

Auftraggeber: **Regierungspräsidium Freiburg**
 Schwendistraße 12
 79102 Freiburg

**Ermittlung der Schadstoffemissionen
und -immissionen für verschiedene Szenarien
im Rahmen des Luftreinhalte-/Aktionsplans Freiburg**

Projekt-Nr.: **07-09_06-FR**

Umfang: **48 Seiten**

Datum: **7. November 2006**

Bearbeiter: **Dr. Rainer Röckle, Diplom-Meteorologe**
 Claus-Jürgen Richter, Diplom-Meteorologe

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger
für Siedlungsklimatologie, Ermittlung von Luftverunreinigungen
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG

iMA
Eisenbahnstraße 43
79098 Freiburg
Tel.: 0761/ 202 1661
Fax.: 0761/ 202 1671
Email: info@ima-umwelt.de

Inhaltsverzeichnis

1	Situation und Aufgabenstellung	3
1.1	Vorgehensweise.....	3
2	Örtliche Verhältnisse	4
3	Bewertungsgrundlagen	5
4	Darstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Schadstoffemissionen und - immissionen	7
4.1	Emissionsmodellierung.....	7
4.2	Ausbreitungsmodellierung	10
4.3	Wind- und Ausbreitungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet	12
4.4	Ermittlung der Hintergrundbelastung	14
5	Szenarien	15
5.1	Nullfall 2004	15
5.1.1	Verkehrsaufkommen.....	15
5.1.2	Lokale Hintergrundbelastung	15
5.1.3	Ergebnisse.....	15
5.2	Prognosehorizonte	23
5.3	Verkehrsaufkommen	24
5.3.1	Trend	24
5.3.2	Einzelmaßnahmen.....	24
5.3.3	Kombinierte Maßnahmen.....	25
5.4	Hintergrundbelastung	25
5.5	Ergebnisse der flächendeckenden Simulationen	26
6	Ergebnisse in den Beurteilungsgebieten	26
6.1	NO _x /NO ₂ -Immissionsverhältnisse	27
6.2	PM10-Immissionsverhältnisse.....	29
7	Zusammenfassung	31
8	LITERATURVERZEICHNIS	32
9	Anhang A	34
9.1	Simulationsverfahren.....	34
9.1.1	Kurzbeschreibung GAMOS.....	34
9.1.2	Kurzbeschreibung ABC.....	34
9.2	Umwandlung NO ⇒ NO ₂	35
9.3	Simulationsgebiete	36
9.3.1	Großräumig	36
9.3.2	Kleinräumig.....	37
10	Anhang B	42

1 Situation und Aufgabenstellung

Das Regierungspräsidium Freiburg erstellt derzeit den Luftreinhalte-/Aktionsplan für die Stadt Freiburg. Eine vergleichbare Untersuchung wurde im Rahmen der Luftreinhalteplanung im Jahr 2005 durchgeführt (iMA, Juli 2005 „Ermittlung der Schadstoffemissionen und -immissionen für verschiedene Szenarien im Rahmen der Maßnahmenplanung zum Luftreinhalteplan Freiburg“).

Im Oktober 2006 wurde die Kennzeichnungsverordnung „Verordnung zum Erlass und zur Änderung von Vorschriften über die Kennzeichnung emissionsarmer Kraftfahrzeuge“ (Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil I Nr. 46 vom 10. Oktober 2006) verabschiedet. Diese legt die Zuordnung der Kraftfahrzeuge zu vier Schadstoffgruppen fest. Im vorangegangenen Bericht wurde u.a. der Ausschluss von Fahrzeugen der Emissionsklassen EURO 1- und EURO 2 untersucht. In diesem Bericht werden als Szenarien der Ausschluss der Schadstoffklassen 1 und 2 in der Umweltzone untersucht. Zudem wird der Prognosehorizont von 2010 auf 2008 geändert.

2 Vorgehensweise

Um die Auswirkungen der im Plan vorgeschlagenen Maßnahmen quantifizieren zu können, sind Emissions- und Immissions-Simulationen für unterschiedliche Szenarien durchzuführen. Dabei ist insbesondere die Immissionssituation an den Messstellen der LUBW, an denen Überschreitungen der Grenzwerte der 22. BImSchV gemessen wurden, zu untersuchen. Dies sind die Zähringer Straße und die Schwarzwaldstraße.

Die Luftbelastung an einem Ort setzt sich zusammen aus

- a) der kleinräumigen Belastung (d.h. der lokalen Zusatzbelastung, die hauptsächlich durch den Kfz-Verkehr in unmittelbarer Umgebung des Messpunktes verursacht wird)
- b) dem Gesamthintergrundniveau (bestehend aus dem regionalen Hintergrundniveau und dem städtischen Hintergrundniveau)

Die kleinräumige Belastung wird mit Hilfe des mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodells ABC auf einem feinmaschigen Rechengitter (Kantenlänge 3 m) bestimmt.

Das städtische Hintergrundniveau, bedingt durch den Kfz-Verkehr, wird mit dem Gauß'schen Vielquellenmodell GAMOS (auf der Basis des Gaußmodells der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) berechnet.

Der Anteil der regionalen Hintergrundbelastung wird durch Vergleich mit Messungen der LUBW am Technischen Rathaus (Messstelle „Freiburg-Mitte“) abgeleitet.

Die Kfz-Emissionen werden auf der Grundlage des Handbuchs für Emissionen (HBEFA 2.1) bestimmt. Eingangsdaten sind das mittlere tägliche Verkehrsaufkommen (DTV), der LKW-Anteil, der Fahrmodus, der Kaltstartanteil, die Verkehrszusammensetzung. Als Basis für die Verkehrszusammensetzung wurde der dynamische Bestand Freiburg Stadtkreis Stand 2005 zugrunde gelegt.

Untersucht werden die emissions- und immissionsseitigen Auswirkungen folgender Szenarien:

1. Nullfall 2004 (dient u.a. zum Abgleich mit Messergebnissen der Freiburger Messstationen)
2. Trend 2008 ohne Maßnahmen
3. Planfälle 2008
 - a. Veränderung des Modal-Split
 - i. Szenario I
 - ii. Szenario II
 - b. Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 innerhalb der Umweltzone
 - c. Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 2 innerhalb der Umweltzone
4. Trend 2012
5. Planfall 2012
 - a. Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 2 innerhalb der Umweltzone
 - b. Realisierung des Stadttunnels

Die Ergebnisse werden für das Stadtgebiet und die beiden Ausschnitte „Zähringer Straße“ und „Schwarzwaldstraße“ ausgewertet und grafisch sowie tabellarisch dargestellt.

Die Untersuchung bezieht sich auf NO₂ und PM10.

3 Örtliche Verhältnisse

Abbildung 3-1 zeigt einen Kartenausschnitt, in dem die zu beurteilenden Bereiche dargestellt sind.

In diesen Bereichen wurden bei Messungen der LUBW Überschreitungen der Immissionswerte der 22. BImSchV festgestellt. Es handelt sich zum einen um einen Messpunkt im Verlauf der Zähringer Straße (blauer Kreis im nördlichen Ausschnitt) und zum anderen um einen Messpunkt im Verlauf der Schwarzwaldstraße. In beiden Fällen handelt es sich um Bundesstraßen, die erhebliche Teile an Ziel- und Quellverkehr (insbesondere Pendlerverkehr aus dem nördlichen bzw. östlichen Umland von Freiburg) aufzunehmen haben.

Im Anhang sind Details zu den Simulationsgebieten beschrieben.

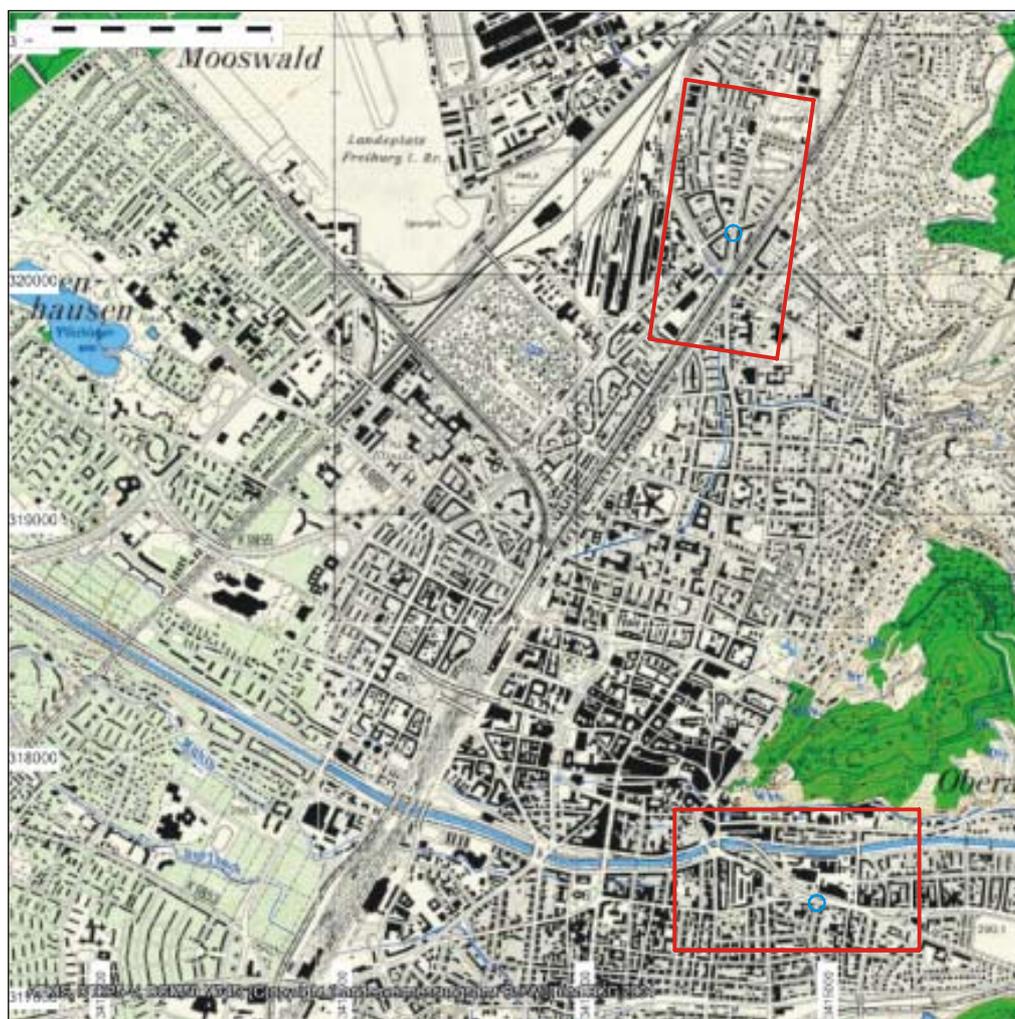


Abbildung 3-1: Die beiden Untersuchungsgebiete (rot) und Lage der Messstellen

4 Bewertungsgrundlagen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die Luftschadstoffe betrachtet, bei denen möglicherweise mit Überschreitungen der Immissionswerte der 22. BImSchV zu rechnen ist. Dies sind:

- NO₂ (Stickstoffdioxid)
- PM10 (Feinstaub)

NO₂ gilt als typische verkehrsbedingte Luftverunreinigung, bei der sowohl die mittlere Belastung als auch Spitzenwerte als toxisch relevant angesehen werden können.

PM10 ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm zu 50% zurückhält. Es handelt sich somit um Feinstaub. Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikeln liegt unter 1 µm. Abhängig von der Höhe der Belastung kann die Einwirkung von Feinstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut führen. Chronische Staubbelastungen können zu chronischer Bronchitis so-

wie zu Lungenfunktionsveränderungen führen. Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikel, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingeatmeter Staub, im wesentlichen Schwebstaub, enthält sowohl nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub) als auch lungengängige Anteile (Feinstaub, PM10).

Die Konzentrationen weiterer Luftverunreinigungen aus dem Verkehrsbereich, wie z.B. Benzol, Blei, Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeldioxid (SO₂) liegen heute aufgrund der bereits ergriffenen Luftreinhaltemaßnahmen deutlich unterhalb gesundheitsbezogener Grenzwerte. Sie werden daher nicht weiter betrachtet. Für Ruß sind keine Grenzwerte festgelegt. Die Beurteilung der Partikel geschieht über PM10-Staub, der die Rußfraktion beinhaltet.

Zur Beurteilung der Immissionskonzentrationen werden die Immissionswerte der 22. BImSchV herangezogen. Diese Immissionswerte basieren auf den Luftqualitätsleitlinien der 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

Tabelle 4-1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit entsprechender Definition und Literaturangabe.

Tabelle 4-1: Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte

Schadstoff	Literaturquelle	Konzentrationswert	Statistische Definition	Bedeutung / Verbindlichkeit / Zweck
NO ₂	22. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert ^{a)}	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	22. BImSchV, EU-Richtlinie	200 µg/m ³	Schwelle, die von maximal 18 Stundenmittelwerten pro Jahr überschritten werden darf ^{b)} (entspricht 99,8%-Wert)	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
Staub (PM10)	22. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	22. BImSchV, EU-Richtlinie	50 µg/m ³	Mittelwert über 24 Stunden, der nicht öfter als 35 mal im Jahr überschritten werden darf (entspricht 90,4%-Wert)	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren

a) gilt ab 1. Januar 2010; Toleranzmarge 16 µg/m³, Verringerung ab 1. Januar 2003 jährlich um 2 µg/m³

b) gilt ab 1. Januar 2010; Toleranzmarge 80 µg/m³, Verringerung ab 1. Januar 2003 jährlich um 10 µg/m³

5 Darstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Schadstoffemissionen und -immissionen

5.1 Emissionsmodellierung

Eine wesentliche Eingangsgröße zur Berechnung der Kfz-bedingten Schadstoffbelastung sind die Emissionen. Diese wurden anhand der neuen Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes mit Hilfe eines Emissionsmodells berechnet (Handbuch Emissionsfaktoren 2.1, UBA 2004; Infras Bern „HBEFA“). 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

Aus den spezifischen Emissionen kann die aktuelle, längenbezogene Emission E [g/(m·h)] mit folgendem Ansatz errechnet werden:

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

mit

E = Quellstärke [g/(m·h)]

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

F_k = stündliches Fahrzeugaufkommen [Kfz/h]

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

Ferner wird berücksichtigt, dass sich die Fahrleistungen im Raum Freiburg von den im Handbuch hinterlegten mittleren deutschen Verhältnisse unterscheiden. Tabelle 5-1 zeigt die entsprechenden Verteilungen. Demnach gibt es in Freiburg bei den PKW sowie den LNF sowohl mehr Altfahrzeuge (vor EURO 1) aber auch mehr Fahrzeuge, die bereits der EURO 4-Norm entsprechen.

Für die Prognosehorizonte 2008 und 2012 werden die Differenzen der Freiburger Verteilung analog zu den Änderungen des Handbuchs interpoliert. Die schweren Nutzfahrzeuge (SMW) wurden analog zum Handbuch angesetzt, da ein Großteil der Fahrzeuge nicht aus Freiburg stammt.

Gelb unterlegt sind die Anteile, die im Jahr 2008 dem Fahrverbot der Schadstoffgruppe 1 unterliegen, orange sind die Anteile der Schadstoffgruppe 2 unterlegt. Die jeweils entfallenden Fahrzeuggruppen werden bei den PKW und LNF durch entsprechende EURO5-Fahrzeuge, bei den LKW durch EURO 4 und EURO 5 Fahrzeuge ersetzt.

Tabelle 5-1: Verteilung der Fahrleistungen (dynamischer Bestand) in den Jahren 2005, 2008 und 2012 nach HBEFA 2.1 (Deutschlandmix) den entsprechend angesetzten Werten für das Stadtgebiet Freiburg.

Konzepte	HBEFA 2.1 2005	HBEFA 2.1 2008	HBEFA 2.1 2012	Freiburg 2005	Freiburg 2008	Freiburg 2012
PKW/B/Konv	1,2%	0,3%	0,0%	3,2%	0,7%	0,0%
PKW/B/GKat<91	1,9%	0,5%	0,0%	3,4%	0,9%	0,0%
PKW/B/Euro1/FAV1	13,9%	5,4%	0,9%	9,6%	3,7%	0,6%
PKW/B/Euro2	10,6%	6,8%	1,7%	8,0%	4,5%	0,2%
PKW/B/Euro3	16,8%	12,8%	6,1%	15,0%	10,9%	4,3%
PKW/B/Euro4	29,4%	42,7%	53,3%	34,9%	47,3%	56,5%
PKW/D/konv	0,1%	0,0%	0,0%	3,1%	0,0%	0,0%
PKW/D/XXIII/FAV1	2,4%	1,3%	0,4%	0,0%	1,6%	0,5%
PKW/D/Euro2	3,5%	2,3%	1,2%	4,0%	2,1%	0,3%
PKW/D/Euro3	15,2%	10,2%	6,2%	11,4%	7,0%	3,5%
PKW/D/Euro4	5,0%	17,9%	30,3%	7,5%	21,2%	34,1%
LNF/B/Konv	0,8%	0,2%	0,0%	1,4%	0,3%	0,0%
LNF/B/GKat<91	3,1%	1,6%	0,5%	1,8%	1,0%	0,3%
LNF/B/Euro2	1,7%	1,2%	0,5%	1,0%	0,6%	0,1%
LNF/B/Euro3	3,2%	2,0%	1,2%	1,9%	1,1%	0,5%
LNF/B/Euro4	5,4%	7,9%	9,8%	3,2%	6,0%	8,2%
LNF/D/konv	7,7%	3,7%	0,9%	8,3%	4,0%	0,9%
LNF/D/Euro1/FAV1	12,6%	8,0%	3,5%	15,6%	9,6%	4,0%
LNF/D/Euro2	20,4%	12,9%	7,4%	9,1%	5,4%	2,8%
LNF/D/Euro3	32,8%	25,2%	14,3%	33,3%	24,9%	13,6%
LNF/D/Euro4	12,3%	37,4%	62,0%	24,4%	47,3%	69,6%
SMW/80er_Jahre	12,1%	5,7%	0,9%	12,1%	5,7%	0,9%
SMW/Euro1	8,8%	4,9%	2,3%	8,8%	4,9%	2,3%
SMW/Euro2	36,2%	22,2%	11,3%	36,2%	22,2%	11,3%
SMW/Euro3	42,3%	43,4%	23,9%	42,3%	43,4%	23,9%
SMW/Euro4	0,6%	16,7%	14,2%	0,6%	16,7%	14,2%
SMW/Euro5	0,0%	7,1%	47,5%	0,0%	7,1%	47,5%

In den spezifischen Emissionen wurde der steigende Anteil von Klimaanlage berücksichtigt, der insbesondere eine Erhöhung der NO_x-Emissionen bewirkt.

