	<b>12 Untersuchungsgebiete in Krefeld (Lage: siehe Abbildung 2-2)</b>
<b>1</b>	Nassauerring (B509)
<b>2</b>	Nassauerring (B509) / Blumentalstr. (B9)
<b>3</b>	Oranierring
<b>4</b>	Moerser Str(L 475) / Blumentalstr. (B9)
<b>5</b>	Nordwall
<b>6</b>	Ostwall
<b>7</b>	Obergath / Kölner Str.
<b>8</b>	Kölner Str. südlich
<b>9</b>	Obergath / Gladbacher Str.
<b>10</b>	Hafelsstr. / Kölner Str.
<b>11</b>	A57 Nord
<b>12</b>	A57 Mitte

## 3. Bewertungsgrundlagen

### 3.1 Luftschadstoffe

Die Schadstoffimmissionen werden anhand einschlägiger Vorschriften und Richtlinien bewertet. Im Rahmen dieser Untersuchung werden in Anlehnung an die 22. BImSchV folgende Schadstoffe betrachtet:

- Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub>
- PM10
- Benzol

Stickstoffoxide (**NO<sub>x</sub>**) entstehen bei Verbrennungsprozessen zum einen durch die Umwandlung des im Brennstoff enthaltenen Stickstoffs und zum anderen durch die Oxidation des Stickstoffs, welcher bei der Verbrennung über die Luft zugeführt wird. Bei diesem Vorgang wird vor allem NO (Stickstoffmonoxid) gebildet, das in der Atmosphäre zu NO<sub>2</sub> (Stickstoffdioxid) oxidiert. Für den Menschen ist insbesondere Stickstoffdioxid von Bedeutung – es reizt die Schleimhäute und begünstigt damit Atemwegserkrankungen.

Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikeln, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingeatmeter Staub, im wesentlichen Schwebstaub, enthält nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub) und lungengängige Anteile (Feinstaub, PM10). **PM10** ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, welcher Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm zu 50% abscheidet. Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikeln liegt unter 1 µm. Generell führt die Einwirkung von Schwebstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut. Chronische Staubbelastungen führen zu chronischer Bronchitis sowie zu Lungenfunktionsveränderungen.

**Benzol** gilt als eindeutig krebserzeugender Arbeitsstoff und kann als Indikator für weitere Kohlenwasserstoffe mit entsprechendem Potential angesehen werden.

### 3.2 Grenzwerte und Zielwerte

Zur Beurteilung der Immissionskonzentrationen wird auf „Grenz-“ und „Zielwerte“ Bezug genommen. Sie werden unter dem Begriff „Beurteilungswerte“ zusammengefasst.

Die **Grenzwerte der 22. BImSchV** basieren auf den Luftqualitätsleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) für Europa. Die Absicht der Richtlinien ist u.a. die Festlegung von Zielen im Hinblick auf die Vermeidung, Verhütung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt insgesamt sowie die Beurteilung der Luftqualität anhand einheitlicher Methoden und Kriterien. In der 22. BImSchV werden folgende Immissionskenngrößen begrenzt:

- Kalenderjahresmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Stundenmittelwerte
- Überschreitungshäufigkeiten von vorgegebenen Konzentrationsschwellen für Tagesmittelwerte

**Zielwerte** dienen dem Ziel der langfristigen Verbesserung der Luftqualität. Der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI, 1992) hat für krebserzeugende Luftschadstoffe Beurteilungswerte erarbeitet, die von der Umweltministeralkonferenz als Zielwerte für die Luftreinhalteplanung empfohlen werden.

**Tabelle 3-1** enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit entsprechender Definition und Literaturangabe. Falls in der 22. BImSchV andere Werte festgelegt sind als in den EU-Richtlinien, werden jeweils die strengeren Werte herangezogen.

Für einige Stoffe wird eine „Toleranzmarge“ zugelassen, die innerhalb der kommenden Jahre auf Null reduziert werden muss. Zur Bewertung der Immissionsverhältnisse anhand der Grenzwerte sind die in den Fußnoten der **Tabelle 3-1** angegebenen Toleranzmargen zu berücksichtigen. Ab dem zu betrachtenden Jahr 2010 sind keine Toleranzmargen mehr anzusetzen.

**Tabelle 3-1: Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit Toleranzmargen**

Schadstoff	Literaturquelle	Konzentrationswert	Statistische Definition	Bedeutung / Verbindlichkeit / Zweck
<b>NO<sub>2</sub></b>	EU-Richtlinie, 22. BImSchV §3 (4,5)	40 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert <sup>a)</sup>	<b>Grenzwert</b> zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	EU-Richtlinie, 22. BImSchV §3 (2,3)	200 µg/m <sup>3</sup>	99,8%-Wert; Schwelle, die von maximal 18 Stundenmittelwerten pro Jahr überschritten werden darf <sup>b)</sup>	<b>Grenzwert</b> zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
<b>Staub (PM10)</b>	EU-Richtlinie, 22. BImSchV §4 (4,5)	40 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert <sup>c)</sup>	<b>Grenzwert</b> zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	EU-Richtlinie, 22. BImSchV §4 (2,3)	50 µg/m <sup>3</sup>	90,4%-Wert; Mittelwert über 24 Stunden, der nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden darf <sup>c)</sup>	<b>Grenzwert</b> zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
<b>Benzol</b>	EU-Richtlinie, 22. BImSchV §6 (1,2)	5 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert <sup>d)</sup>	<b>Grenzwert</b> (Konvention)
	LAI (1992)	2,5 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert	<b>Zielwert</b>

a) ab 1. Januar 2010; Toleranzmarge 8 µg/m<sup>3</sup>, Verringerung ab 1. Januar 2007 jährlich um 2 µg/m<sup>3</sup>

b) ab 1. Januar 2010; Toleranzmarge 40 µg/m<sup>3</sup>, Verringerung ab 1. Januar 2007 jährlich um 10 µg/m<sup>3</sup>

c) ab 1. Januar 2005

d) ab 1. Januar 2010; Toleranzmarge 4 µg/m<sup>3</sup>, Verringerung ab 1. Januar 2007 jährlich um 1 µg/m<sup>3</sup>