Beim Tagesgang des Verkehrsaufkommens wurden 3 Klassen unterschieden: a) der Nachtzeitraum von 8 Stunden, b) der mittlere Tagzeitraum mit 11 Stunden und c) die Spitzenzeiten über einen Zeitraum von 5 Stunden.

Die Kaltstartanteile wurden gemäß VDI-Richtlinie 3782 Blatt 7 auf Hauptverkehrsstraßen mit 25,8% und auf Innerortsstraßen mit 36,9% angesetzt.

Die Tunnelemissionen wurden in Form eines Freistrahls über jeweils 50 m lange Stücke am Ende der Portale modelliert.

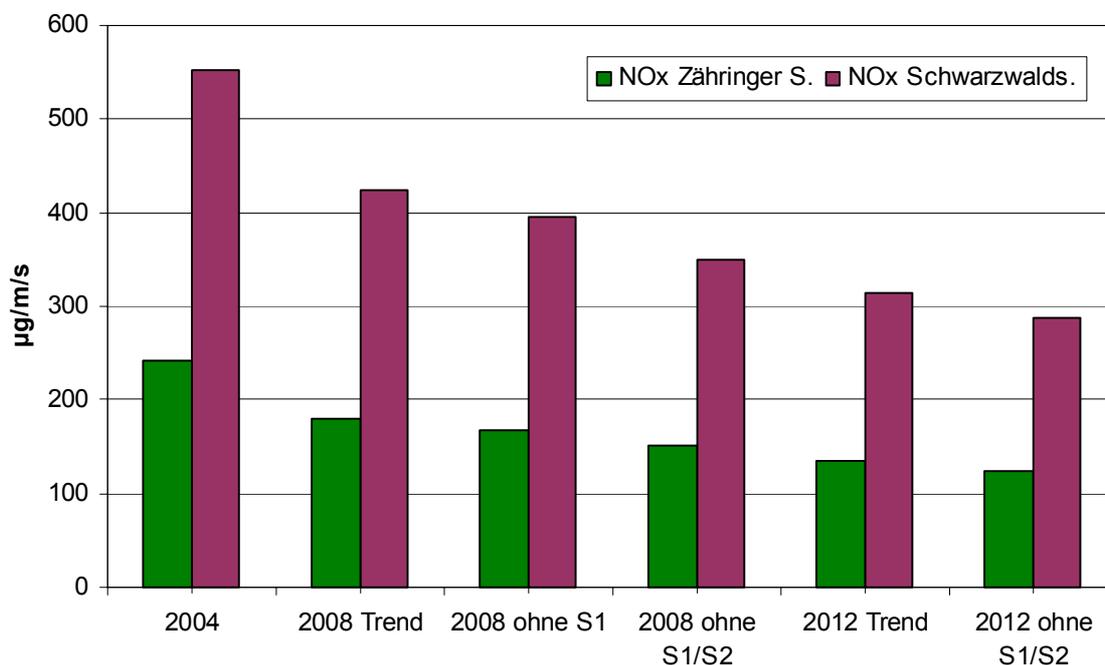


Abbildung 5-1: NO_x-Emissionen im Straßenquerschnitt an den Messstellen Zähringer Straße und Schwarzwaldstraße

In Abbildung 5-1 sind die NO_x-Emissionen für unterschiedliche Szenarien in den Straßenquerschnitten der Messstellen dargestellt. Aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens und des geringeren Lkw-Anteils sind die Emissionen in der Zähringer Straße geringer als in der Schwarzwaldstraße. Die größten Änderungen ergeben sich zwischen 2004 und 2008 durch den sukzessiven Ersatz von Altfahrzeugen. Bis 2012 bei zusätzlichem Ausschluss der Schadstoffklasse 2 und schlechter halbieren sich in der Schwarzwaldstraße die Emissionen nahezu.

Die PM₁₀-Emissionen bestehen nur zum Teil aus den Motoremissionen. Ein Großteil der Feinstaubemissionen entsteht durch Aufwirbelung und Abriebe (Reifenabrieb, Straßenabrieb, Bremsabrieb). An diesen Emissionen sind alle Fahrzeuge – nicht nur Dieselgetriebene – beteiligt. Aufwirbelung und Abrieb hängen stark vom Fahrmodus ab. Je größer die Störungen im Verkehrsablauf, also je häufiger Brems- und Beschleunigungsvorgänge auftreten, desto größer sind die spezifischen Emissionen. Ferner sind die Emissionsfaktoren für diese Anteile bei SNF knapp 10 mal höher.

Die spezifischen Emissionen für die Aufwirbelung und den Abrieb wurden entsprechend aktueller Untersuchungen von Schneider et.al. (Oktober 2006) angesetzt. Demnach ergeben sich beim Fahrmodus Lichtsignalanlage – starke Störungen (mittlere Geschwindigkeit 24 km/h) im Vergleich zu Hauptverkehrsstraße – mittlere Störungen (mittlere Geschwindigkeit 39 km/h) etwa doppelt so hohe Emissionsanteile.

In Abbildung 5-2 sind die PM₁₀-Emissionen in den Straßenquerschnitten an den Messstellen dargestellt. Da der Anteil Aufwirbelung und Abrieb ca. 3,7 mal so hoch ist wie die Motoremissionen und die Zahl der Verkehrsbewegungen im Lauf der Jahre steigt, ergeben sich durch die Reduktion der Motoremissionen keine drastischen Verbesserungen in den Emissionen.

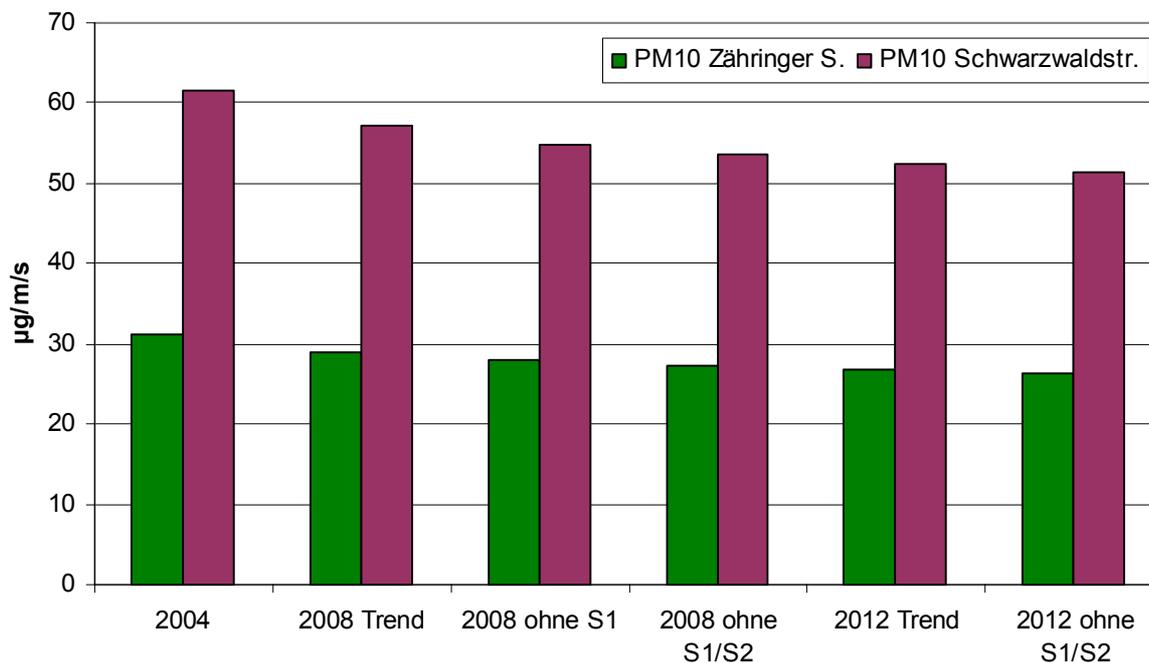


Abbildung 5-2: PM10-Emissionen im Straßenquerschnitt an den Messstellen Zähringer Straße und Schwarzwaldstraße

5.2 Ausbreitungsmodellierung

Im Rahmen dieses Gutachtens werden die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen in den beiden Untersuchungsgebieten „Schwarzwaldstraße“ und „Zähringer Straße“ untersucht. Die Maßnahmen wirken sich jedoch nicht nur auf die lokalen Quellen, d.h. die Straßenzüge im unmittelbaren Nahbereich aus, sondern auch auf weite Teile des Stadtgebietes, so dass die Einflüsse des weiteren Umfeldes ebenfalls berücksichtigt werden müssen. Daraus ergibt sich eine skalenübergreifende Untersuchung, bei der sowohl die kleinräumigen als auch die stadtweiten Auswirkungen zu berücksichtigen sind.

Abbildung 5-3 zeigt ein Konzentrationsprofil für einen fiktiven Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet. Die Gesamtbelastung (rote Kurve) setzt sich zusammen aus der Zusatzbelastung der lokalen Quellen (orangefarbener Bereich) und der allgemeinen Hintergrundbelastung (grüner Bereich). Beim Schnitt durch vielbefahrene Straßenräume ergeben sich Immissionsspitzen mit relativ steilen Abfällen an den Flanken.

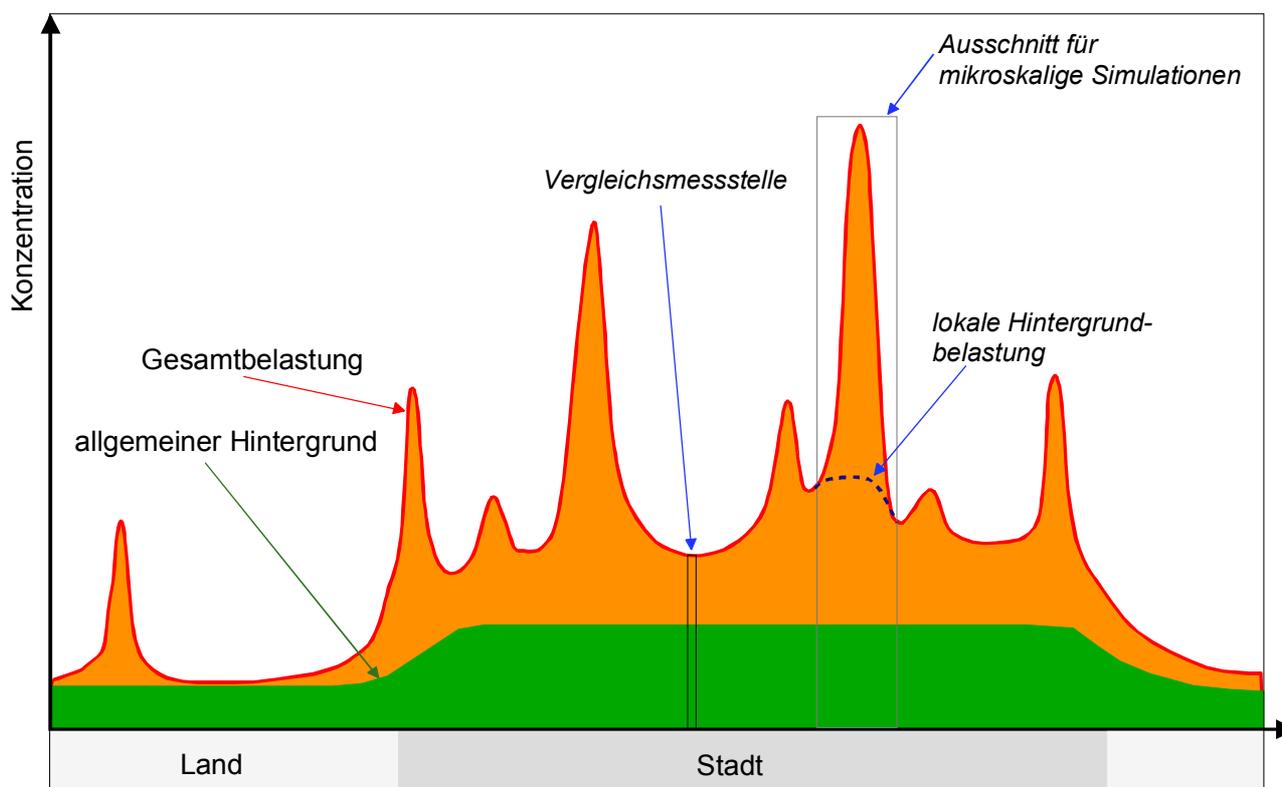


Abbildung 5-3: Konzentrationsverteilung auf einem Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet mit den entsprechenden Spitzen beim Anschnitt von viel befahrenen Straßenzügen.

Die Zusatzbelastung durch den Kfz-Verkehr wird zunächst mit dem Gaußmodell GAMOS für das Basisjahr 2004 aus dem Gesamtstraßennetz der Stadt Freiburg berechnet. Berücksichtigt werden alle Straßenzüge mit einem mittleren täglichen Verkehrsaufkommen von über 5.000 Fahrzeugen. Eine Kurzbeschreibung des Modells GAMOS ist im Anhang A dargestellt.

Aus dem Vergleich der berechneten Immissionen mit den Messwerten an der LUBW-Messstelle „Freiburg-Mitte“ (Technisches Rathaus) erhält man die im Jahr 2004 anzusetzende allgemeine Hintergrundbelastung. Diese wird pauschal für das gesamte Stadtgebiet angenommen.

Für die Prognosejahre 2008 und 2012 wird die allgemeine Hintergrundbelastung nach dem Verfahren MLuS02 (geänderte Fassung 2005) hochgerechnet.

Die lokale Hintergrundbelastung (blau gestrichelte Kurve in Abbildung 5-3) wird anschließend ebenfalls mit GAMOS für die beiden Beurteilungsgebiete berechnet. Dazu werden die in den jeweiligen Ausschnitten befindlichen Straßenzüge ausgeblendet, so dass man die anzusetzende Hintergrundbelastung des Straßenumfeldes erhält.

In den kleinräumigen 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 von Gebäuden zum Teil deutlich reduziert. Diese Effekte, die die Schadstoffaus-

breitung maßgeblich beeinflussen, können mit Gaußmodellen wie GAMOS nicht mehr wirklichkeitsnah berücksichtigt werden.

Um die Strömungs- und Ausbreitungsverhältnisse naturnah nachzubilden, wird das mikroskalige Simulationsmodell ABC (Beschreibung siehe Anhang A) verwendet. Das Modell berechnet auf der Basis des Gebäudekatasters, der Kfz-bedingten Emissionen und der meteorologischen Verhältnisse die Zusatzbelastung durch die im jeweiligen Modellgebiet liegenden Straßenzüge.

Zur Berechnung der Gesamtbelastung im Modellgebiet wird zusätzlich die Hintergrundbelastung benötigt. Diese setzt sich zusammen aus den Beiträgen weit entfernter Quellen (Ferntransport) und den Beiträgen von Gewerbe, Industrie, Hausbrand und den Straßenzügen mit einem Verkehrsaufkommen von weniger als 5.000 Kfz/Tag.

5.3 Wind- und Ausbreitungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet

Die Ausbreitungsmodelle benötigen die meteorologischen Eingangsdaten in Form von Häufigkeitsverteilungen der Parameter

- Windrichtung,
- Windgeschwindigkeit,
- Turbulenzklasse

(sog. Ausbreitungsklassen-Statistik), die sowohl örtlich als auch langjährig repräsentativ sein müssen.

Aufgrund der speziellen topographischen Lage von Freiburg am Fuß des Schwarzwaldes mit Teilen des Stadtgebiets im Dreisamtal gibt es deutliche räumliche Unterschiede in den Windverhältnissen. Abbildung 5-4 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen. 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.

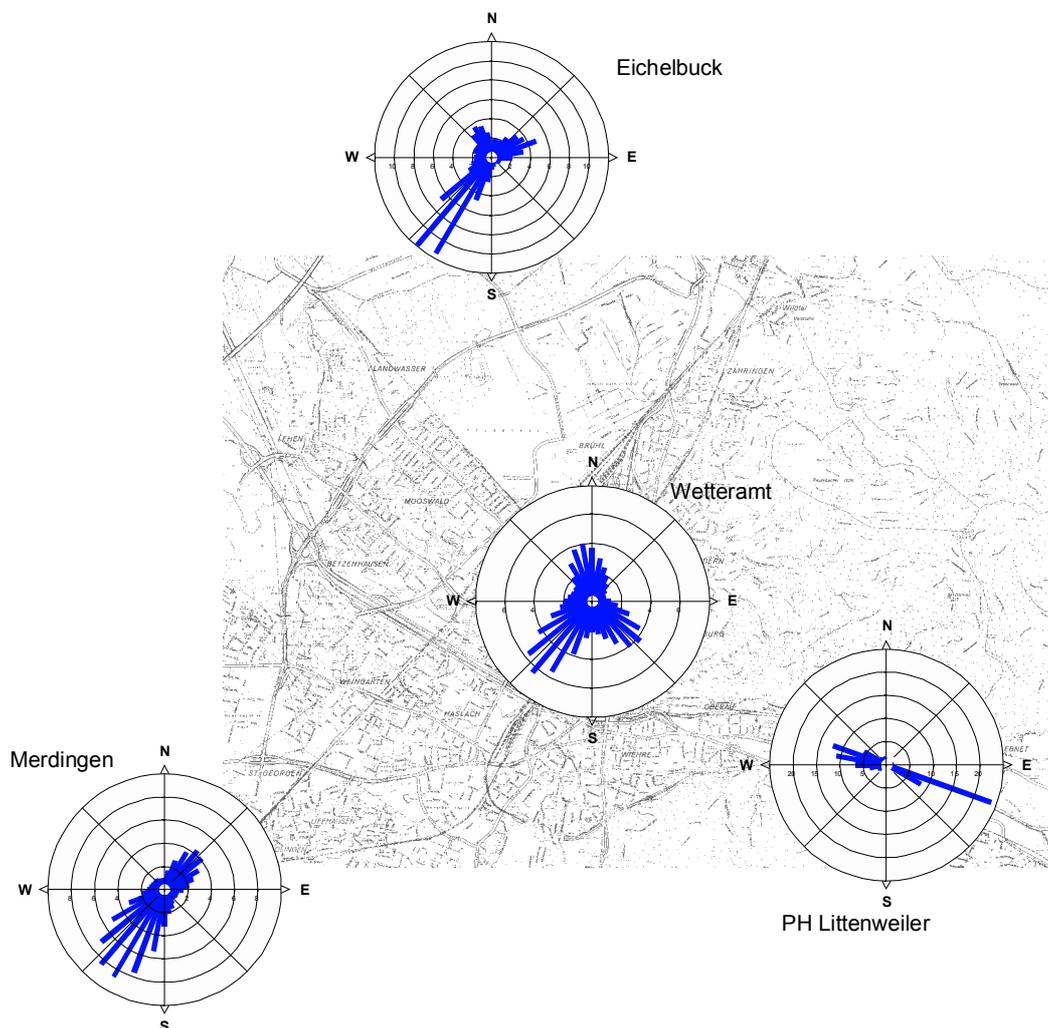


Abbildung 5-4: Unterschiedliche Ausbreitungsverhältnisse im Freiburger Raum. (Lage der Messstationen nur angedeutet).