## 4 Wind- und Ausbreitungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet

### 4.1 Allgemeines

Die Verteilung der Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und atmosphärischen Turbulenzzustände ist entscheidend für die Ausbreitung von atmosphärischen Spurenstoffen. Für die Berechnung der statistischen Kenngrößen der Schadstoffbelastung müssen die meteorologischen Eingangsdaten in Form von Häufigkeitsverteilungen der Parameter

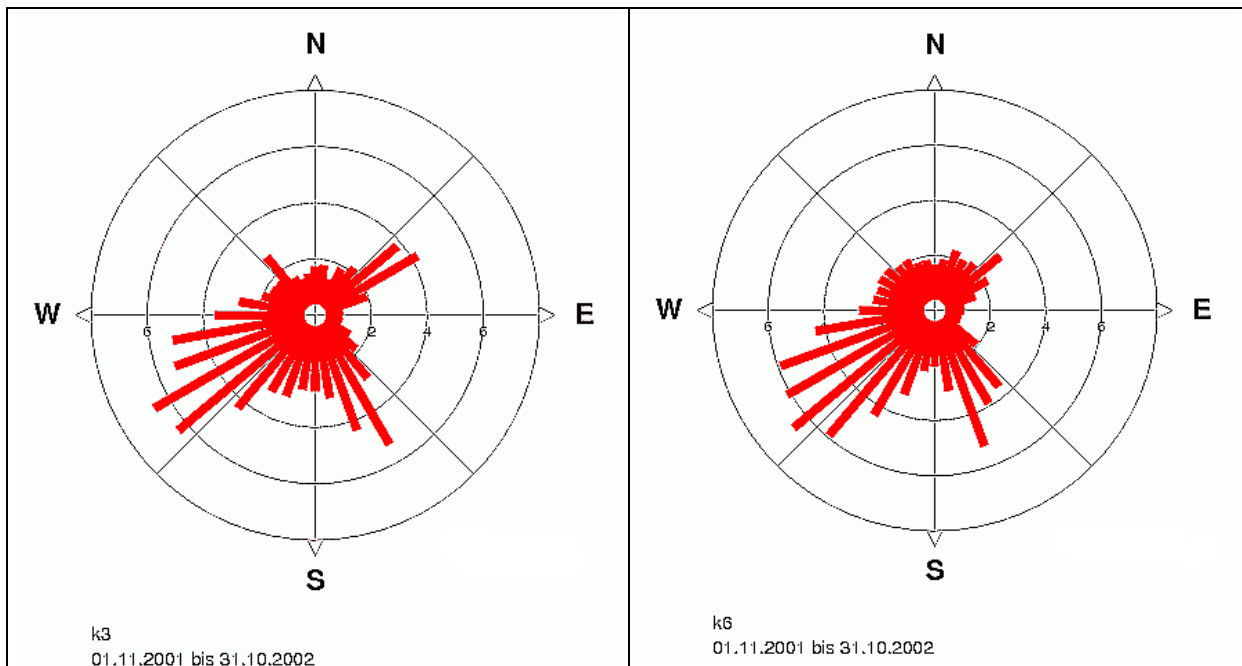
- Windrichtung,
- Windgeschwindigkeit,
- Turbulenzklasse

(sog. Ausbreitungsklassen-Statistik) vorliegen, die sowohl örtlich als auch langjährig repräsentativ sind. Die Strömungsverhältnisse im Bereich des Rheintales werden durch dessen Verlauf geprägt, wodurch häufig eine Kanalisierung entlang des Rheintales hervorgerufen werden kann.

### 4.2 Messungen

Zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse im Plangebiet wurde die Station Düsseldorf-Flughafen herangezogen, die dem Gutachter vorliegt. Diese Messstation liegt ca. 16 km ost-südöstlich von Krefeld. Die Windrichtungsverteilung entspricht annähernd den Verteilungen, die an den Messstationen K3 (Fischeln) und K6 (Hüls Südwest) der Gesamtstädtischen Klimaanalyse Krefeld über ein Jahr (November 2001 bis Oktober 2002) gemessen wurden. Die Daten dieser beiden Messstationen charakterisieren laut Klimaanalyse die übergeordneten Strömungsverhältnisse im Stadtgebiet von Krefeld (**Abbildung 4-1**). Außerdem sind die Windrichtungshäufigkeitsverteilungen dieser Stationen mit der Verteilung der Station Düsseldorf-Flughafen vergleichbar.

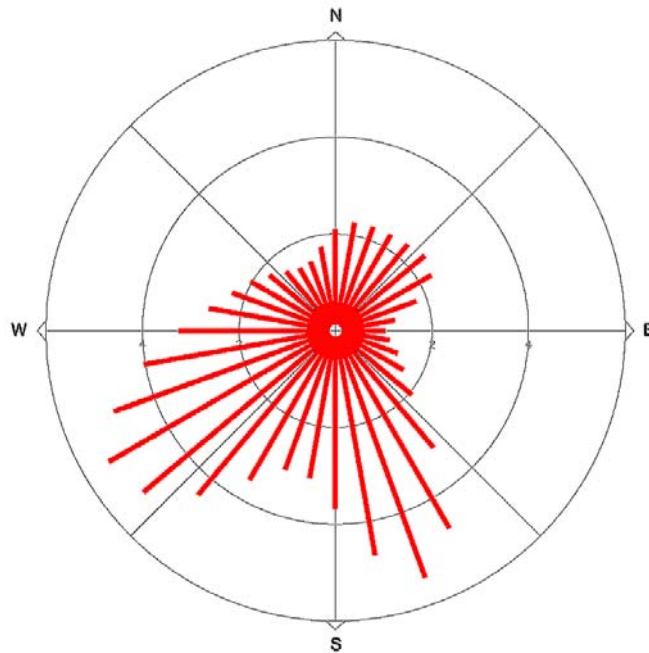
Da die Messstationen K3 und K6 eine Anemometerhöhe von nur 4 m aufwiesen und der Messzeitraum auf ein Jahr beschränkt war, wurde für die Ausbreitungsrechnungen auf das mehrjährige Mittel der Häufigkeitsverteilung der Messstation Düsseldorf-Flughafen zurückgegriffen.