Während man in der Rheinebene (analog zur Messstelle Merdingen) am häufigsten Windrichtungen aus Südsüdwest bzw. Nordnordost vorfindet, wird im Dreisamtal eine stark kanalisierte Ost-südost- bzw. Westnordwestströmung beobachtet (Messstelle Pädagogische Hochschule in Littenweiler). Große Teile des Stadtgebiets zeigen Übergangsformen dieser Verteilung. Als repräsentativ kann hier die Verteilung am Wetteramt Freiburg angesehen werden.

Im langjährigen Mittel beträgt die Windgeschwindigkeit etwa 3,2 m/s in 40 m über Grund. In 10 m über Grund werden im Mittel ca. 2 m/s beobachtet.

Die großräumigen Ausbreitungsrechnungen werden jeweils mit den Daten der 4 Messstellen durchgeführt und dann abstandsgewichtet in die Fläche übertragen.

5.4 Ermittlung der Hintergrundbelastung

Die Vorgehensweise erfordert eine Differenzierung in eine „allgemeine Hintergrundbelastung“ (Ferntransport, Gewerbe/Industrie, Straßen mit geringem Verkehrsaufkommen) und die „lokale Hintergrundbelastung“ im Bereich der Beurteilungsgebiete, die zusätzlich die Immissionen des Freiburger Straßennetzes beinhaltet.

In den Jahren 2001 bis 2005 wurden an der LUBW-Station „Freiburg-Mitte“ (Technisches Rathaus, ca. 1 km südlich des Untersuchungsgebiets) die in Tabelle 5-2 dargestellten Werte gemessen (UMEG, 2001 – 2004; LfU, 2004; LUBW, 2005). Die Zunahme der Immissionen in den Jahren 2001 bis 2003 – entgegen dem langjährigen Trend – ist auf Witterungseinflüsse zurückzuführen.

Tabelle 5-2: In den Jahren 2001 bis 2005 am Technischen Rathaus gemessene Immissionskenngrößen und Überschreitungen der Schwellen bei NO₂ und PM10

	2001	2002	2003	2004	2005
NO₂ Jahresmittelwert	21 µg/m ³	22 µg/m ³	23 µg/m ³	21 µg/m ³	21 µg/m ³
NO₂ Anzahl der Stundenmittelwerte, die die Konzentration von 200 µg/m ³ überschreiten	0	0	0	0	0
PM10 Jahresmittelwert	18 µg/m ³	20 µg/m ³	22 µg/m ³	19 µg/m ³	18 µg/m ³
PM10 Anzahl der Tagesmittelwerte, die die Konzentration von 50 µg/m ³ überschreiten	7	14	14	9	5

Zur Ermittlung der allgemeinen Hintergrundbelastung wurde die Immissionssituation an der Messstelle Freiburg-Mitte (Technisches Rathaus) für das Jahr 2004 berechnet, wobei nur der Anteil des Kfz-Verkehrs im Freiburger Straßennetz (DTV > 5000 Kfz/d) berücksichtigt wurde. Um im Jahresmittel die gemessenen 21 µg/m³ NO₂ zu erhalten, ist ein Wert von 9 µg/m³ als allgemeiner Hintergrund anzusetzen. Bei PM10 ist ein Wert von 17 µg/m³ anzusetzen. (Diese Konzentrationen würden vorliegen, wenn von den Freiburger Straßen, die ein DTV > 5000 Kfz/d aufweisen, keine Emissionen ausgingen).

Die Entwicklung des allgemeinen Hintergrunds für die Prognosehorizonte 2008 und 2012 erfolgt gemäß MLuS02 (geänderte Fassung 2005). Im Jahr 2008 ergibt sich für NO₂ ein Wert von 8,6 µg/m³ und im Jahr 2012 ein Wert von 8,4 µg/m³. Bei PM10 sinkt die Hintergrundbelastung im Jahr 2008 auf 16,3 µg/m³ und im Jahr 2012 auf 15,8 µg/m³.

Abbildung B 1 (im Anhang) zeigt die flächendeckende Immissionssituation im Freiburger Stadtgebiet für das Bezugsjahr 2004. Am stärksten belastet sind die Hauptverkehrswege (Autobahn, Westumfahrung, B31 mit Tunnelportalen). Mit zunehmendem Abstand zu den Straßen gehen die Immissionen rasch zurück. Hier ist zu beachten, dass die Farb-Klassifizierung nicht linear erfolgt, um bei den niedrigen Konzentrationen eine bessere Differenzierung zu erreichen.

Analoge Verhältnisse ergeben sich bei PM10 (vgl. Abbildung B 4).

6 Szenarien

6.1 Nullfall 2004

6.1.1 Verkehrsaufkommen

Die Berechnungen des Nullfalls dienen u.a. zum Abgleich mit Messergebnissen der Freiburger Messstationen.

Die Verkehrszahlen wurden dem Plan „Streckenbelastung der Stadt Freiburg“ entnommen, der verschiedene Zählzeiten aus den Jahren 1985 bis 2003 enthält. Ältere Daten wurden mit einer jährlichen Steigerung von 0,5% auf das Basisjahr 2004 hochgerechnet. Grafiken und Tabellen mit den entsprechenden Verkehrszahlen finden sich im Anhang A.

6.1.2 Lokale Hintergrundbelastung

Die allgemeine Hintergrundbelastung wurde mit GAMOS zu $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei NO_2 und $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei PM_{10} abgeschätzt. Die lokalen Hintergrundbelastungen für die beiden Beurteilungsgebiete sind in Tabelle 6-1 dargestellt.

Tabelle 6-1: Lokale Hintergrundbelastung, Nullfall, Bezugsjahr 2004

Gebiet	NO_2	PM_{10}
Zähringer Straße	$16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$18,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Schwarzwaldstraße	$17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$18,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

6.1.3 Ergebnisse

Die berechneten Jahresmittelwerte für NO_2 sind im Überblick in Abbildung B 1 dargestellt. Die höchsten Belastungen werden im Bereich der Tunnelportale¹, im Verlauf der B31, speziell im Bereich Schwarzwaldstraße und an der Autobahn berechnet. Die Immissionen können nicht punktscharf bewertet werden, da die pauschalisierten Annahmen zur Straßenrandbebauung und zum Fahrmodus in der Realität stärkere Gliederungen aufweisen, als dies im Modell berücksichtigt wird. Vielmehr erkennt man die räumliche Verteilung der Luftbelastung im städtischen Bereich und die wesentlichen Belastungsschwerpunkte.

Die lokale Verteilung im Bereich der Beurteilungsgebiete ist in Abbildung 6-1 (Zähringer Straße) und Abbildung 6-2 (Schwarzwaldstraße) dargestellt.

¹ Im Nahbereich der Tunnelportale werden die Konzentrationen überschätzt, da das Modell von ebenen Verhältnissen ausgeht und Tieflagen und partielle Überdeckelungen nicht berücksichtigt werden.

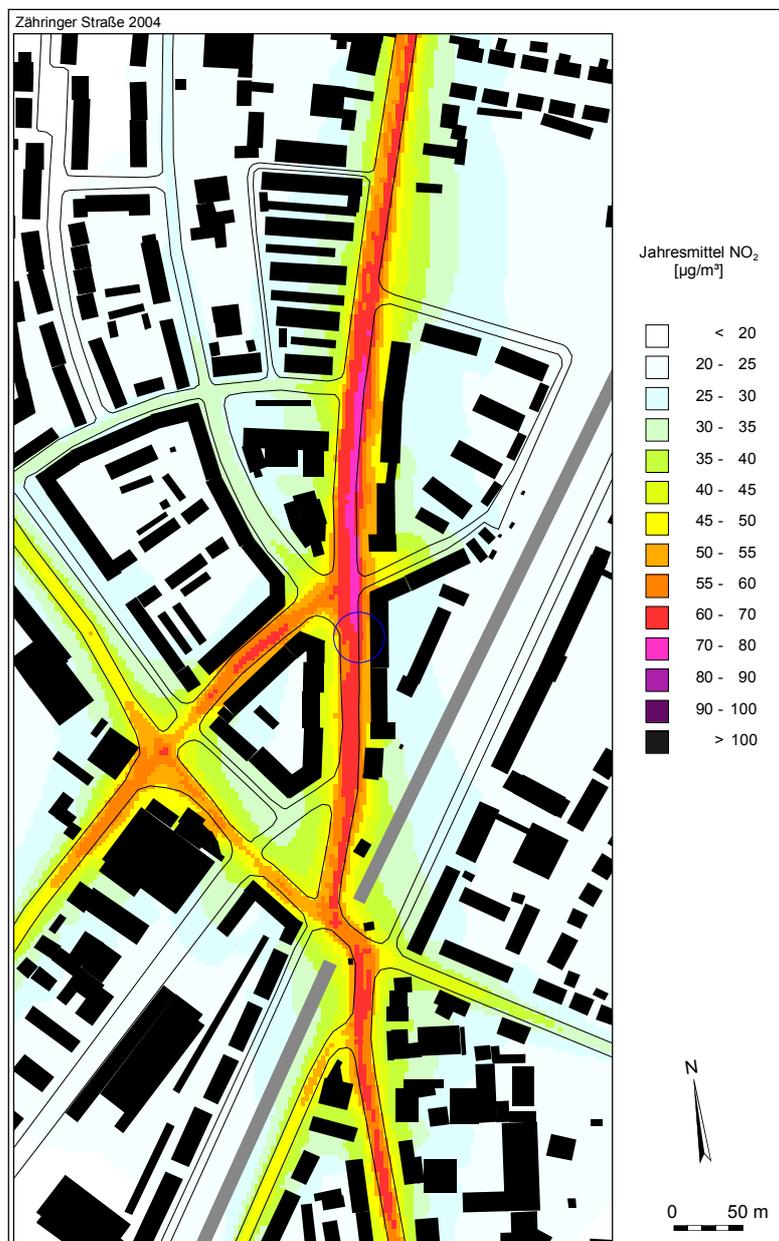


Abbildung 6-1: Jahresmittel NO₂; Beurteilungsgebiet Zähringer Straße, Nullfall 2004

Die höchsten Belastungen errechnen sich in der Zähringer Straße auf den Fahrspuren. Mit zunehmendem Abstand zum Straßenrand fallen die Konzentrationen rasch ab. An den Hausfassaden werden maximal Werte zwischen 55 und 60 µg/m³ berechnet. Am fahrbahnnahen Messpunkt (Zentrum des blauen Kreises) werden 61 µg/m³ berechnet.

Aufgrund des wesentlich höheren Verkehrsaufkommens sind die Schadstoffkonzentrationen im Beurteilungsbereich Schwarzwaldstraße deutlich höher. In Abbildung 6-2 sind die berechneten Immissionsverhältnisse für das Bezugsjahr 2004 dargestellt. Die höchsten Konzentrationen treten im Abschnitt zwischen dem nördlichen Tunnelportal und der Brauerei Ganter auf. Dies ist hauptsächlich auf die Bündelung der nördlichen und südlichen Fahrstreifen zurückzuführen.

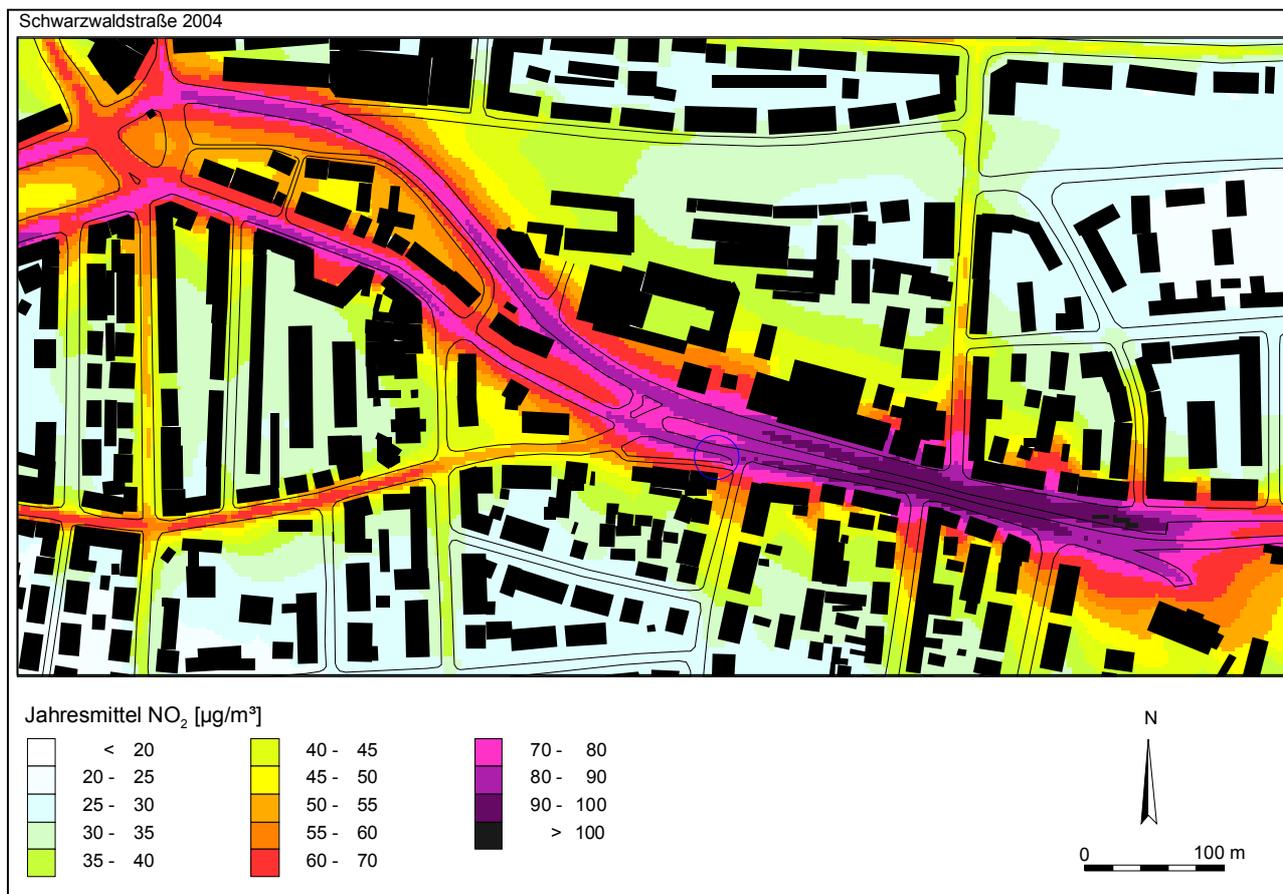


Abbildung 6-2: Jahresmittel NO₂; Beurteilungsgebiet Schwarzwaldstraße, Nullfall 2004

Die Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen können mit den Spotmessungen (UMEG, 2005) in den beiden Beurteilungsgebieten verglichen werden. Die Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4 zeigen die Ergebnisse der Messungen aus dem Jahr 2004. In Abbildung 6-5 sind die Verhältnisse in der Schwarzwaldstraße im Jahr 2005 dargestellt.

PM₁₀ wurde im Jahr 2004 nicht gemessen. In Straßennähe kann ungefähr ein Faktor 4 zwischen PM₁₀ und Ruß angesetzt werden (UMEG, 2003), so dass die gemessenen Russwerte von 8,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf einen PM₁₀-Wert um 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2004 schließen lassen. Die im Jahr 2005 durchgeführten PM₁₀-Messungen ergaben einen Jahresmittelwert von 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Zahl der Tagesmittelwerte über 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lag bei 21.

Das Jahr 2006 weist aufgrund der Inversionslagen im Winter bundesweit überdurchschnittliche Überschreitungshäufigkeiten auf. In der Schwarzwaldstraße sowie in der Zähringer Straße wurden bis zum 16. Oktober 2006 jeweils 37 Überschreitungen ermittelt.

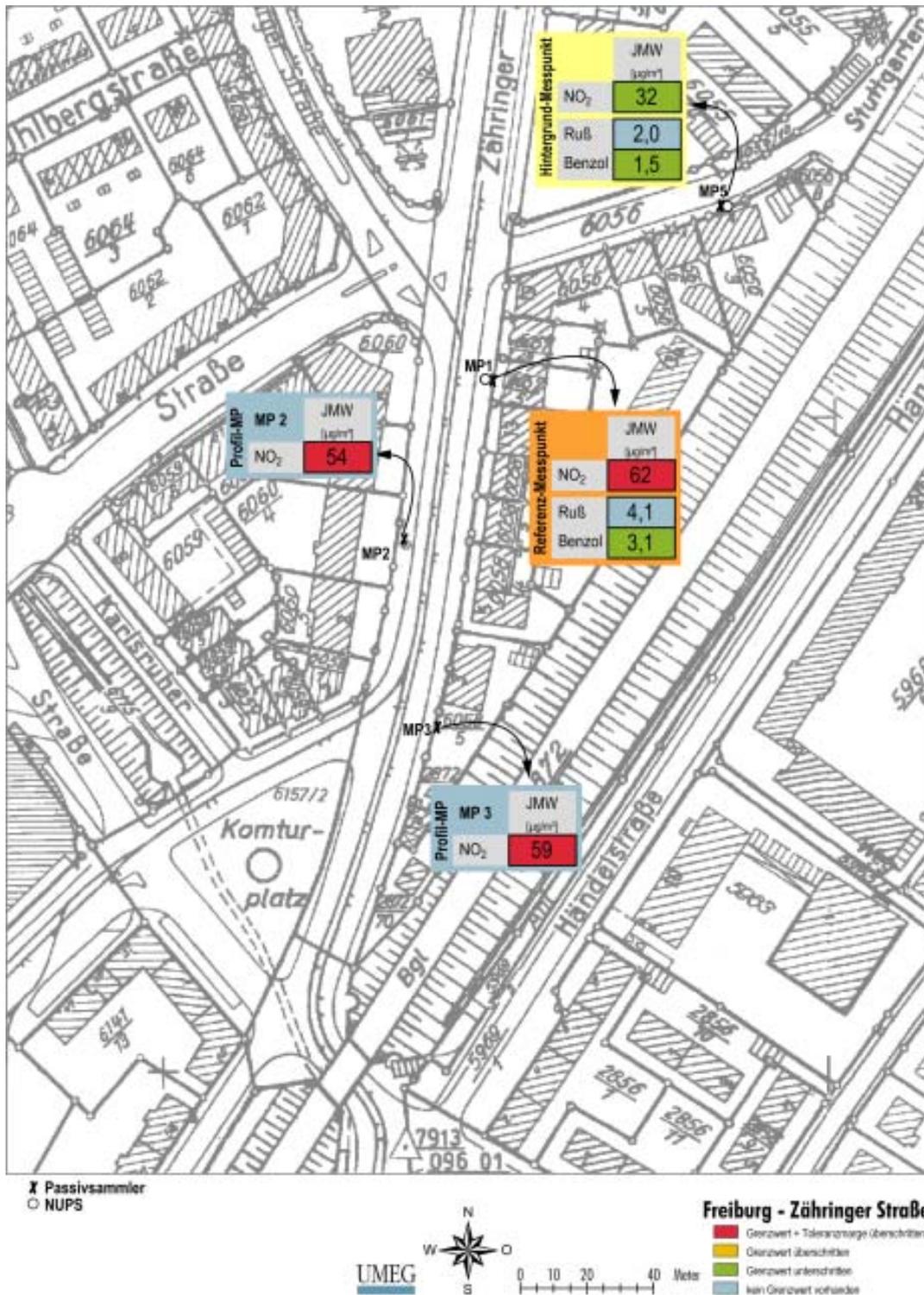


Abbildung 6-3: Ergebnisse der Spotmessungen 2004 - Messpunkt Freiburg - Zähringer Straße (Quelle: UMEG, 2005)

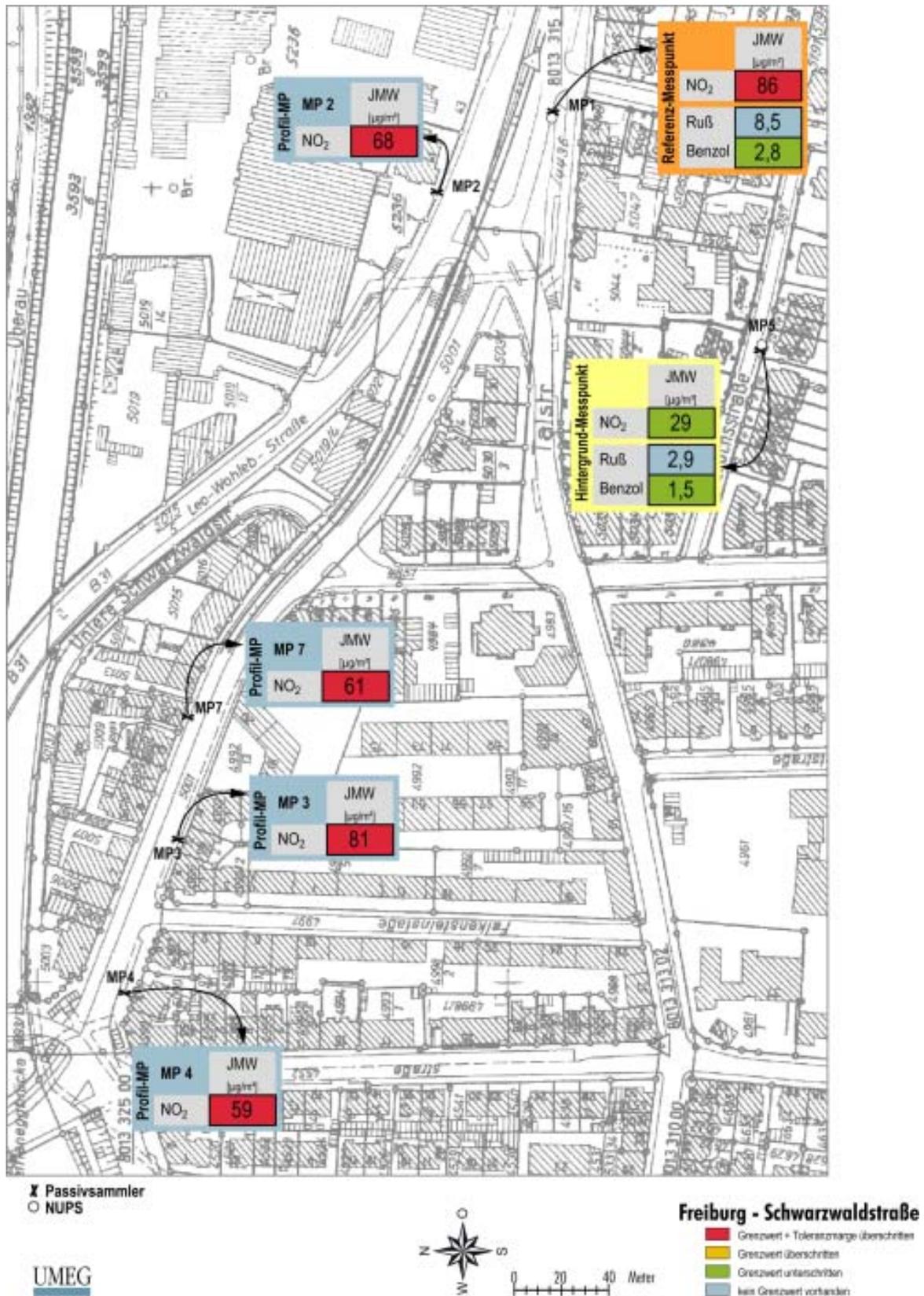


Abbildung 6-4: Ergebnisse der Spotmessungen 2004 - Messpunkt Freiburg – Schwarzwaldstraße (Quelle: UMEG, 2005)

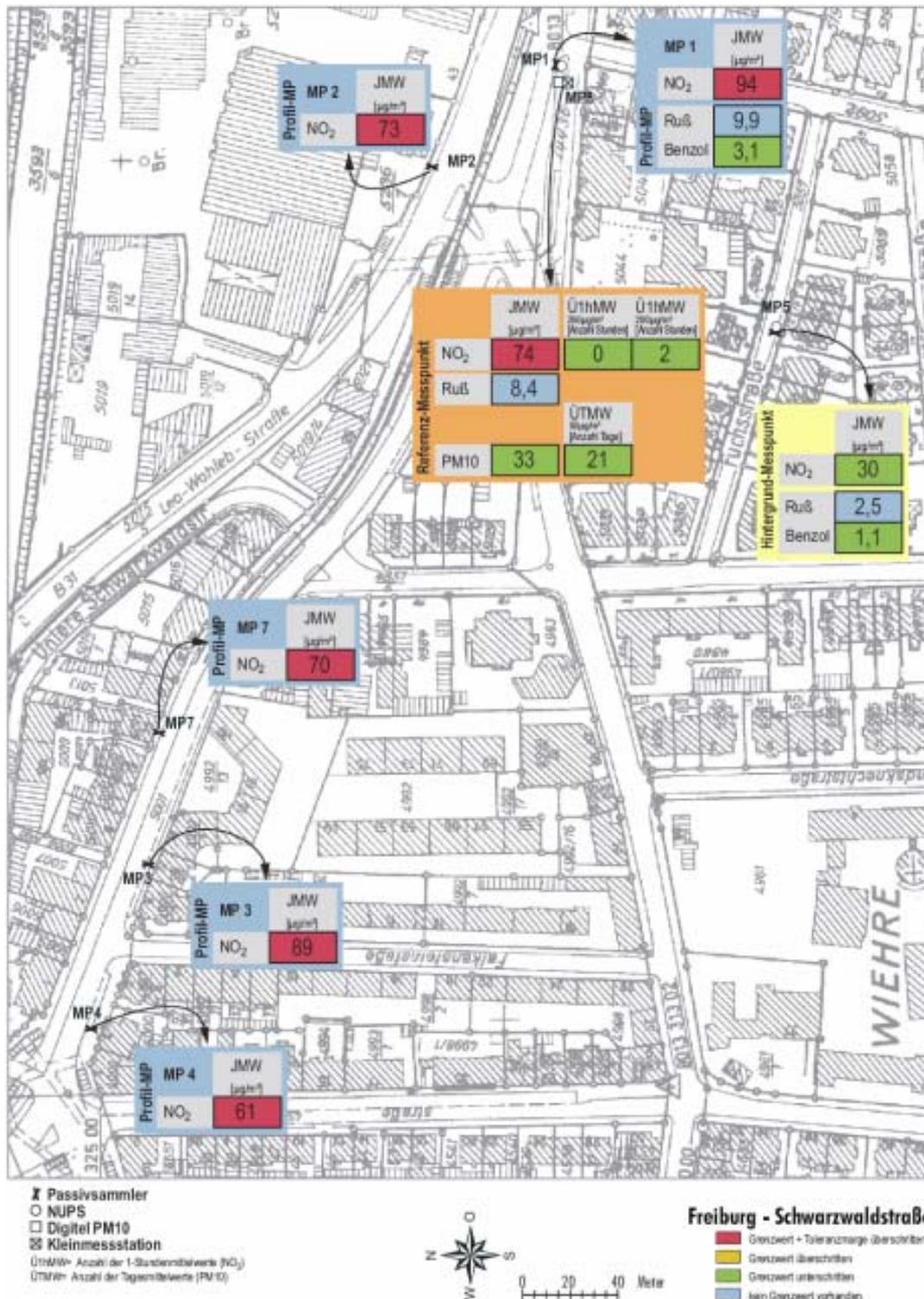


Abbildung 6-5: Ergebnisse der Spotmessungen 2005 - Messpunkt Freiburg – Schwarzwaldstraße (Quelle: LUBW, 2006)

In Tabelle 6-2 werden die Messungen und die Ergebnisse der Modellrechnungen an den entsprechenden Gitterpunkten einander gegenübergestellt. Im Bereich „Zähringer Straße“ ist die Übereinstimmung relativ gut. Die maximale Abweichung liegt bei 1,6%.

Tabelle 6-2: Gemessene und berechnete NO_2 -Jahresmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Bezugsjahr 2004

	Messpunkt	Messung UMEG	Ausbreitungs- rechnung	Proz. Abweichung
		2004	2004	
Zähringer Straße	MP1 (Referenz)	62	61,0	-1,6%
	MP2	54	54,8	+1,5%
	MP3	59	58,9	-0,2%
	MP5 (Hintergrund)	32	32,5	1,5%
Schwarzwaldstraße	MP1 (Referenz)	86	81,0	-5,8%
	MP2	68	71,6	+5,3%
	MP3	81	82,6	+1,9%
	MP4	59	65,4	+10,8%
	MP5 (Hintergrund)	29	26,4	-8,9%
	MP7	61	65,9	+8,0%

Im Verlauf der Schwarzwaldstraße treten am westlichsten Messpunkt Abweichungen bis zu $6,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Das entspricht ca. 11% des Messwerts. Gründe für diese Abweichungen liegen hauptsächlich in der räumlichen Auflösung. Straßennah treten sehr große Konzentrationsgefälle auf. In Abbildung 6-8 und Abbildung 6-7 sind straßensenkrechte Schnitte im Bereich des Referenzpunktes (MP1) dargestellt. In der Schwarzwaldstraße ergibt sich z.B. im Bereich von $\pm 3 \text{ m}$ zur Gitterzelle, die den Messpunkt repräsentiert, eine Spanne von $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Man kann daraus ableiten, dass hier auch die Verteilung des Verkehrs auf die einzelnen Fahrspuren von großer Bedeutung ist. Für die Simulationen standen keine fahrspurfeinen Zählraten zur Verfügung. Insgesamt kann die Übereinstimmung im Verlauf der Schwarzwaldstraße jedoch als befriedigend angesehen werden. Insbesondere stimmen die Messergebnisse 2005 in ihrer räumlichen Struktur besser mit den Modellrechnungen zusammen.



Abbildung 6-6: Lage des Messpunkts 1 an der Schwarzwaldstraße; Blick nach Osten.

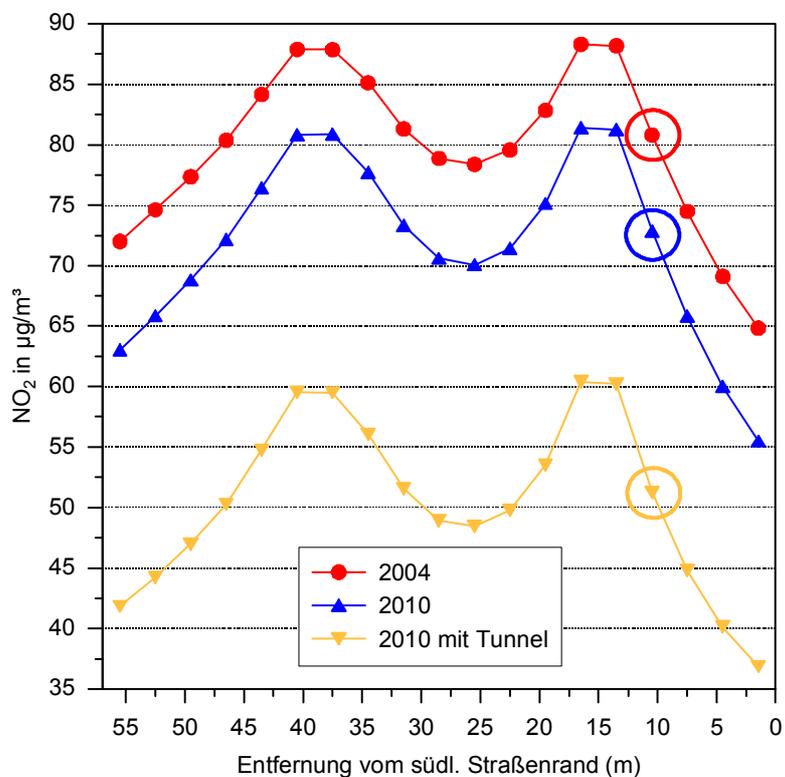


Abbildung 6-7: Straßenquerschnitt der NO₂-Immission von Süd (rechte Seite) nach Nord (linke Seite) an der Schwarzwaldstraße in Höhe des Referenz-Messpunkts (Kreis)

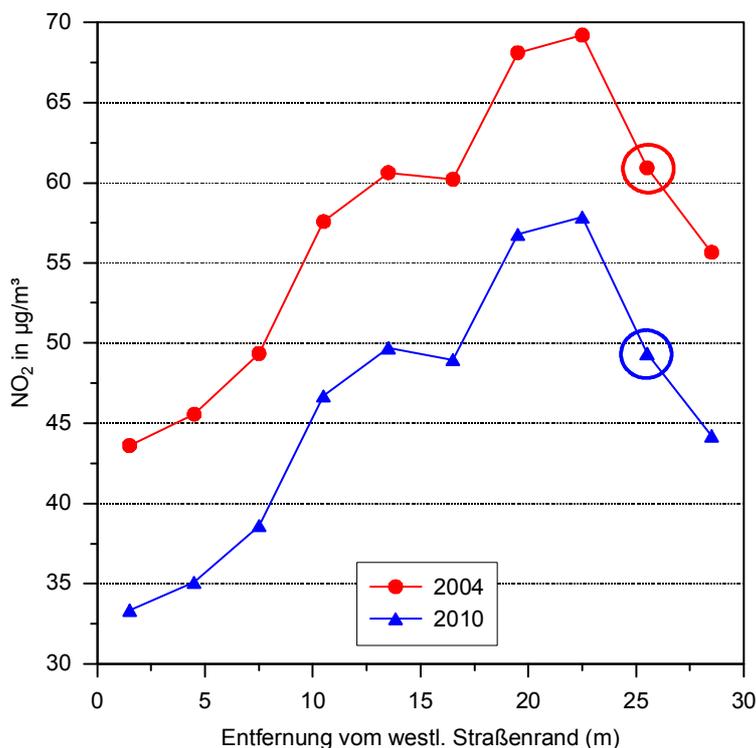


Abbildung 6-8: Straßenquerschnitt der NO₂-Immission von West nach Ost an der Zähringer Straße in Höhe des Referenz-Messpunkts (Kreis)

6.2 Prognosehorizonte

Als Prognosehorizonte werden das Jahr 2008 und das Jahr 2012 festgelegt.

Durch den sukzessiven Ersatz von Altfahrzeugen gehen die spezifischen Fahrzeugemissionen in den kommenden Jahren zurück. Neben dem generellen Trend werden weitere Maßnahmen betrachtet. Als Szenarien ergeben sich folgende Fälle:

- Nullfall 2004
- Trend 2008 (ohne Maßnahmen)
- Trend 2008 und Modal-Split I
- Trend 2008 und Modal-Split II
- Trend 2008 und Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 in der Umweltzone
- Trend 2008 und Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1+2 in der Umweltzone
- Trend 2008 und Modal-Split I + für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1
- Trend 2012 (ohne Maßnahmen)
- Trend 2012 und Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1+2 in der Umweltzone
- Trend 2012 und Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1+2 sowie Modal-Split I
- Trend 2012 und Realisierung Stadttunnel
- Trend 2012 und Stadttunnel, Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1+2 sowie Modal-Split II

6.3 Verkehrsaufkommen

6.3.1 Trend

Gegenüber dem Nullfall 2004 wird auf dem gesamten Freiburger Straßennetz eine jährliche Verkehrszunahme von 0,5% angesetzt (Stadt Freiburg, 2005). Auf der B31 wird mit einer jährlichen Zunahme von 1% gerechnet. Gegenüber 2004 sind dies bis zum Jahr 2008 Zunahmen von 2,0% bzw. 4,1% bzw. bis zum Jahr 2012 von 4,1% und 8,2%.

Für den Bereich Zähringer Straße liegt eine Verkehrsprognose für das Bezugsjahr 2010 vor. Für 2008 wird auf diese Daten zurückgegriffen. Für 2012 wird eine Steigerung entsprechend den obigen Angaben angenommen.