**Abbildung 4-1: Windrichtungshäufigkeiten an den Messstationen K3 (Fischeln; links) und K6 (Hüls Südwest; rechts) im Stadtgebiet von Krefeld (Gesamtzeitraum 1.11.2001–31.10.2002; Anemometerhöhe 4 m). Quelle: Datengrundlage der Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld.**

Die Windrichtungsverteilung an der Station Düsseldorf-Flughafen ist in **Abbildung 4-2** dargestellt. Die Länge der Strahlen gibt die Häufigkeit an, mit der der Wind aus der jeweiligen Richtung weht. Die Richtungen sind in Sektoren von 10 Grad eingeteilt. An den zu untersuchenden Standorten dominieren Winde aus südsüdöstlichen und südwestlichen Richtungen. Winde aus dem Nordwest- und Nordost-Sektor sind selten.

Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit in 10 m über Grund beträgt 3,9 m/s.



**Abbildung 4-2:** Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen im mehrjährigen Mittel an der Windstation "Düsseldorf-Flughafen" (mittlere Windgeschwindigkeit: 3,9 m/s)

## 5 Emissionen

### 5.1 Straßenverkehr

Eine wichtige Eingangsgröße zur Berechnung der Kfz-bedingten Schadstoffbelastung sind die Emissionen. Diese wurden anhand von Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes mit Hilfe eines Emissionsmodells berechnet (HBEFA 2.1; Umweltbundesamt, 2004). Eingangsgrößen für das Modell sind u.a.

- die Verteilung der Fahrleistungen verschiedener Fahrzeugtypen
- der Anteil an Nutzfahrzeugen (leichte und schwere Lkw)
- die Straßenkategorie
- der Fahrmodus
- die Tagesganglinien des Verkehrsaufkommens (schematisiert)
- das Bezugsjahr

Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der spezifischen Emissionen wurden die verbesserten Verbrennungseigenschaften der Motoren, die Fortschritte in der Abgasreinigungstechnik sowie mögliche Veränderungen des Benzolgehaltes im Ottokraftstoff empirisch berücksichtigt. Die Prognosen erfolgten in Anlehnung an Untersuchungen des Umweltbundesamtes.

Aus den spezifischen Emissionen kann die aktuelle, längenbezogene Emission  $E$  mit folgendem Ansatz errechnet werden:

$$E = \sum_k (e_k \cdot F_k)$$

mit

$E$  = Quellstärke [g / (m·h)]

$e_k$  = spezifische Emission entsprechend der Datenbank des UBA [g/(Kfz·m)]

$F_k$  = stündliches Fahrzeugaufkommen [Kfz / h]

$k$  = Fahrzeugklassen (mit/ohne Katalysator, Diesel, Leichte Nutzfahrzeuge, Schwere Nutzfahrzeuge, etc.)



Für PM10 sind im Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs nur die Motoremissionen angegeben. Nach verschiedenen Untersuchungen (Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, Juni 2005; Schneider et.al. Oktober 2006) liegt der Anteil der Staubemissionen durch Aufwirbelung und Abrieb ungefähr gleich hoch wie die Motoremissionen. Den Berechnungen zu diesem Gutachten wurde der detaillierte, aus Messdaten abgeleitete Emissionsansatz der Studie von Schneider et.al. (2006) zugrunde gelegt.

Das Verkehrsaufkommen ( $F_k$ ) der relevanten Straßenzüge wird in Abstimmung mit dem Umweltamt der Stadt Krefeld auf der Basis von Verkehrsdaten, die sich auf das Jahr 2004 beziehen, für das Bezugsjahr 2010 der Luftschadstoffemissionen angesetzt.

## 6 Ausbreitungsrechnungen

In innerstädtischen Bereichen werden die Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse in komplizierter Weise von den umgebenden Gebäuden, Straßenzügen usw. beeinflusst. So können sich an den windabgewandten Gebäudeseiten Rezirkulationsgebiete mit Strömungen ausbilden, die gegen die allgemeine Windrichtung gerichtet sind. Die Windgeschwindigkeit wird in Nachlaufgebieten zum Teil deutlich reduziert.

Die genannten Phänomene treten je nach Anströmrichtung in unterschiedlichen Bereichen mit unterschiedlichen Intensitäten auf. Bei der Berechnung der Schadgasausbreitung im Nahbereich müssen diese komplexen Verhältnisse daher berücksichtigt werden. Mikroskalige Strömungs- und Ausbreitungsmodelle, die die Hindernisse explizit berücksichtigen, sind in der Lage, diese Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse naturnah nachzubilden.

### 6.1 Ausbreitungsmodell

Um die Auswirkungen der Planung zu quantifizieren, wurden Immissionsberechnungen mit dem **mikroskaligen 3-dimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell ABC** durchgeführt, das mit dem Ausbreitungsmodul des Modells ASMUS (Groß, G. et.al., 1994, Röckle, R. et.al., 1994, Richter, C.-J. et.al., 1995) gekoppelt wurde.

Das Modell ABC besteht im wesentlichen aus den Modulen Strömungs-, Diffusionskoeffizienten- und Ausbreitungsberechnung. Der semiempirische diagnostische Ansatz für die Strömungsberechnung beruht auf einem Initialwindfeld, das unter den Restriktionen der Divergenzfreiheit und der Erfüllung der Randbedingungen nach einem Variationsschema so abgeändert wird, dass das resultierende Strömungsfeld diese Anforderungen erfüllt. Diese sog. intelligente Initialisierung stellt sicher, dass die charakteristischen Effekte im Nahbereich von Hindernissen (Nachlaufbereiche, Frontwirbelzonen usw.) realistisch wiedergegeben werden. Der Turbulenzteil bestimmt die Diffusionskoeffizienten durch iterative Lösung der Erhaltungsgleichung für die turbulente kinetische Energie. Als Ergebnis erhält man stationäre dreidimensionale Felder der Strömungskomponenten und der Diffusionskoeffizienten. Der Ausbreitungsteil löst die stationäre Form der Advektions-Diffusionsgleichung (Bilanzgleichung für inerte Stoffe) auf einem kartesischen Gitter.