6.3.2 Einzelmaßnahmen

Modal-Split 1

Durch zahlreiche Maßnahmen, insbesondere den Ausbau des ÖPNV, dessen Umsetzung gesichert ist, geht die Zahl der mit dem Kfz zurückgelegten Fahrten zurück. Prognostiziert wird im Szenario Modal-Split1 eine Reduktion von 3,1%.

Modal-Split 2

Durch den weiteren Ausbau des ÖPNV und Verbesserungen für Fußgänger und Radfahrer („Stadt der kurzen Wege“) soll die Zahl der mit dem Kfz zurückgelegten Kilometer weiter abnehmen. Im Szenario Modal-Split 2 wird eine Reduktion der Fahrwege um 10,2% prognostiziert.

Fahrverbot für Schadstoffgruppe 1

Innerhalb einer so genannten Umweltzone sollen ab 2008 Fahrzeuge, die der Schadstoffgruppe 1 zugeordnet sind, nicht mehr fahren dürfen. Das Verkehrsaufkommen wird für die Modellrechnungen konstant auf dem Niveau 2008 gehalten, d.h. die entfallenden Fahrzeuge werden bei den Pkw und LNF durch entsprechende EURO 4-Fahrzeuge, bei den Lkw jeweils zur Hälfte durch EURO 4- und EURO 5-Fahrzeuge ersetzt.

Fahrverbot für Schadstoffgruppe 2

Dieses Fahrverbot soll erst ab 2012 zur Anwendung kommen. Als hypothetisches Szenarium wird dieser Fall als vorgezogene Maßnahme für den Prognosehorizont 2008 dargestellt.

Realisierung des Stadttunnels

Durch den Bau des Stadttunnels kann die Immissionssituation (mit Ausnahme der Tunnelportale) zwischen dem Schützenalleetunnel im Osten und der Kronenbrücke verbessert werden, da der Durchgangsverkehr durch den Tunnel geleitet wird. Angesetzt wird das gesamte Verkehrsaufkommen (Tunnel und Schwarzwaldstraße) wie im Trendfall 2012. Im Bereich der Schwarzwaldstraße, der Dreisamstraße und der Schillerstraße halbiert sich dadurch der oberirdische Verkehr.

Bei den Lkw-Anteilen wird davon ausgegangen, dass 70% der Fahrzeuge durch den Tunnel und die verbleibenden 30% durch die Schwarzwaldstraße, die Schillerstraße und die Dreisamstraße fahren.

6.3.3 Kombinierte Maßnahmen

Fahrverbot für Schadstoffgruppe 1 und Modal-Split 1

Bei diesem Szenario wird eine für das Prognosejahr 2008 realistische Kombination betrachtet.

Fahrverbot für Schadstoffgruppe 1 und 2 und Modal-Split 1

Dies kann als realistisches Szenario für das Prognosejahr 2012 angesehen werden.

Stadttunnel, Verkehrsverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1+2 sowie Modal-Split II

Dies stellt das optimistischste Szenario für den Prognosehorizont 2012 dar.

6.4 Hintergrundbelastung

Die Hintergrundbelastung, d.h. der Anteil an Immissionen, der nicht durch die Modellierung der Kfz-bezogenen Quellen zustande kommt, wird nach dem Verfahren MLuS02 für die Prognosejahre abgeschätzt. Dem überlagert werden die mit dem Netzmodell GAMOS berechneten Immissionen des Freiburger Kfz-Verkehrs.

Die berechneten Werte für die beiden Beurteilungsgebiete sind in Tabelle 6-3 für NO₂ und für PM10 dargestellt.

Tabelle 6-3: Hintergrundbelastung NO₂ und PM10; Angaben in µg/m³

Szenario	Zähringer Straße	Schwarz-waldstraße	Zähringer Straße	Schwarz-waldstraße
	NO ₂	NO ₂	PM10	PM10
Nullfall 2004	16,5	17,2	18,1	18,2
Trend 2008	14,7	15,1	17,4	17,5
Trend 2008 - Modal-Split I	14,5	14,9	17,4	17,5
Trend 2008 - Modal-Split II	13,9	14,3	17,3	17,3
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1	14,4	14,9	17,4	17,5
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1/S2	14,1	14,5	17,4	17,4
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1 + Modal-Split I	14,1	14,7	17,2	17,4
Trend 2012	13,0	13,3	16,8	16,9
Trend 2012 - Verkehrsverbot für S1/S2	12,8	13,1	16,8	16,9
Trend 2012 - Verkehrsverbot S1/S2 + Modal-Split I	12,7	13,0	16,8	16,8
Trend 2012 - Stadttunnel	13,0	13,3	16,8	16,9
Trend 2012 - Stadttunnel + Verkehrsverbot S1/S2 + Modal-Split II	12,4	12,6	16,6	16,7

Gegenüber dem Jahr 2004 gehen die Hintergrundbelastungen bei NO₂ im Prognosejahr 2008 um ca. 2 µg/m³ bis 3 µg/m³ zurück. Bis 2012 sind je nach Szenarium und Beurteilungsgebiet nochmals 1 µg/m³ bis 1,5 µg/m³ Rückgang gegenüber 2008 zu erwarten.

Bei PM10, das deutlich weniger von den Kfz-bedingten Quellen abhängt, ist der Rückgang der Hintergrundbelastung in den Beurteilungsgebieten wesentlich geringer. Bis 2012 sind maximal 1,5 µg/m³ zu erwarten.

6.5 Ergebnisse der flächendeckenden Simulationen

Der Nullfall 2004 sowie die Trendfälle 2008 und 2012 sind für NO₂ die Jahresmittelwerte in den Abbildungen B 2 bis B 4 dargestellt. Für PM10 finden sich diese Fälle in den Abbildungen B 5 bis B 7.

Im Vergleich zum Nullfall ist sowohl bei NO₂ als auch bei PM10 eine deutliche Verbesserung in weiten Teilen des Stadtgebietes zu erkennen.

An den „hot-spots“ Tunnelportale, Schwarzwaldstraße, Westumfahrung und Autobahn werden bei NO₂ auch in den Prognoseszenarien Werte über 40 µg/m³ berechnet. Analog findet man in diesen Bereichen bei PM10 Werte über 28 µg/m³.

7 Ergebnisse in den Beurteilungsgebieten

In Tabelle 7-1 sind die an den Messstellen berechneten Jahresmittelwerte von NO₂ und PM10 aufgeführt.

Tabelle 7-1: Berechnete Jahresmittelwerte NO₂ und PM10 an den Messstellen; Angaben in µg/m³

Szenario	Zähringer Straße	Schwarzwaldstraße	Zähringer Straße	Schwarzwaldstraße
	NO ₂	NO ₂	PM10	PM10
Nullfall 2004	61,0	81,0	29,2	34,6
Trend 2008	53,9	75,4	27,1	32,9
Trend 2008 - Modal-Split I	53,1	74,7	26,7	32,4
Trend 2008 - Modal-Split II	51,2	73,0	25,9	31,2
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1	52,3	73,9	26,3	31,8
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1/S2	49,8	71,2	25,9	31,3
Trend 2008 - Verkehrsverbot S1 + Modal-Split I	51,5	73,2	25,9	31,4
Trend 2012	46,7	68,6	24,9	30,2
Trend 2012 - Verkehrsverbot für S1/S2	45,1	66,6	24,6	29,7
Trend 2012 - Verkehrsverbot S1/S2 + Modal-Split I	44,3	65,8	24,3	29,3
Trend 2012 - Stadttunnel	46,7	51,1	24,9	21,3
Trend 2012 - Stadttunnel + Verkehrsverbot S1/S2 + Modal-Split II	42,6	48,5	23,6	20,6

Die jeweils größten Effekte ergeben sich durch den Prognosehorizont. Die Einzelmaßnahmen bewirken dagegen eher geringe Effekte. Dies liegt bei PM10 hauptsächlich an der überlagerten Hintergrundbelastung, die die emissionsseitig zu erwartenden Auswirkungen bei der Gesamtbelastung

stark dämpft. Bei NO₂ führt die nichtlineare chemische Umsetzung des hauptsächlich als NO emittierten Schadstoffs zu stark verminderten Effekten auf der NO₂-Immissionsseite.

7.1 NO_x/NO₂-Immissionsverhältnisse

In Abbildung 7-1 sind die berechneten NO_x-Konzentrationen an der Messstelle in der Zähringer Straße dargestellt. Die gelben Balken geben die lokale Hintergrundbelastung an. Man erkennt, dass der überwiegende Teil der NO_x-Belastung im unmittelbaren Straßennahbereich durch den Verkehr erfolgt.

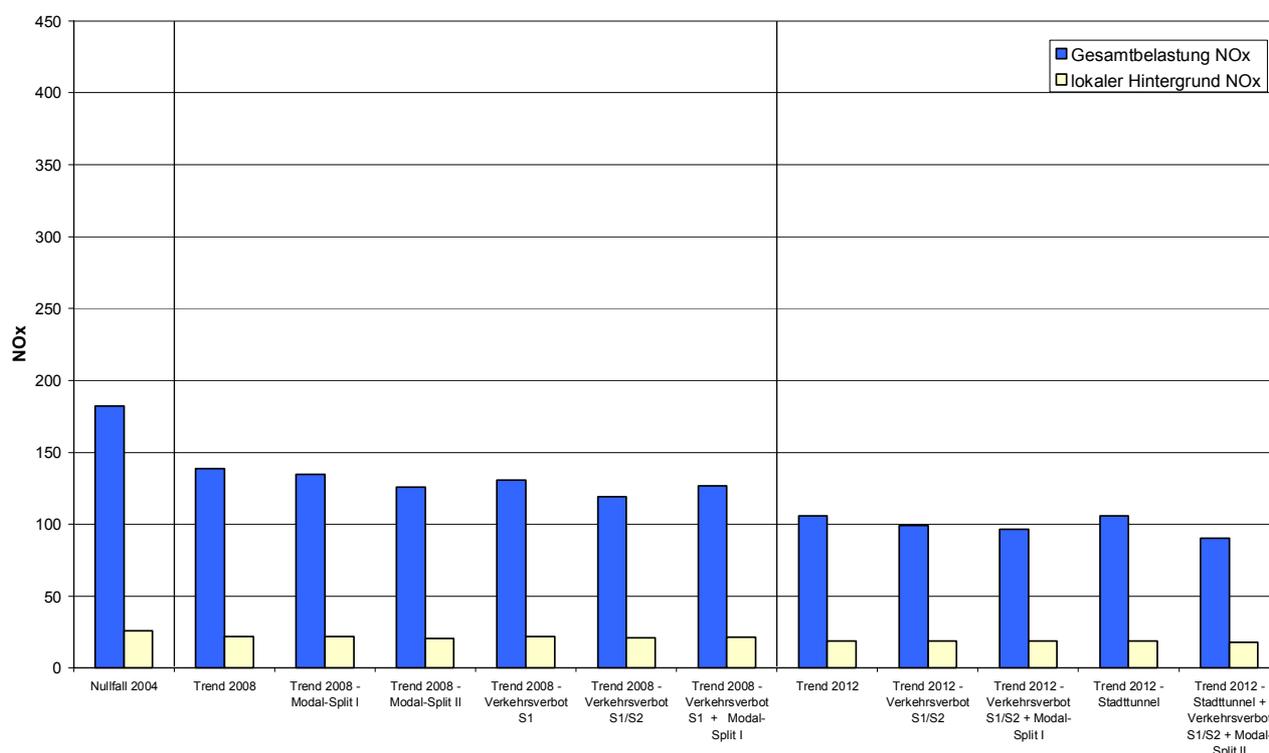


Abbildung 7-1: Berechnete NO_x-Konzentrationen in µg/m³ an der Messstelle Zähringer Straße für unterschiedliche Szenarien

In Abbildung 7-2 sind die Verhältnisse für die Referenz-Messstelle in der Schwarzwaldstraße dargestellt. Die NO_x-Belastung ist im Vergleich zur Zähringer Straße wesentlich höher.

An beiden Standorten ist ein wesentlicher Teil des Rückgangs der Immissionen durch den sukzessiven Flottenersatz mit emissionsärmeren Fahrzeugen im Lauf der nächsten Jahre zu erwarten. Auch die Realisierung des Stadttunnels bringt im Bereich Schwarzwaldstraße eine deutliche Verbesserung bei den NO_x-Immissionen. Die Maßnahmen liefern meist kleine Beiträge, die in der Summe jedoch auch zu spürbaren Verbesserungen führen.

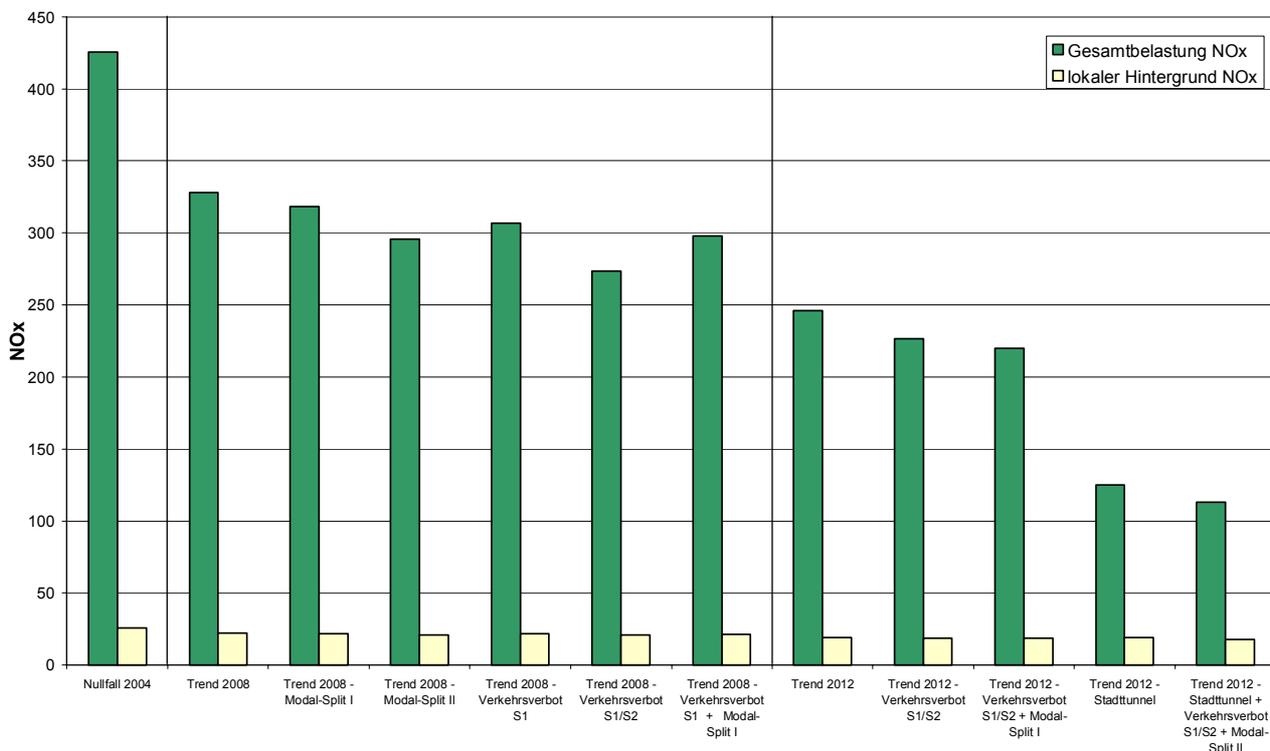


Abbildung 7-2: Berechnete NO_x-Konzentrationen in µg/m³ an der Messstelle Schwarzwaldstraße für unterschiedliche Szenarien

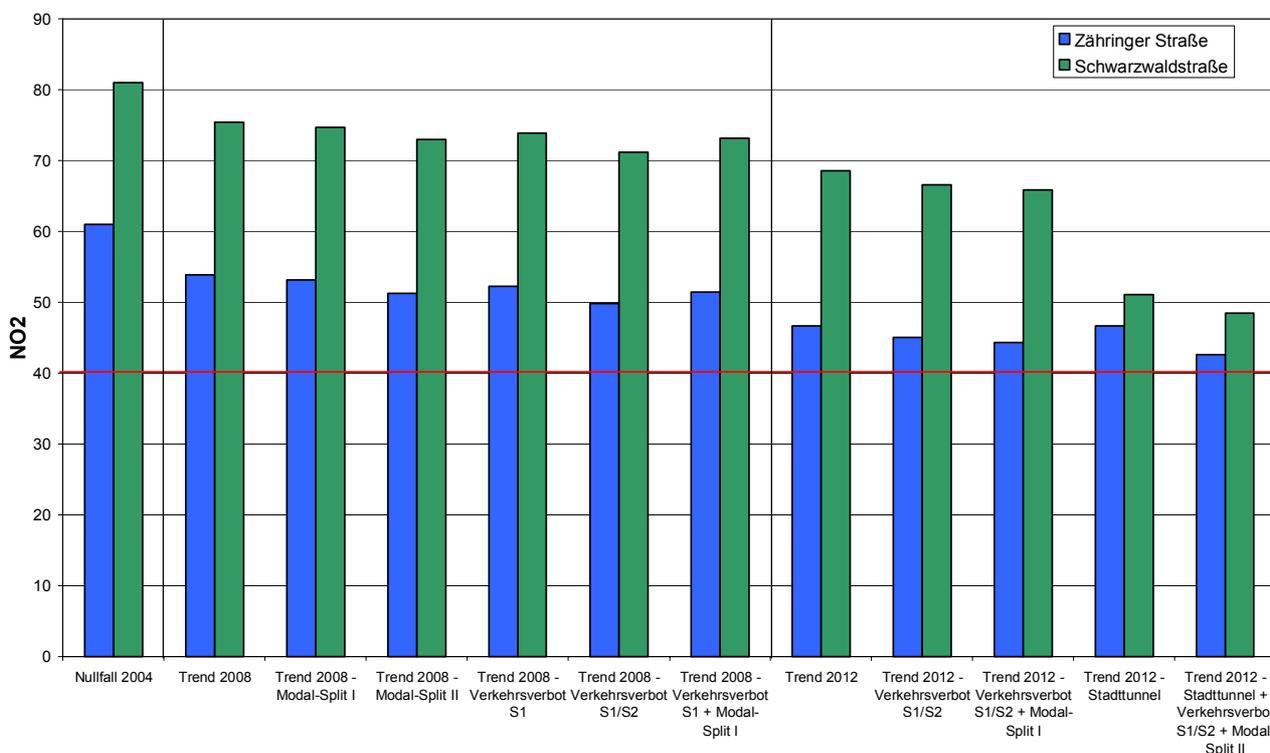


Abbildung 7-3: Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf die NO₂-Konzentrationen (in µg/m³) an den beiden Messstellen.