Das Modell erfüllt die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10. Es wurde anhand einer Vielzahl von Freiland- und Windkanalmessungen getestet und im Rahmen eines Forschungsprojektes weiter verbessert (Schädler, G. 1996, 1999, Röckle, R. et.al., 1998). Mit dem Modell können die in der 22. BImSchV aufgeführten statistischen Kenngrößen flächendeckend ermittelt werden.

## 6.2 Berechnung der Zusatzbelastung

Da die Emissionen der betrachteten Stoffe nicht-linear voneinander abhängig sind, werden für jeden Stoff jeweils 36 Ausbreitungsrechnungen für jede 10°-Windrichtungs-kategorie durchgeführt. Aus den berechneten Konzentrationen in jeder Gitterzelle wird mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und dem Tagesgang der Emissionen eine Häufigkeitsverteilung der Schadstoffimmissionen bestimmt. Die Summation über diese Verteilung ergibt den Jahresmittelwert der Zusatzbelastung der Zelle.

## 6.3 Berechnung der Gesamtbelastung

Die Schadstoff-Konzentration an einem Ort ergibt sich aus der Überlagerung von

1. *Hintergrundbelastung*, die durch den Beitrag weit entfernter Emittenten (Industrie, Gewerbe, Hausbrand, weiter entfernte Straßen) zustande kommt (siehe Kapitel 7.2) und der
2. *Zusatzbelastung* aufgrund der berücksichtigten, lokalen Quellen im Untersuchungsgebiet.

Während sich die Jahresmittelwerte der Hintergrund- und Zusatzbelastung additiv überlagern, ist dies bei den Überschreitungshäufigkeiten nicht der Fall.

Um die Überschreitungshäufigkeiten der Komponenten NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> zu berechnen, wären Zeitreihen der Emissionen, der meteorologischen Bedingungen und der zeitgleich gemessenen Hintergrundbelastung erforderlich. Diese Zeitreihen liegen in der Regel nicht vor. In der Praxis werden die zu bestimmenden Überschreitungshäufigkeiten aus Korrelationsbetrachtungen vorhandener Messwerte abgeleitet.

Aus aktuellen Messwerten der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW, früher UMEG) aus den Jahren 2004 und 2005 wurde nachstehende Beziehung zwischen den Überschreitungshäufigkeiten  $f$  und den Jahresmittelwerten von NO<sub>2</sub> abgeleitet:

Zur Ermittlung der Überschreitungshäufigkeiten der  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwelle von den Tagesmittelwerten von PM10 ist von der Bundesanstalt für Straßenwesen eine Regressionsbeziehung veröffentlicht worden (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2005). Nach dieser Beziehung ist für Jahresmittelwerte PM10 größer als  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit mehr als 35 Überschreitungen im Jahr zu rechnen.

Zur Ermittlung der Überschreitungshäufigkeiten der  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwelle von den Tagesmittelwerten von PM10 ist von der Bundesanstalt für Straßenwesen eine Regressionsbeziehung veröffentlicht worden (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2005). Nach dieser Beziehung ist für Jahresmittelwerte PM10 größer als  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mit mehr als 35 Überschreitungen im Jahr zu rechnen.

## 6.4 Umwandlung NO $\Rightarrow$ NO<sub>2</sub>

Die Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub> = Summe aus NO + NO<sub>2</sub>) werden zu über 90% in Form von NO emittiert. NO<sub>2</sub> entsteht erst während der Ausbreitung. Im Nahbereich von Straßen wird die NO  $\Rightarrow$  NO<sub>2</sub>-Umwandlung hauptsächlich vom Ozon-Angebot bestimmt. An sonnenscheinreichen Tagen steht Ozon, das sich unter anderem aus den Kfz-bedingten Schadstoffen NO<sub>x</sub> und Kohlenwasserstoffen bildet, als Reaktionspartner für das NO zur Verfügung und führt zu einer erhöhten Umwandlung von NO in NO<sub>2</sub>. Dies hat zum einen zur Folge, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an Straßen im Sommer sogar ein höheres Niveau als im Winter haben können und zum anderen, dass die Ozon-Konzentrationen in Straßennähe niedriger sind als in größerer Entfernung.

Die modellmäßige Erfassung der NO<sub>x</sub>-Konversion für Episodenbetrachtungen ist sehr schwierig, da die Eingangsparameter, wie Hintergrundbelastung der Kohlenwasserstoffe, Ozon usw. in der Regel nicht vorliegen.

Für die Kenngrößen Jahresmittelwert und 98%-Wert wurde deshalb durch Auswertung langjähriger Messreihen eine statistisch gesicherte Beziehung zwischen NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> gefunden. Es zeigt sich, dass hohe NO<sub>x</sub>-Konzentrationen meist mit kleinen NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnissen verbunden sind. Dieser Ansatz (siehe Romberg et. al., 1996) stellt die Grundlage für die hier berechneten NO<sub>2</sub>-Verhältnisse dar.

## 7 Schadstoffimmissionen

### 7.1 Überblick

Die Immissionsbelastung durch den Straßenverkehr im Untersuchungsgebiet (hier Zusatzbelastung genannt) wurde gemäß Kapitel 6 berechnet. Kapitel 7.2 enthält eine Darstellung der allgemeinen Schadstoff-Hintergrundbelastung, die der Zusatzbelastung überlagert wird, um die Gesamtbelastung zu bestimmen.