Für die Bewertung sind allerdings die NO_2 -Verhältnisse maßgebend. Die NO_2 -Jahresmittelwerte sind in Abbildung 7-3 bzw. in Tabelle 7-1 dargestellt. Die Abschätzungen zeigen auch hier einen deutlichen Rückgang der Immissionen. Aufgrund der chemischen Umsetzung des überwiegend als NO emittierten Schadstoffes wirkt sich die Entlastung jedoch weniger stark aus, als dies aufgrund des Rückgangs von NO_x zu erwarten wäre.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei Umsetzung weitgehender Möglichkeiten davon auszugehen ist, dass der Grenzwert für die Jahresmittelwerte von NO_2 , zumindest im Bereich Schwarzwaldstraße, bis zum Jahr 2012 nicht eingehalten wird.

Eine exakte Bestimmung der Überschreitungshäufigkeit der Schwelle von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist rechnerisch nicht möglich. Dazu würden neben der Zeitreihe der Zusatzbelastung synchrone Zeitreihen der Hintergrundbelastung benötigt. Da die NO_2 -Bildung zudem stark vom Ozonangebot anhängt, lassen sich hier keine verlässlichen Berechnungen durchführen.

Messungen der UMEG zeigen, dass ab einem Jahresmittelwert von $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ die Schwelle von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von mehr als 18 Stundenmittelwerten überschritten werden kann. Insofern sind Überschreitungen dieses Grenzwertes in der Schwarzwaldstraße, mit Ausnahme der Stadttunnelszenarien, theoretisch nicht auszuschließen. Die aktuellen Messwerte deuten darauf hin, dass die Überschreitungshäufigkeiten bei NO_2 unter den zulässigen Schwellen liegen.

7.2 PM10-Immissionsverhältnisse

Im Raum Freiburg stellt PM10 im Vergleich zum Landesschnitt das kleinere Problem dar. Dies zeigen zum einen die Messungen in Freiburg, aber auch Messungen an der Bundesautobahn A5 bei Kenzingen und Holzhausen. Ursachen dürften die geringe Industrialisierung des Raums und die höhere jährliche Niederschlagsmenge durch den Stau am Schwarzwaldrand sein.

In Abbildung 7-4 sind die Jahresmittelwerte der PM10-Konzentration für die beiden Messpunkte in der Zähringer Straße bzw. in der Schwarzwaldstraße für verschiedene Maßnahmen und Kombinationen von Maßnahmen dargestellt.

In der Zähringer Straße wird der PM10-Grenzwert sicher eingehalten. Statistische Auswertungen des Verhältnisses der Zahl der Tage mit Überschreitungen zum Jahresmittelwert PM10 zeigen, dass ab einem Jahresmittelwert von ca. $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Überschreitungen der $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schwelle an mehr als 35 Tagen nicht mehr sichergestellt ist. Insbesondere in Jahren wie 2006 mit lang anhaltenden Inversionswetterlagen sind deshalb auch in der Zähringer Straße Überschreitungen möglich.

In der Schwarzwaldstraße wird der Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Jahresmittelwert PM10 ebenfalls sicher eingehalten. Die Zahl von 35 zulässigen Überschreitungen ist allerdings nicht sicher eingehalten. Untersuchungen der BAST (2005) zeigen, dass bei gemessenen Jahresmittelwerten von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Überschreitungshäufigkeiten zwischen 15 und 52 bestimmt wurden. Bei Jahresmittelwerten von $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt die Spanne zwischen 34 und 62. Die bisherigen Messungen (vgl. Abbildung 6-5) zeigen, dass die Überschreitungshäufigkeiten an dieser Messstelle eher im unteren Bereich dieser Spannen liegt.

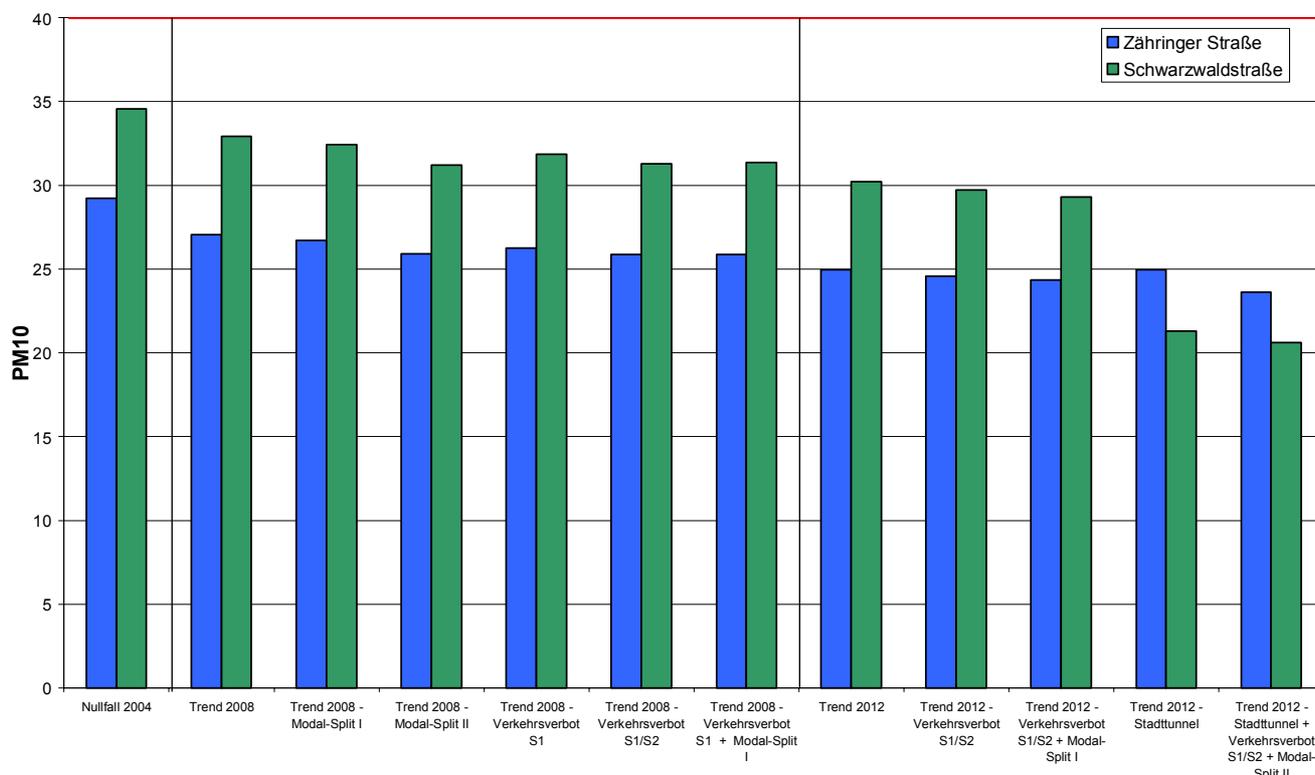


Abbildung 7-4: Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf die PM10-Konzentrationen (in µg/m³) an den beiden Messstellen.

Dies kann unter anderem an den Niederschlagsverhältnissen im Freiburger Raum liegen, die aufgrund der Stauwirkung des Hochschwarzwaldes überdurchschnittlich sind. Untersuchungen von Anke et.al. (2005) zeigen eine deutliche Abhängigkeit der PM10-Konzentration von Niederschlagsereignissen (vgl. Abbildung 7-5). Zum einen wird durch Niederschlag ein Großteil des Schwebstaubs aus der Luft ausgewaschen (primärer Effekt), zum anderen wird bei größeren Niederschlagsmengen ein Teil des aufwirbelbaren Straßenstaubs von der Straße abgewaschen. Bei Niederschlag werden die geringsten PM10-Konzentrationen gemessen. In den Folgetagen nimmt die PM10-Konzentration sukzessive zu.

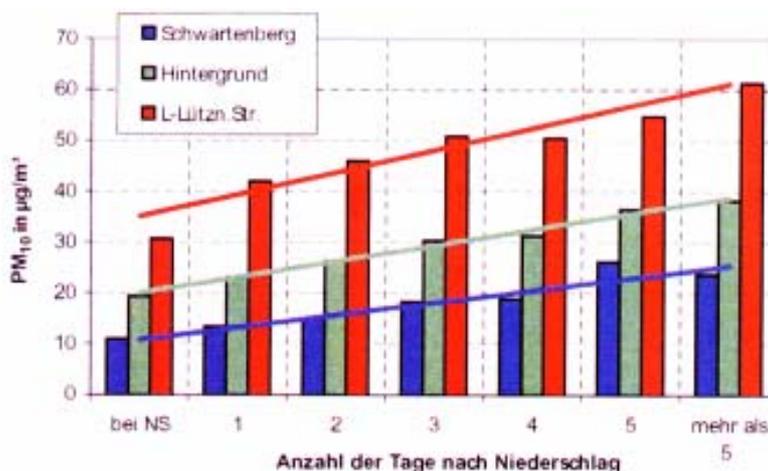


Abbildung 7-5: Abhängigkeit der PM10-Konzentration vom Zeitraum ohne Niederschlag

8 Zusammenfassung

Das Regierungspräsidium Freiburg bereitet derzeit den Luftreinhalte-/Aktionsplan für die Stadt Freiburg vor, da Messungen in der Schwarzwaldstraße und in der Zähringer Straße Überschreitungen der Grenzwerte der 22. BImSchV bei den Überschreitungshäufigkeiten PM10 und den Jahresmittelwerten von NO₂ ergeben haben. Zur Verbesserung der Immissionssituation sind verschiedene Maßnahmen angedacht. Die immissionsseitigen Auswirkungen dieser Maßnahmen wurden mittels Modellrechnungen quantifiziert.

Untersucht wurden die Komponenten NO₂ und PM10.

Bei PM10 wird an beiden Messstellen der Grenzwert des Jahresmittelwerts von 40 µg/m³ sicher eingehalten. Bei durchschnittlichem Witterungsverlauf ist in den kommenden Jahren in der Zähringer Straße mit Einhaltung der Überschreitungshäufigkeiten zu rechnen. In der Schwarzwaldstraße ist die Einhaltung nicht sichergestellt und hängt deshalb stark vom jeweiligen Witterungsverlauf ab.

Bei den Stickoxiden ist an beiden Messstellen weiterhin mit Überschreitungen des Grenzwerts durch die Jahresmittelwerte NO₂ zu rechnen. Die bislang angedachten Maßnahmen reichen weder in der Zähringer noch in der Schwarzwaldstraße aus, um die Grenzwerte sicher einzuhalten.

Freiburg, den 7. November 2006



Dr. Rainer Röckle
Dipl.-Meteorologe



Claus-Jürgen Richter
Dipl.-Meteorologe

9 Literaturverzeichnis

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

Anke, K.; Sähn, M; Klingner, M.; Wolf, U., 2005: Intensität und Nachwirkung meteorologischer Einflussfaktoren auf die PM10-Konzentration. In Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 65, Januar/Februar 2005. S. 41-48.

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

Groß, G., Röckle, R., Janssen, U., 1994: ASMUS – Ein numerisches Modell zur Berechnung der Strömung und der Schadstoffverteilung im Bereich einzelner Gebäude. – I: Das Strömungsfeld. Meteorologische Zeitschrift 3. S. 267-274

iMA, Juli 2005: Ermittlung der Schadstoffemissionen und -immissionen für verschiedene Szenarien im Rahmen der Maßnahmenplanung zum Luftreinhalteplan Freiburg. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg.

MLuS 02, geänderte Fassung 2005: Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung. Hrsg.: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.

LfU, 2005: Immissionsmessungen Baden-Württemberg 2004 (http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/luft/entwicklung_der_luftqualitaet/luftqualitaet_2000/start_index.html)

LFU, 2005: Emissionsmindernde Maßnahmen im Straßenverkehr – Übersicht und Absätze zur Bewertung –. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, März 2005

LUBW, 2006: Spotmessungen 2005. Dokumentation Nr. 61-04/2006

Regierungspräsidium Freiburg: Luftreinhalteplan für die Stadt Freiburg. März 2006

Richter, C.-J., Röckle, R., 1995: Methode zur Ermittlung von Kfz-bedingten Schadstoffkonzentrationen in bebauten Gebieten. UVP-Report 5, S. 233-235

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., 1996: Ausbreitung aus niedrigen Quellen - Einsatz dreidimensionaler Strömungs- und Diffusionsmodelle. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 6, 203 - 208

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., 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., Bössinger, R.; Lohmeyer, A.; Ruhnke, R.; Röth, E.-P.: NO-NO₂-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

Röckle, R., Richter, C.-J., Höfl, H.-C., Steinicke, W., Streifender, M., Matzarakis, A., 2003: Klimaanalyse Stadt Freiburg. November 2003. Im Auftrag der Stadt Freiburg

Schneider, C.; Niederau, A.; Schulz, T., Brandt, A: Ermittlung der durch Aufwirbelung und Abrieb im Straßenverkehr verursachten

Umweltbundesamt, INFRAS, 2004: HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 2.1. Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMEG: Jahresberichte 2001 bis 2003

UMEG, 2003: Messungen an der Bundesautobahn A5 bei Kenzingen und Holzhausen. Bericht-Nr. 21/04-2003.

UMEG, 2005: Spotmessungen 2004 – Darstellung der Messergebnisse. Bericht-Nr. 21-03/2005 vom Mai 2005.

VDI 3782 Blatt 1: Gaußsches Ausbreitungsmodell für Luftreinhaltepläne. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, Dezember 2001

VDI 3782 Blatt 7: Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen.. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b, November 2003

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

10 Anhang A

10.1 Simulationsverfahren

Um die Auswirkungen der Planung zu quantifizieren, wurden in 2 unterschiedlichen räumlichen Skalen Ausbreitungsrechnungen durchgeführt. Die großräumige Skala, die große Teile des Freiburger Stadtgebiets umfasst, wurde mit dem Gaußmodell GAMOS berechnet. Einzelne Gebäude werden von diesem Modell nicht aufgelöst. Die mikroskalige Modellierung mit Auflösung der Gebäude wurde mit dem 3dimensionalen Strömungs- und Ausbreitungsmodell ABC durchgeführt.

10.1.1 Kurzbeschreibung GAMOS

Für die Berechnungen wurde das Modell GAMOS (Röckle et. al., 1996) verwendet, das auf dem Gauß'schen Diffusionsansatz beruht und größtenteils dem Modell zur Berechnung von Luftreinhalteplänen (VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) entspricht. Das Modell berechnet folgende jahresbezogenen Kenngrößen: Jahresmittelwerte bei Benzol, PM10 und NO₂. Es erlaubt die Abschätzung der Überschreitungshäufigkeiten bei NO₂ und PM10.

Eingangsgrößen für das Ausbreitungsmodell sind u.a.

- die Kfz-bedingten Emissionen, abgeleitet vom Verkehrsaufkommen (DTV, Lkw-Anteil), den Fahrmodi und den jeweiligen spezifischen Emissionen aus dem Handbuch HBEFA 2.1
- eine Kategorisierung der Straßenrandbebauung
- die Schadstoff-Hintergrundbelastung
- die meteorologischen Verhältnisse

Um die unterschiedlichen topografischen Verhältnisse zu berücksichtigen, wurden die Ausbreitungsrechnungen jeweils mit 4 unterschiedlichen Ausbreitungsklassenstatistiken durchgeführt. Die Einzelergebnisse wurden mittels einer abstandsgewichteten ($1/r^2$) Funktion auf die Fläche übertragen.

10.1.2 Kurzbeschreibung ABC

Immissionsberechnungen mit dem mikroskaligen 3dimensionalen 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.

ABC basiert auf einem diagnostischen Strömungsmodell mit „intelligenter“ Initialisierung. Dadurch wird sichergestellt, dass die charakteristischen Effekte im Nahbereich von Hindernissen (Nachlaufbereiche, Frontwirbelzonen usw.) realistisch wiedergegeben werden. Das Modell erfüllt die Anforderungen der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 10. Als Ergebnis erhält man dreidimensionale Felder der Strömungskomponenten und der Diffusionskoeffizienten. Durch Nachschalten eines Eulerschen Ausbreitungsmoduls lassen sich 3-dimensionale Konzentrationsfelder berechnen.

Das Modellsystem wurde anhand einer Vielzahl von Freiland- und Windkanalmessungen getestet und im Rahmen eines Forschungsprojektes weiter verbessert (Schädler, G. et.al., 1996, 1999,

Röckle, R. et.al., 1998). Mit dem Modell können die in der 22. BImSchV aufgeführten statistischen Kenngrößen ermittelt werden.

In das Modell gehen unter anderem folgende Parameter ein:

- die meteorologischen Randbedingungen
- die Kfz-Emissionen, abgeleitet vom Verkehrsaufkommen (DTV, Lkw-Anteil), den Fahrmodi und den jeweiligen spezifischen Emissionen aus dem Handbuch HBEFA 2.1
- der Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet
- Gebäude des Bebauungsplangebietes und der näheren Umgebung

Da die Emissionen der betrachteten Stoffe nicht linear voneinander abhängig sind, werden für jeden Stoff jeweils 36 Ausbreitungsrechnungen für jede 10°-Windrichtungsklasse durchgeführt. Aus den berechneten Konzentrationen in jeder Gitterzelle werden mit Hilfe der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und einem angesetzten Tagesgang der Emissionen Häufigkeitsverteilungen der Schadstoffimmissionen bestimmt. Die Summation über diese Verteilung ergibt den Jahresmittelwert der Zelle. Die Überschreitungshäufigkeiten werden mittels statistischer Beziehungen abgeschätzt.

Für die mikroskaligen Berechnungen wurde für das Beurteilungsgebiet Zähringer Straße die Ausbreitungsklassenstatistik des Wetteramts Freiburg angesetzt. Für das Gebiet Schwarzwaldstraße wurde die Messstelle Littenweiler verwendet.