Kapitel 7.3 behandelt die Immissionsverhältnisse für den Prognosefall, wobei als Bezugsjahr das Jahr 2010 angesetzt wurde.

### 7.2 Hintergrundbelastung

Als Hintergrundbelastung ist die Immissionsbelastung zu verstehen, die ohne die im Simulationsgebiet berücksichtigten Straßenzüge und anderen lokalen Emittenten vorliegen würde. Die Immissionsbeiträge der berücksichtigten lokalen Emittenten werden in den Ausbreitungsrechnungen als Zusatzbelastung erfasst.

Zur Ermittlung der regionalen Hintergrundbelastung (Gesamthintergrund – urbaner Hintergrund) wurde im Wesentlichen auf die Messwerte der Hintergrundmessstation Krefeld–Linn (KREF) zurückgegriffen. Aus dem Summe der Zusatzbelastungen, die mit Hilfe der Simulationsrechnungen des Grobscreenings für das Bezugsjahr 2010 berechnet wurden, wurde die gesamte zu erwartende Zusatzbelastung am Standort der Messstation Krefeld–Linn ermittelt. Außerdem wurden die aktuell vom LANUV NRW für die letzten Jahre veröffentlichten Messwerte dieser Messstation mit Hilfe der Reduktionsfaktoren des Modells MLuS 02 (geänderte Fassung 2005), Tabelle A2, auf das Bezugsjahr 2010 extrapoliert. Die Differenz der extrapolierten Messwerte und der zu erwartenden Zusatzbelastung an dieser Station wurden für das Stadtgebiet von Krefeld als die für 2010 zu erwartende regionale Hintergrundbelastung der jeweiligen Luftschadstoffkomponente angenommen (siehe folgende **Tabelle 7-1**).

**Tabelle 7-1: Messwerte des LANUV NRW an der Station Krefeld–Linn (Kennung KREF; EU-Code DENW024)**

Schadstoff	Messwerte		
	LANUV-Station Krefeld–Linn (KREF)		
	2002	2004	2005
NO <sub>2</sub> Jahresmittel	26 µg/m <sup>3</sup>	–	–
PM10 Jahresmittelwert	29 µg/m <sup>3</sup>	24 µg/m <sup>3</sup>	24 µg/m <sup>3</sup>
PM10 Anzahl Tagesmittelwerte > 50 µg/m <sup>3</sup>	36 d/a	12 d/a	10 d/a
Benzol	1,4 µg/m <sup>3</sup>	–	–

In **Tabelle 7-2** sind die für 2010 prognostizierten regionalen Hintergrundbelastungen für das Stadtgebiet von Krefeld aufgeführt. Der Prognosewert der regionalen Hintergrundbelastung für den PM10-Jahresmittelwert 2010 wurde konservativ von 21,4 µg/m<sup>3</sup> auf 22 µg/m<sup>3</sup> aufgerundet. Die Hintergrundbelastung für Benzol wurde aufgrund der am Standort der Messstation KREF berechneten, sehr geringen Zusatzbelastung von höchstens 0,1 µg/m<sup>3</sup> pessimal gleich dem für 2010 prognostizierten lokalen Messwert von 1,1 µg/m<sup>3</sup> gesetzt.

**Tabelle 7-2: Messwerte der Hintergrund-Messstation KREF der Jahre 2002 und 2005, mittels MLuS 02 extrapolierte Messwerte für 2010 und daraus durch Abzug der berechneten Zusatzbelastung abgeschätzte Prognosewerte für die regionalen Hintergrundbelastungen im Stadtgebiet von Krefeld im Jahr 2010; Die Prognosewerte des Hintergrundes sind teilweise gerundet.**

Schadstoff	Messwert 2002	Messwert 2005	Prognose Messwert 2010	Prognose regionaler Hintergrund 2010
NO <sub>2</sub> Jahresmittel	26 µg/m <sup>3</sup>	–	23,8 µg/m <sup>3</sup>	16 µg/m <sup>3</sup>
PM10 Jahresmittel	–	24 µg/m <sup>3</sup>	22,7 µg/m <sup>3</sup>	22 µg/m <sup>3</sup>
Benzol Jahresmittel	1,4 µg/m <sup>3</sup>	–	1,1 µg/m <sup>3</sup>	1,1 µg/m <sup>3</sup>

Aus den im Vorfeld erstellten Grobscreening-Berechnungen für das Stadtgebiet von Krefeld für das Prognosejahr 2010 wurde für jedes der Gebiete eine repräsentative Zusatzimmission für industrielle Immissionen sowie eine Immission durch Hausbrand und Kleinfeuerungsanlagen im Sinne einer prognostizierten Zusatzbelastung zum regionalen Hintergrundniveau ermittelt und zur regionalen Vorbelastung addiert, um eine

lokale Hintergrundbelastung individuell für jedes Untersuchungsgebiet ausweisen zu können. Die daraus sich ergebenden Hintergrundbelastungen für die 12 Gebiete, die der Prognose der jeweiligen Gesamtbelastung zugrunde liegen, sind in der folgenden Tabelle ausgewiesen.

**Tabelle 7-3: Werte der angenommenen lokalen Hintergrundbelastungen für die Jahresmittelwerte der berücksichtigten Luftschadstoffkomponenten NO<sub>2</sub>, PM10 und Benzol in µg/m<sup>3</sup>.**

ID	Untersuchungsgebiet	NO <sub>2</sub>	PM10	Benzol
1	Nassauerring	22	22,6	1,12
2	Nassauerring / Blumentalstr.	22	22,6	1,12
3	Oranierring	22	22,6	1,12
4	Moerser Str. / Blumentalstr.	22	22,6	1,12
5	Nordwall	22	22,6	1,12
6	Ostwall	22	22,6	1,12
7	Obergath / Kölner Str.	23	23,1	1,12
8	Kölner Str südlich	23	22,7	1,12
9	Obergath / Gladbacher Str.	24	25,0	1,12
10	Hafelsstr. / Kölner Str.	23	22,6	1,12
11	A57 Nord	22	22,6	1,12
12	A57 Mitte	22	22,6	1,12

## 8 Ergebnisse der Immissionsprognose

Die Ergebnisse der Simulationsberechnungen sind als Konzentrationsfelder der jeweiligen Luftschadstoffkomponenten in den Abbildungen des Anhangs flächig farbig auf einem durchgehenden 3 m · 3 m – Raster für eine Immissionshöhe von 1,5 m dargestellt.

Die **Abbildungen** im Anhang zeigen jeweils die berechneten Immissionsverhältnisse für das Bezugsjahr 2010 für die 12 betrachteten Gebiete in Krefeld.

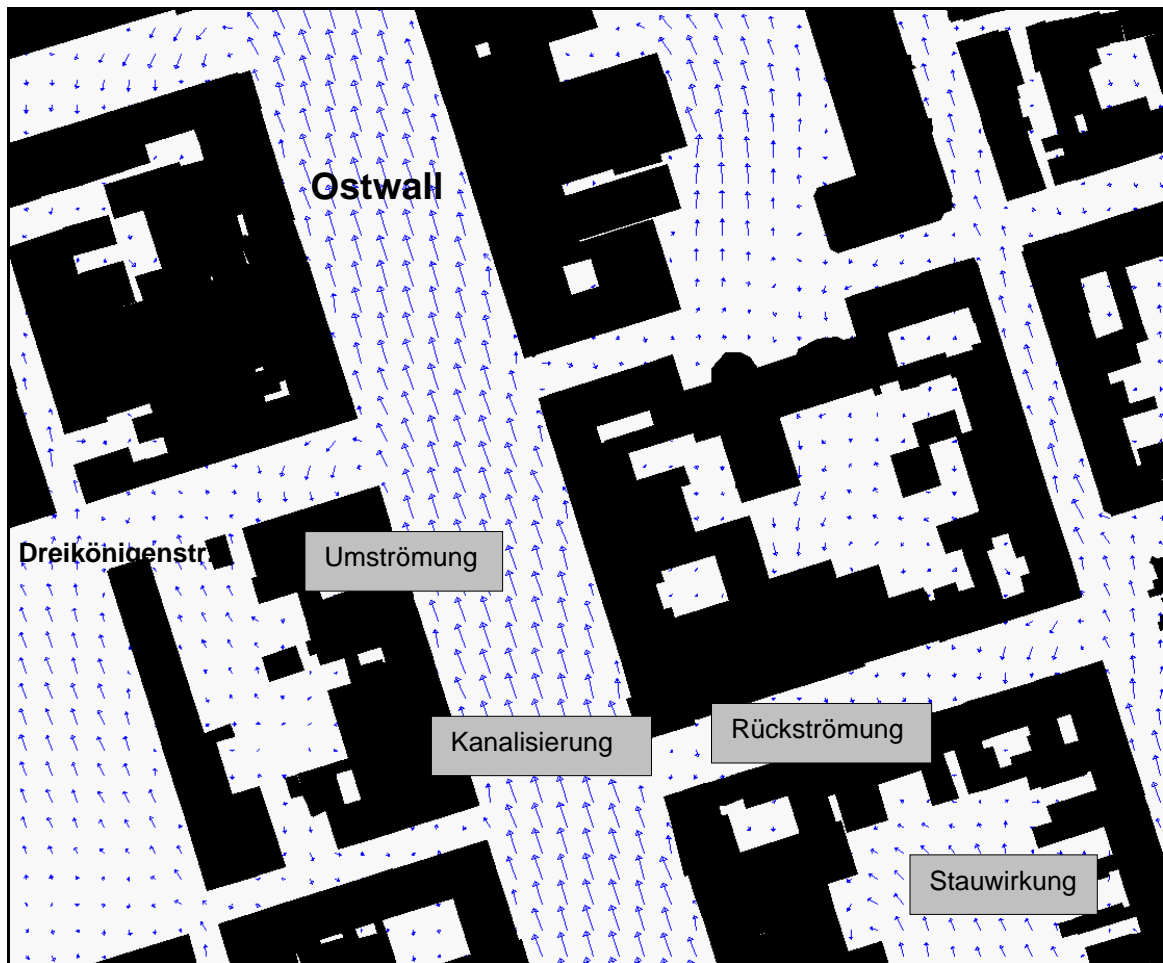
Für NO<sub>2</sub>, PM10 und Benzol sind die Jahresmittelwerte, für NO<sub>2</sub> und PM10 zusätzlich die Überschreitungshäufigkeiten, der Gesamtbelastung als Überlagerung der Immissionen des Straßenverkehrs mit einer pro Gebiet individuell angesetzten, lokalen Hintergrundbelastung dargestellt.

Zur besseren Orientierung wurden die Grenzen der Konzentrationsklassen als Linien konstanter Luftschadstoff-Konzentrationen (Isolinien) eingezeichnet. Der kleinste dargestellte Wert liegt im Bereich der niedrigsten der lokalen Hintergrundbelastungswerte, während die Werteklasse unterhalb des roten Bereichs maximal bis zum jeweilig relevanten Grenzwert reicht. Die Skaleneinteilungen der Werteklassen wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit für alle Gebiete gleich gewählt.

Die erfahrungsgemäß kritischen Größen, die mögliche Grenzwertüberschreitungen an beurteilungsrelevanten Fassaden aufweisen, sind das Jahresmittel von NO<sub>2</sub> sowie die Überschreitungshäufigkeit der 50 µg/m<sup>3</sup> – Schwelle der Tagesmittelwerte von PM10.