10.2 Umwandlung NO \Rightarrow NO₂

Die Stickstoffoxide (NO_x = Summe aus NO + NO₂) werden zu ca. 90% in Form von NO emittiert. NO₂ entsteht erst während der Ausbreitung. Im Nahbereich von Straßen wird die NO \Rightarrow NO₂-Umwandlung hauptsächlich vom Ozon-Angebot bestimmt. An sonnenscheinreichen Tagen steht Ozon, das sich unter anderem aus den Kfz-bedingten Schadstoffen NO_x und Kohlenwasserstoffen bildet, als Reaktionspartner für das NO zur Verfügung und führt zu einer erhöhten Umwandlung von NO in NO₂. Dies hat zum einen zur Folge, dass die NO₂-Konzentrationen an Straßen im Sommer 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 \Rightarrow NO₂-Umwandlung ist für Einzelfallbetrachtungen mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, da die Eingangsparameter, wie Hintergrundbelastung der Kohlenwasserstoffe, Ozon usw. in der Regel nicht vorliegen.

Für die Kenngröße „Jahresmittelwert“ wurde durch Auswertung langjähriger Messreihen jedoch eine statistisch gesicherte Beziehung zwischen NO_x und NO₂ gefunden (Gleichung (1)).

$$C_{\text{NO}_2} = C_{\text{NO}_x} (103 / (C_{\text{NO}_x} + 130) + 0,005) \quad (1)$$

Es zeigt sich, dass hohe NO_x-Konzentrationen meist mit kleinen NO₂/NO_x-Verhältnissen verbunden sind. Dieser Ansatz (siehe Romberg et. al., 1996) stellt die Grundlage für die hier berechneten NO₂-Verhältnisse dar. Die Kurve beruht auf der Auswertung von Messwerten aus ganz Deutschland. In Abbildung A 1 ist die verwendete Beziehung in Form einer Kurve dargestellt.

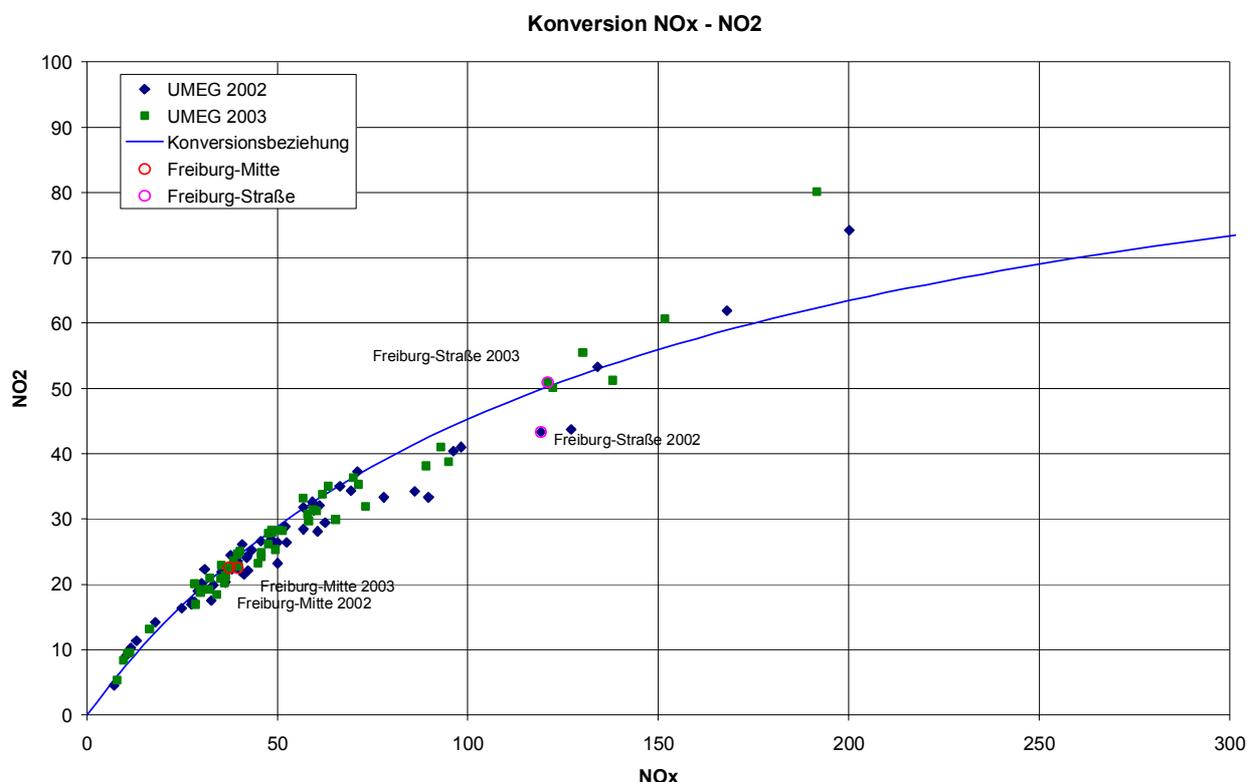


Abbildung A 1: Beziehung NO_x zu NO_2 und Messwerte der UMEG aus Baden-Württemberg in den Jahren 2002 und 2003.

Zusätzlich sind Messwerte der UMEG aus den Jahren 2002 und 2003 eingetragen. Demnach wandelt sich bei hohen NO_x -Konzentrationen ein geringerer Teil des NO in NO_2 um, da in der Regel nur ein begrenzter Ozonvorrat vorhanden ist. Bei geringen NO-Konzentrationen kann dagegen relativ viel NO aufoxidiert werden. Dieses Verhalten begründet auch, warum trotz starker Reduktionen der NO-Freisetzung auf der NO_2 -Seite nur geringe Effekte zu beobachten sind.

10.3 Simulationsgebiete

10.3.1 Großräumig

Abbildung A 2 zeigt das bei den großräumigen Simulationen verwendete Simulationsgebiet. Die berücksichtigten Straßenzüge, die mittlere tägliche Verkehrsaufkommen über 5.000 Fahrzeuge haben, sind farbig angelegt.

Die räumliche Auflösung beträgt bei den Simulationen 20 m. Unterschiedliche Randbebauungen wurden in 4 Klassen berücksichtigt (keine Randbebauung, lockere Randbebauung, dichte Randbebauung, Straßenschlucht). Das Modell geht von ebenen Verhältnissen aus, d.h. Besonderheiten wie Hoch- oder Tieflagen wurden nicht berücksichtigt. Dies macht sich z.B. an den Tunnelportalen bemerkbar, die sich in Tieflage befinden und zum Teil mit Kassettendecken versehen sind. Hier führt diese Vorgehensweise zu Überschätzungen der Schadstoffkonzentrationen im Nahbereich.

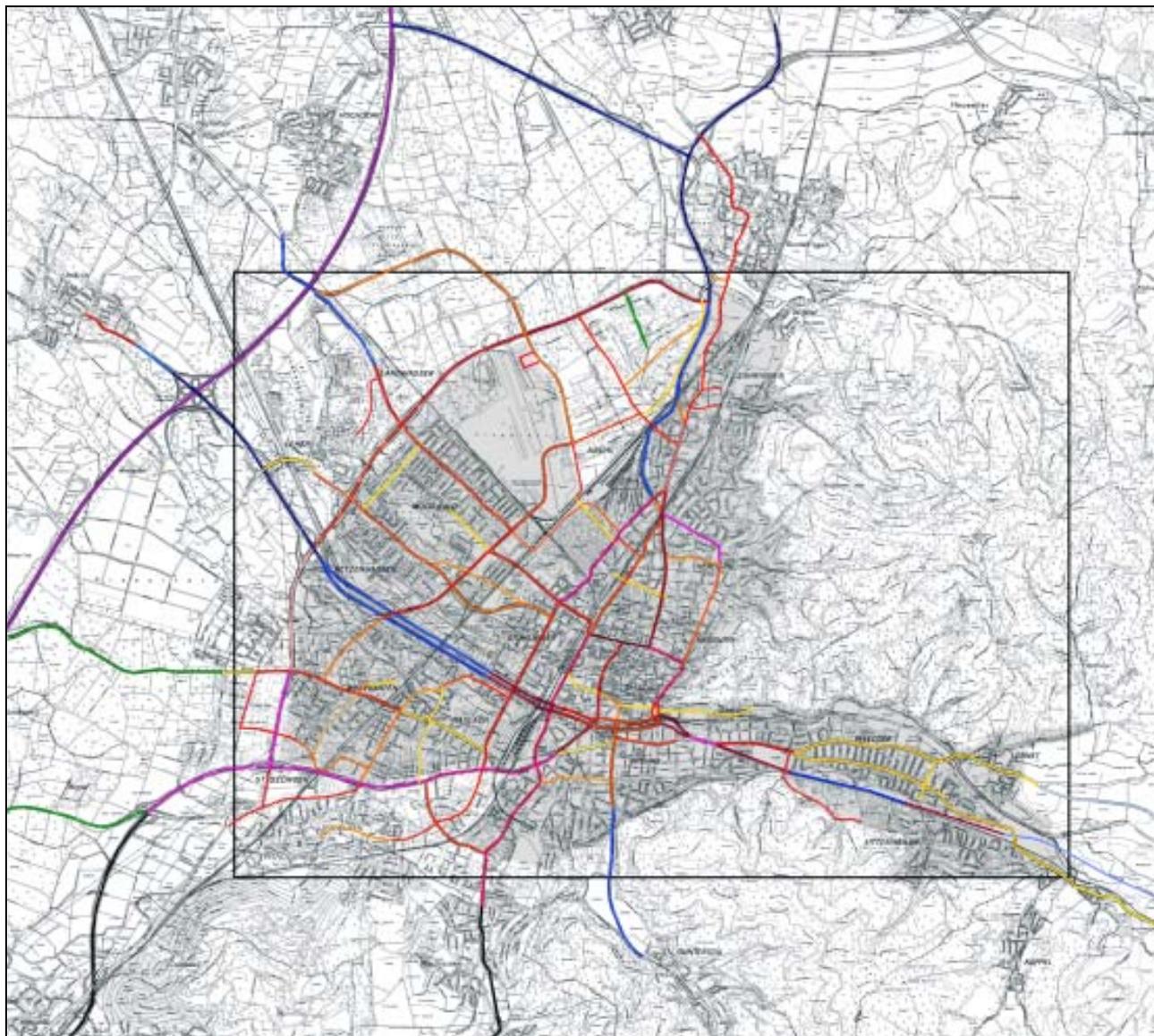


Abbildung A 2: Großräumiges Simulationsgebiet (schwarzes Rechteck) und die berücksichtigten Straßenzüge (farbig angelegt) sowie der Bereich der Umweltzone (grau hinterlegt).

10.3.2 Kleinräumig

Die Größe der mikroskaligen Simulationsgebiete ist in Abbildung A 3 (Zähringer Straße) und Abbildung A 4 (Schwarzwaldstraße) dargestellt. In beiden Gebieten wird bis zu einer Höhe von 65 m über Grund gerechnet. Um eine hinreichende Detailtreue zu gewährleisten, erfolgen die Berechnungen für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 3 m · 3 m. Vertikal wird in Bodennähe (0 bis 30 m) mit Schichtdicken von 3 m gerechnet. Darüber nehmen die Schichtdicken sukzessive zu.

Das Simulationsgebiet Zähringer Straße ist um 8° gegen die Nordrichtung gedreht.

Tabelle 10-1: Größe der Simulationsgebiete

Straße	Ausdehnung Ost-West	Ausdehnung Nord-Süd
Zähringer Straße	500 m	1100 m
Schwarzwaldstraße	1000 m	500 m

In den entsprechenden Ergebnisabbildungen ist jeweils nur ein Ausschnitt dargestellt. Beim Gebiet „Zähringer Straße“ beträgt der Ausschnitt 430 m · 880 m, für das Gebiet „Schwarzwaldstraße“ beträgt der Ausschnitt 910 m · 460 m.

Nachfolgend sind die beiden Simulationsgebiete mit den Fahrspuren dargestellt. Ferner sind die 2004 und 2010 angesetzten Verkehrsaufkommen und Lkw-Anteile aufgelistet.



Abbildung A 3: Simulationsgebiet Zähringer Straße

Tabelle 10-2: DTV und LKW-Anteile Zähringer Straße:

Polygon-Nr.	DTV (KFZ/d)		LKW-Anteil (%)
	2004	2010	
1	6 400	6 800	3,7
2	3 350	2 300	3,7
3	13 000	13 200	5,7
4	19 550	20 000	5
5	21 250	23 200	5
6	11 000	11 800	5,7
7	14 350	14 100	5
8	15 200	15 600	5
9	1 700	2 900	1
10	3 100	3 000	1
11	15 200	15 600	5
12	9 250	10 500	5
13	6 000	6 850	5
14	6 000	6 850	5
15	3 700	2 400	5
16	9 800	9 300	5
17	11 746	12 103	5
18	12 674	13 059	5
19	9 171	9 450	5
20	9 171	9 450	5
21	2 062	2 123	2
22	2 062	2 123	2
23	13 200	12 900	5
24	24 750	24 500	5
25	3 700	2 400	5
26	9 500	10 500	5
27	24 750	24 500	5
28	2 062	2 123	2
29	2 062	2 123	2
30	8 046	9 703	5
31	2 874	3 759	5

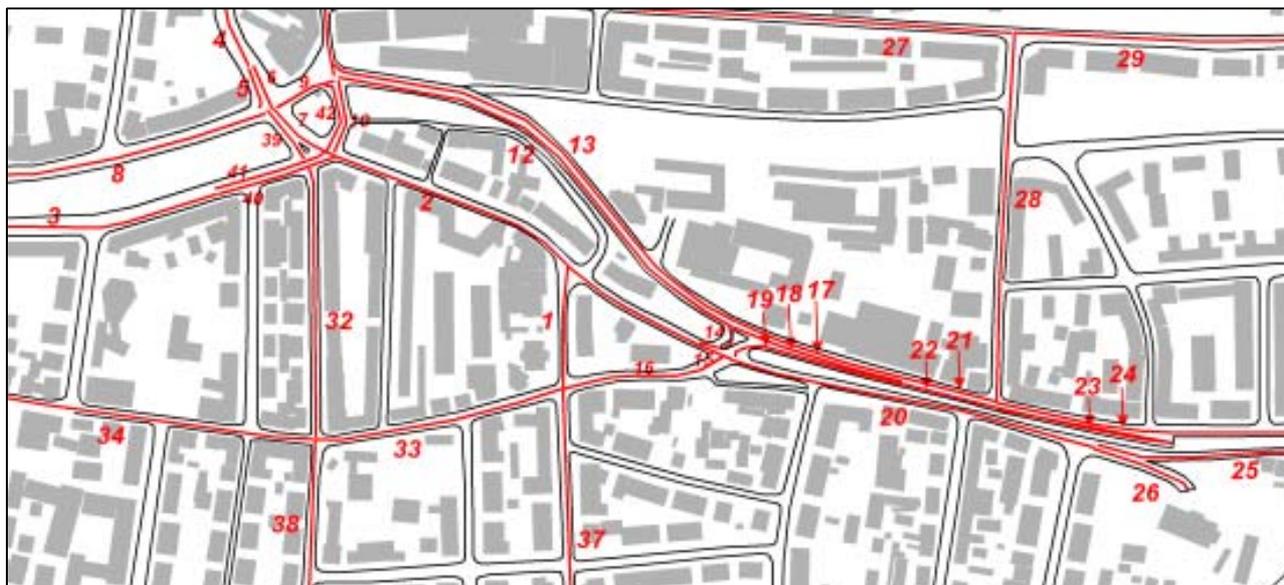


Abbildung A 4: Simulationsgebiet Schwarzwaldstraße

Tabelle 10-3: DTV und LKW-Anteile Schwarzwaldstraße:

Polygon-Nr.	DTV (KFZ/d)			LKW-Anteil (%)
	2004	2010	2010 mit Tunnel	
1	2 244	2 313	2 313	2
2	15 000	15 923	8 834	8
3	15 000	15 923	13 210	8,2
4	15 456	15 925	15 925	4
5	3 864	3 981	3 981	4
6	11 592	11 944	11 944	4
7	10 046	10 351	7 642	4
8	18 500	19 638	11518	8,2
9	18 500	19 638	10788	8,2
10	1 500	1 546	1 596	8,2
11	14 013	14 439	14 439	4
12	17 817	18 913	10 389	12
13	8 909	9 457	5 195	6
14	500	515	294	2
15	25 307	26 864	14 903	9
16	5 387	5 551	5 551	4,5
17	8 000	8 492	4 239	5
18	16 000	16 984	8 542	12,5
19	4 244	4 505	2 266	5
20	26 562	28 196	14 181	10
21	9 415	9 994	5 026	6
22	18 829	19 987	10 052	9,5

23	16 600	17 621	4 519	14
24	10 250	10 561	10 561	6
25	10 400	10 716	10 716	6
26	16 200	17 197	3 420	14
27	6 500	6 697	6 697	6
28	3 050	3 143	3 143	7
29	5 150	5 306	5 306	5
30	4 946	5 096	5 096	2
31	4 946	5 096	5 096	2
32	3 000	3 091	3 091	2
33	12 242	12 614	12 614	4
34	13 292	13 696	13 696	2
35	1 300	1 339	1 339	2
36	2 500	2 576	2 576	2
37	2 805	2 891	2 891	2
38	2 800	2 885	2 885	2
39	1 546	1 593	1 176	8,2
40	9 650	10 244	6 605	8,2
41	9 650	10 244	6 605	5
42	1 500	1 546	1 596	2
43	2 400	2 473	2 473	2