Die Ergebnisse des Feinscreenings (siehe Abbildungen des Anhangs) bestätigen im Bereich der innerstädtischen Gebiete die Aussagen des Grobscreening bzgl. der Einschätzung der Luftschadstoffsituation, zeigen aber darüber hinaus wesentlich die Effekte der lokalen Strömungssituationen an Hindernissen (Gebäude, Lärmschutzwände und Wälle). Im Allgemeinen zeigt sich, dass die Belastungen, die das Grobscreening für einen Straßenzug maximal ausweist, durch Berücksichtigung von meteorologisch induzierten Strömungseffekten an einzelnen beurteilungsrelevanten Fassaden realisiert sein kann. Für einen Straßenraum ist die mittig im Bereich der Linienquellen maximal realisierte Belastung (Konzentration) beim Grobscreening ein Maß für Werte die tatsächlich an einzelnen Gebäudefassaden des selben Straßenzuges angenommen werden können. Die mikroskalige Verteilung der Belastung an den Fassaden wird wesentlich durch die berechneten Strömungsfelder und deren über die Meteorologie (Windstatistik) gewichtete Beiträge bestimmt.





**Abbildung 8-1:** Strömungsfeld (Horizontalschnitt in 1,5 m Höhe) bei südsüdöstlicher Anströmung (160 °) für einen Ausschnitt des Gebietes 6 (Ostwall) im Bereich der Einmündungen der Dreikönigenstraße und Stephanstraße; beispielhaft sind Bereiche markiert, die Auswirkungen unterschiedlicher Strömungseffekte an einzelnen Gebäuden bzw. Gebäudestrukturen aufzeigen.

Es gibt Effekte (siehe **Abbildung 8-1**) durch **Stauwirkung** (Frontwirbel), bei denen die Schadstoffe aus dem Straßenraum gegen die Fassaden gedrückt werden, sich dort im Frontwirbel stauen und ansammeln, **Rückströmungs- und Umströmungseffekte** im nahen Nachlauf, bei denen die Schadstoffe durch Über- oder Umströmung eines Hindernisses an die über- und -umströmte Fassade zurück gesaugt werden (Strömungsabriss und Verwirbelung), **Düseneffekte** zwischen Hindernissen, die zu einer Beschleunigung der lokalen Strömung und damit zu einer lokal begrenzten Verbesserung der Schadstoffsituation führen sowie **Kanalisationseffekte**, durch die die Strömung in einem Straßenraum oder zwischen Hindernissen kanalisiert werden.

Letzterer Effekt führt unter anderem dazu, dass für die beiden Gebiete um die Autobahn A57 (Gebiete 11 und 12) die Luftschadstoffe aufgrund der Kanalisationseffekte von Lärmschutzwänden und Wällen deutlich weniger stark die unmittelbare Umgebung beaufschlagen, als dies bei freier Ausbreitung der Fall wäre. Aufgrund der hohen Verkehrsbelastung der Autobahn und der daraus folgenden hohen Emissionen spielen die Strömungseffekte durch die kanalisierenden Lärmschutzeinrichtungen und die trassennahen Wälle eine entscheidende Rolle auch für die Ausbreitung der Schadstoffe bis zu möglicherweise betroffenen Fassaden. Das Grobscreening gibt hier nur einen Anhaltspunkt für die zu erwartende punktuelle Belastung, während das Feinscreening die Wirkung dieser Effekte berücksichtigt.

Insbesondere zeigen die Ergebnisse der Simulationen für diese beiden Gebiete, dass unter den getroffenen Annahmen für die Verkehrsbelastung der Autobahn A57 und die Vorbelastung zu erwarten ist, dass die Grenzwerte der 22. BImSchV im Bezugsjahr 2010 für die unmittelbar durch die Autobahn beaufschlagten Fassaden eingehalten werden.

## **8. Zusammenfassung**

Die Stadt Krefeld benötigt für die Stadtentwicklungs- und Flächennutzungsplanung und zur Abschätzung möglicher Auswirkungen von stadtplanerischen Vorhaben auf die Luftqualität im Stadtgebiet Informationen zur lufthygienischen Vorbelastung in ausgewählten Gebieten innerhalb des Stadtgebietes.

Die iMA cologne GmbH wurde von der Stadt Krefeld beauftragt, für 12 ausgewählte Gebiete innerhalb des Stadtgebietes von Krefeld die Luftschadstoffimmissionen als Prognosefall für das Bezugsjahr 2010 insbesondere unter Berücksichtigung des Emittenten Kfz-Verkehr flächendeckend für die Luftschadstoffkomponenten NO<sub>2</sub>, PM10 und Benzol im Sinne der 22. BImSchV auf Basis eines geeigneten 3-dimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodells für Luftschadstoffe (Feinscreening) zu prognostizieren. Die in vorangegangenen Grobscreening-Berechnungen innerhalb des Stadtgebietes für das Prognosejahr 2010 ermittelten Immissionen durch Industrie sowie Hausbrand und Kleinf Feuerungsanlagen wurden dafür im Sinne einer individuellen, lokalen Zusatzbelastung als Beaufschlagung des regionalen Hintergrundniveaus in den Feinscreening-Berechnungen berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind in Form von flächigen Darstellungen der Konzentrationsfelder im Anhang des Berichtes dargestellt.

Die erfahrungsgemäß kritischen Größen, die mögliche Grenzwertüberschreitungen an beurteilungsrelevanten Fassaden aufweisen, sind das Jahresmittel von NO<sub>2</sub> (Grenzwert ab 2010: 40 µg/m<sup>3</sup>) sowie die Überschreitungshäufigkeit der 50 µg/m<sup>3</sup> – Schwelle der Tagesmittelwerte von PM10 (Grenzwert: 35 Tage pro Jahr).

Grundsätzlich bestätigen die Rechnungen die teilweise hohen Belastungen durch Kfz-bedingte Luftschadstoffe innerhalb der untersuchten Gebiete, die in den Grobscreening-Rechnungen als Hotspots (Straßenabschnitte mit möglichen Grenzwertüberschreitungen) ermittelt wurden. Die Ergebnisse des Feinscreenings zeigen nun darüber hinaus die zu erwartende Höhe der Belastung an den beurteilungsrelevanten Gebäudefassaden unter Berücksichtigung der lokalen Strömungseffekte unter den getroffenen Annahmen und Eingangsdaten für das Bezugsjahr 2010.

Für die beiden Autobahn-Gebiete der A57 (Gebiete 11 und 12) ergibt sich aus dem Feinscreening aufgrund der detaillierten Berücksichtigung der strömungsbeeinflussenden Wirkungen von Lärmschutzeinrichtungen und Wällen, dass für trassennahe Aufpunkte

eine geringere Belastung durch Luftschadstoffe zu erwarten ist, als dies die Ergebnisse des Grobscreenings ausweisen. Insbesondere ist zu erwarten, dass unter den getroffenen Annahmen für die Verkehrsbelastung und die Vorbelastung die Grenzwerte der 22. BImSchV im Bezugsjahr 2010 für die unmittelbar durch die Autobahn beaufschlagten Fassaden eingehalten werden.

iMA cologne GmbH

Köln, im Februar 2009



(Dr. W. Pook)



(Dr. P. Scherer)

## Literatur

**ABC:** Mikroskaliges Ausbreitungsmodell (Strömungsmodul Vers. 3.61; Turbulenzmodul Vers. 2.81; Ausbreitungsmodul Vers. 2.01), iMA Richter & Röckle Immissionen Meteorologie Akustik, Freiburg, 2008

**22. BImSchV:** 22. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft – 22.BImSchV) i.d.F. vom 11.09.2002, BGBl. I, S. 3626, zuletzt geändert mit Verordnung vom 27.02.2007, BGBl. I S. 241

**Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, 2005:** PM10-Emissionen an Außerortsstraßen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik Heft V 125. Juni 2005

**Düring, I., Lohmeyer, A., 2001:** Validierung von PM10-Immissionsmessungen im Nahbereich von Strassen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Strassen; Ingenieurbüro A. Lohmeyer, Karlsruhe und Dresden

**EG-Richtlinie 1985/203/EWG:** Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 7. März 1985 über Luftqualitätsnormen für Stickstoffdioxid. Amtsblatt d. Eur. Gem. v. 27.3.1985, Abl. EG L 87 S. 1, zuletzt geändert (96/511/EG) 29.7.1996, Abl. EG L 213 S. 16

**EG-Richtlinie 2000/69/EG:** Richtlinie des Rates vom 16.11.2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft vom 16. November 2000 (ABl. EG vom 13.12.2000 Nr. L 313 S. 12, 2001 L 11 S. 31)

**EG-Richtlinie 1999/30/EG:** Richtlinie des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft (ABl. EG Nr. L163/41), geändert durch Entscheidung 2001/744/EG der Kommission vom 17.10.2001 (Abl. EG L 278 S. 35)

**iMA cologne GmbH, 2007:** Bericht zum Luftqualitätsmodell Krefeld – Grobscreening –, April 2007

**Kühling, W.; Peters, H.-J., 1994:** Die Bewertung der Luftqualität bei Umweltverträglichkeitsprüfungen. UVP Spezial 10, 329 Seiten

**MLuS 02, geänderte Fassung 2005:** Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne und mit lockerer Randbebauung, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit

**Rauterberg-Wulff, A.:** Untersuchung der Bedeutung der Staubaufwirbelung für die PM10-Immission an einer Hauptverkehrsstraße. TU Berlin, Fachgebiet Luftreinhaltung. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin, 2000

**RLS-90, 1990:** Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-90, Bundesministerium für Verkehr, Ableitung Straßenbau, Ausgabe 1990

**Röckle, R. 1990:** Bestimmung der Strömungsverhältnisse im Bereich komplexer Bebauungsstrukturen, Dissertation, D17, Technische Hochschule Darmstadt, 1990

**Röckle, R., Richter, C.-J., 1995:** Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen – Modellrechnungen. Projekt Europäisches Forschungszentrum, FZKA-PEF 136, Oktober 1995

**Röckle, R.; Richter, C.-J., 1995:** Berechnung Kfz-bedingter Immissionen im innerstädtischen Bereich. Umwelt Kommunal, Nr. 244, 24.10.1995, Umwelt Archiv I - IV

**Röckle, R., Richter, C.-J., 1995:** Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahbereich typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 136, Oktober 1995

**Röckle, R.; Richter, C.-J., 1996:** Ausbreitung aus niedrigen Quellen - Einsatz dreidimensionaler Strömungs- und Diffusionsmodelle. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 6, 203 - 208

**Röckle, R., Richter, C.-J., Salomon, Th., Dröscher, F., Kost, J., 1998:** Ausbreitung von Emissionen in komplexer Bebauung – Vergleich zwischen numerischen Modellen und Windkanalmessungen. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF, September 1998, Förderkennzeichen: PEF 295002

**Romberg, E., Bösing, R.; Lohmeyer, A.; Ruhnke, R.; Röth, E.-P.:** NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 6/1996, 215 – 218

**Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, Tr. 1996:** Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen der Luftreinhaltung, Forschungsbericht FZKA-PEF 138, Oktober 1996

**Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., 1999:** Immissionsprognosen mit mikroskaligen Modellen. Vergleich von berechneten und gemessenen Größen. Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Januar 1999

**Schneider, C., Niederau, A., Schulz, T., Brandt, A., 2006:** Ermittlung der durch Aufwirbelung und Abrieb im Straßenverkehr verursachten PM10-Emissionen – Ein modifizierter Ansatz; Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 10 – Oktober

**Umweltbundesamt, INFRAS, 2004:** Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 2.1. Im Auftrag des Umweltbundesamt, März 2004

**Universität Essen, Fachbereich 9, 2003:** Gesamtstädtische Klimaanalyse Krefeld. Im Auftrag der Stadt Krefeld, Essen, Juli 2003

**VDI 3782 Blatt 1, 2001:** Atmosphärische Ausbreitungsmodelle - Gauß'sches Fahnenmodell für Pläne zur Luftreinhaltung

**VDI 3783-10, 2001:** Diagnostische mikroskalige Windfeldmodelle – Gebäude- und Hindernisumströmung. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b

# Anhang