11 Anhang B

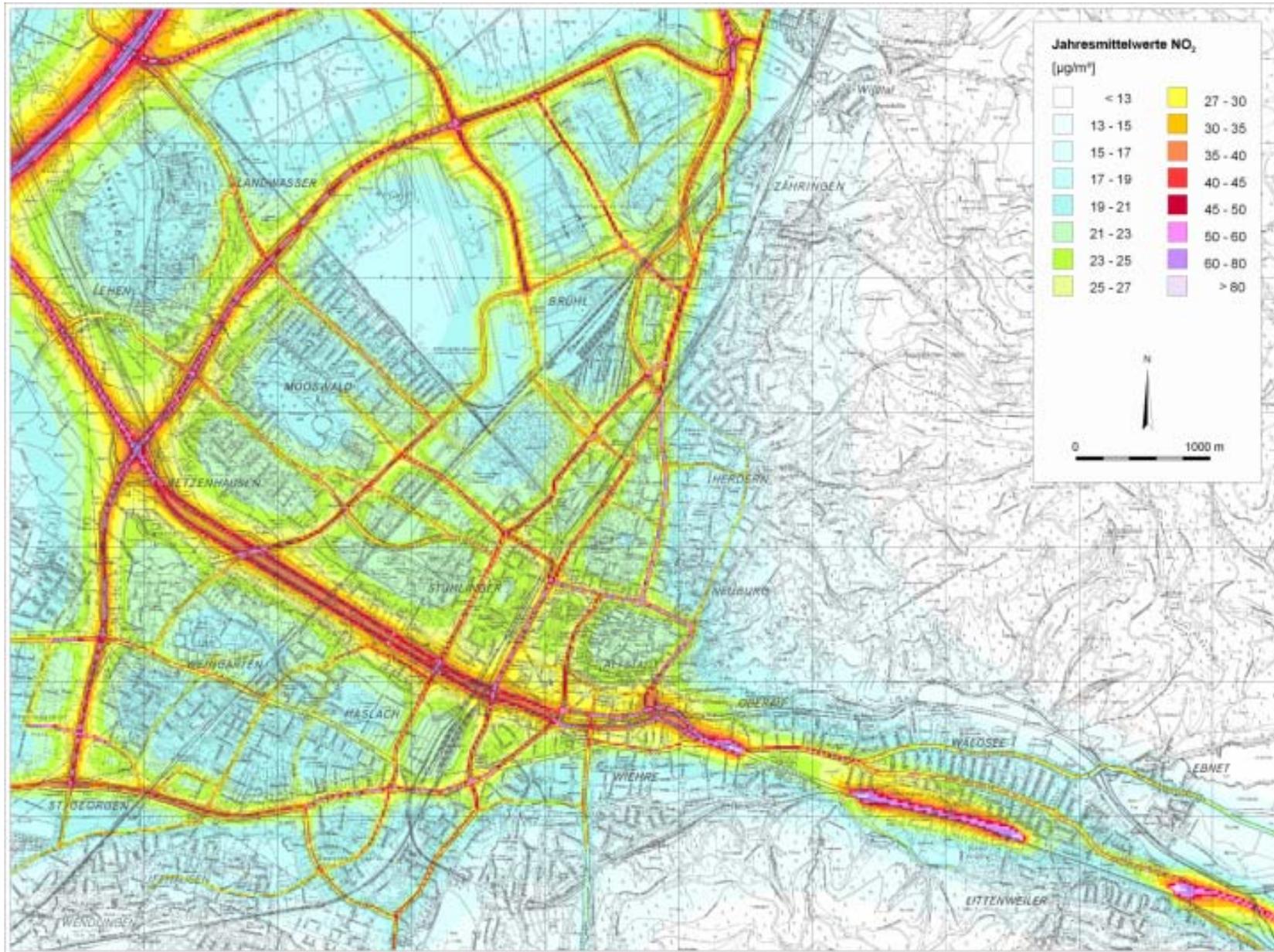


Abbildung B 1: Jahresmittelwerte NO₂, Nullfall 2004

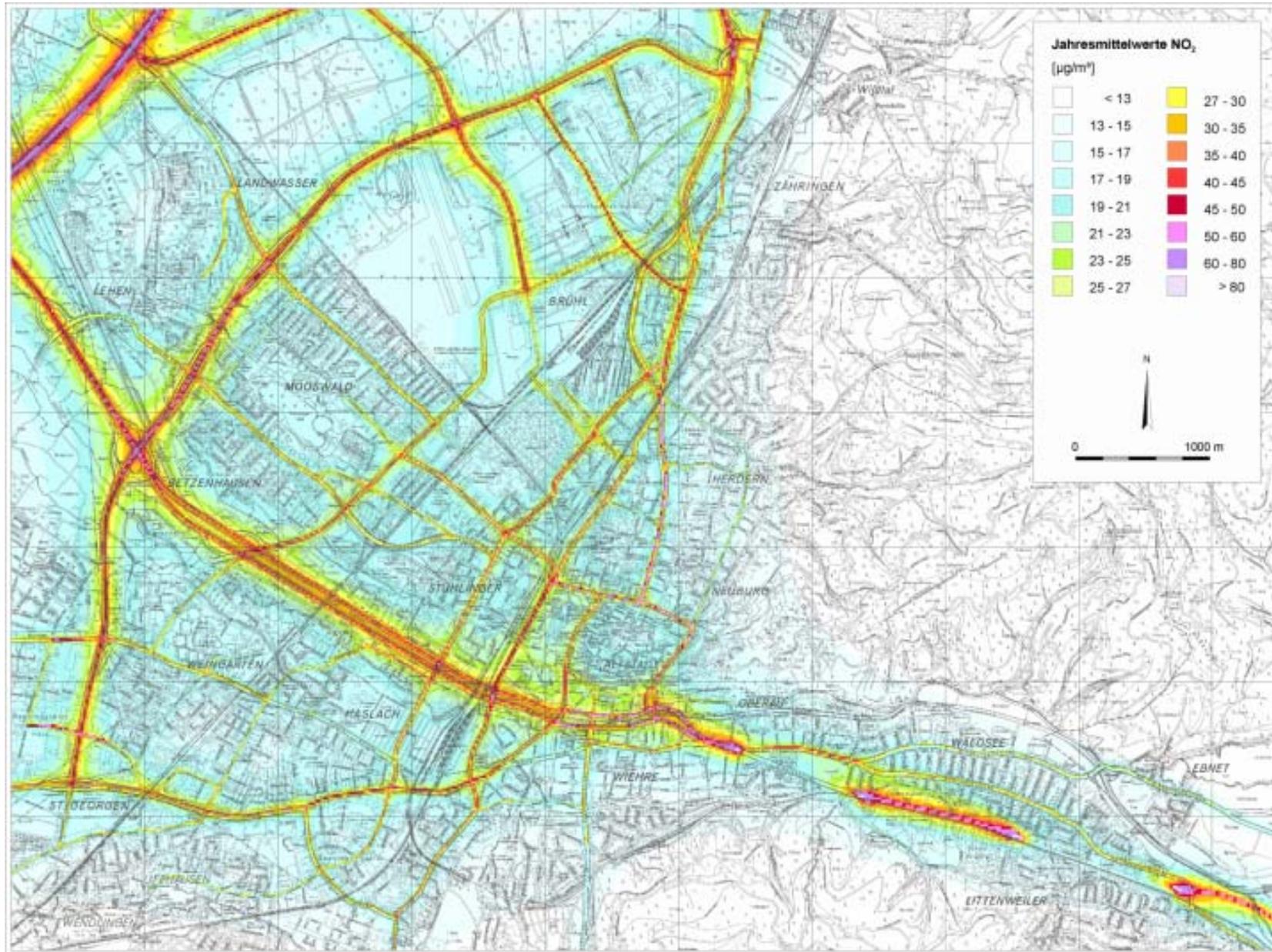


Abbildung B 2: Jahresmittelwerte NO₂, Trend 2008

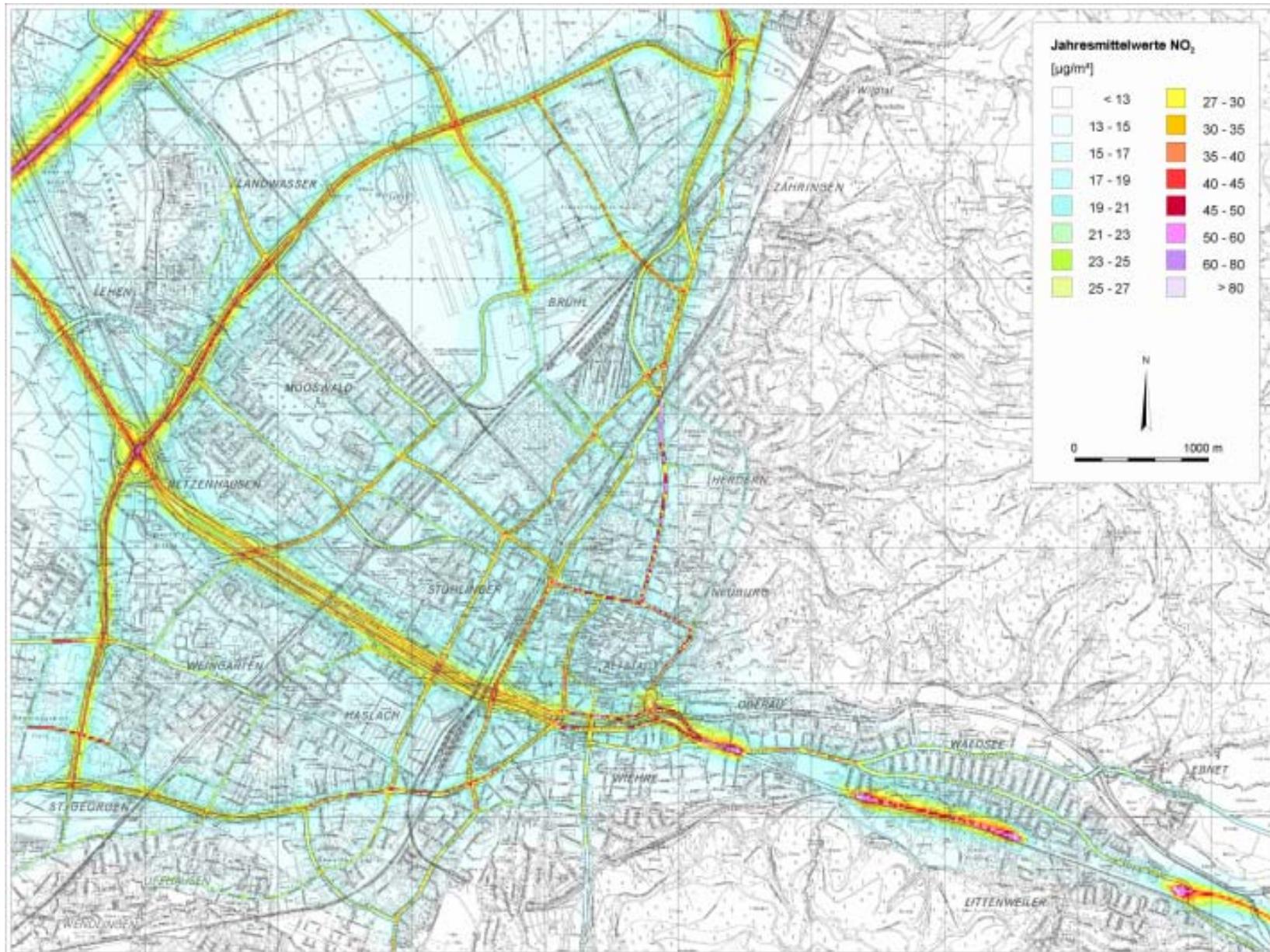


Abbildung B 3: Jahresmittelwerte NO₂, Trend 2012

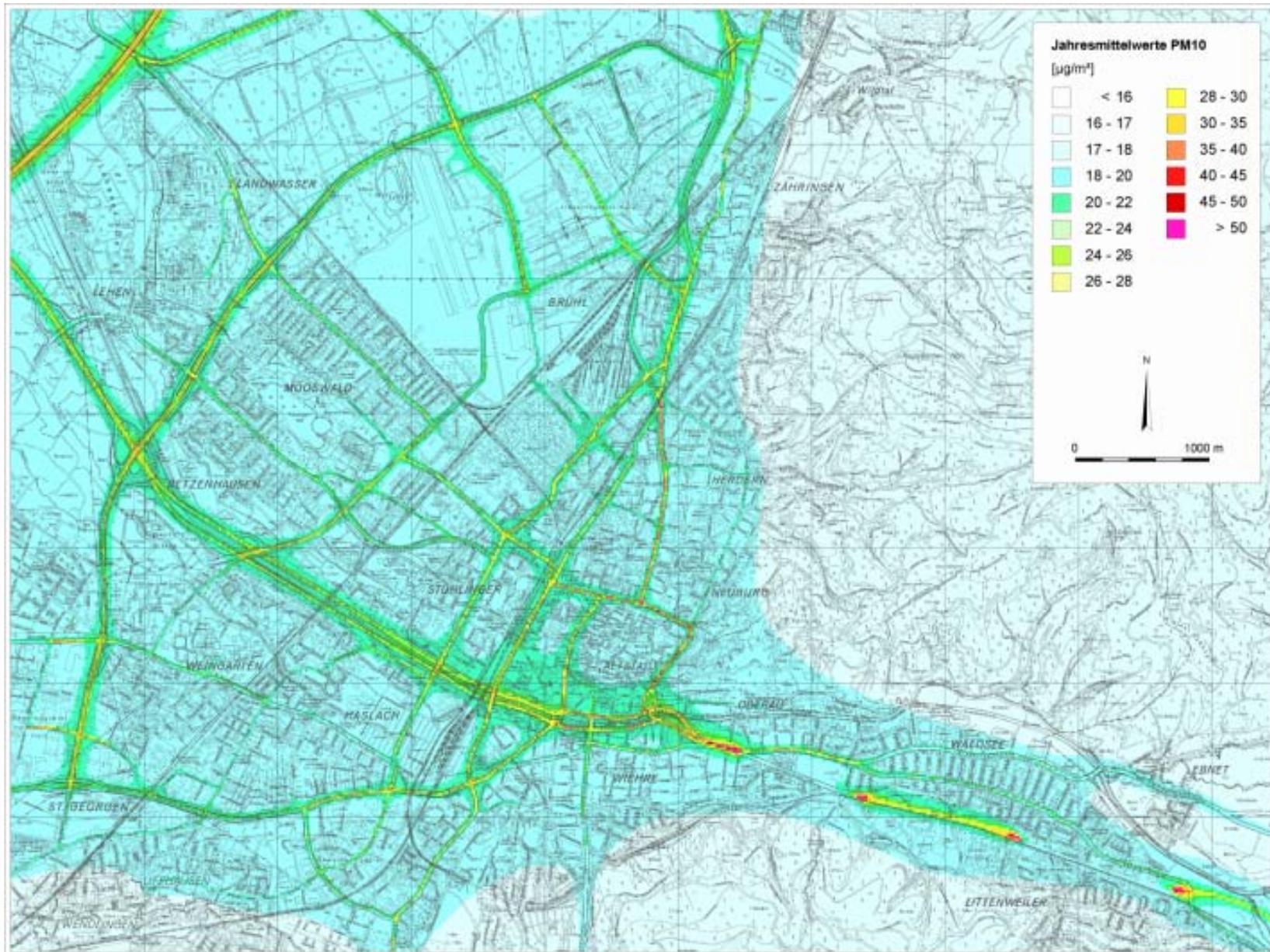


Abbildung B 4: Jahresmittelwerte PM10, Nullfall 2004

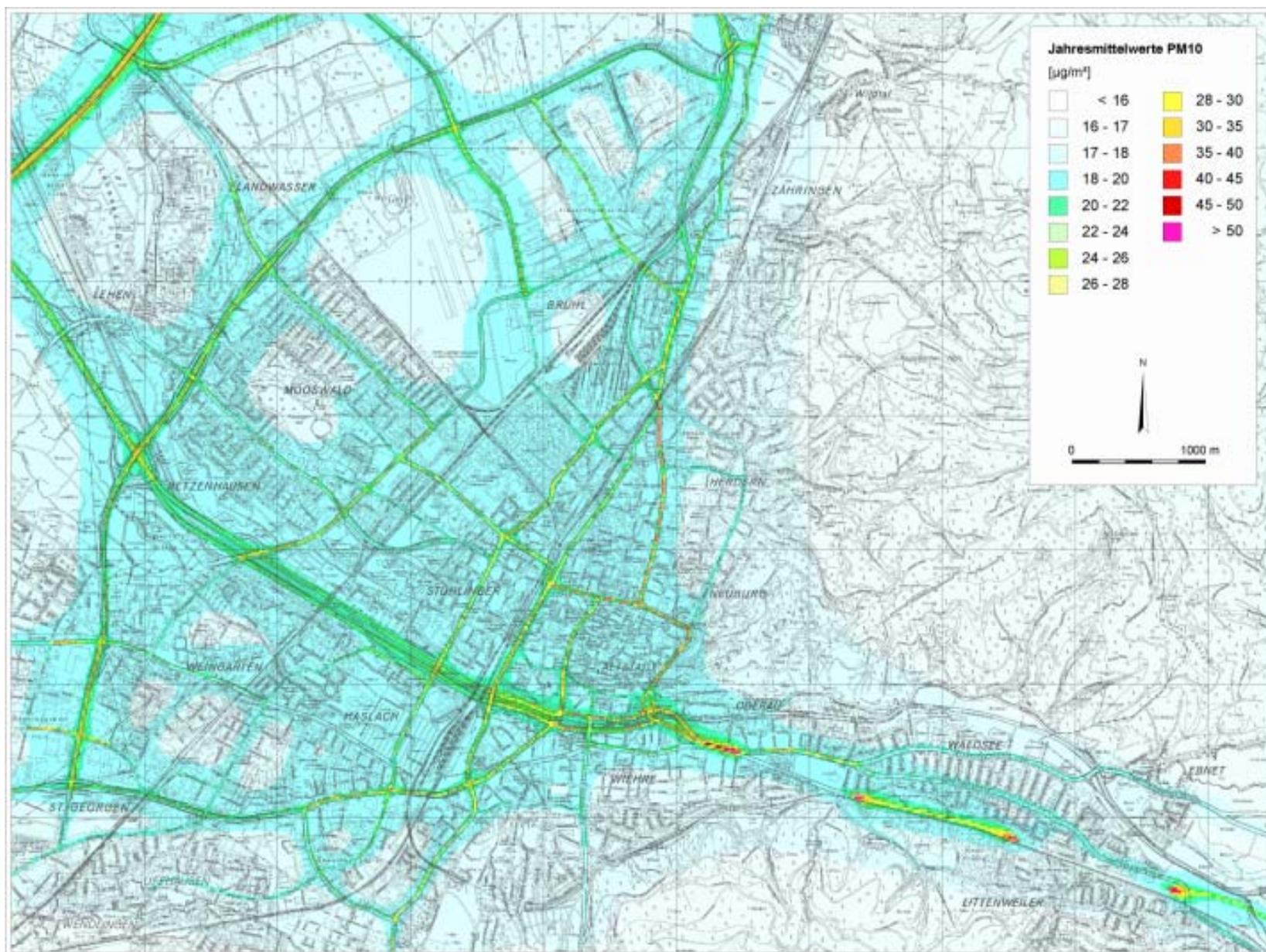


Abbildung B 5: Jahresmittelwerte PM10, Trend 2008

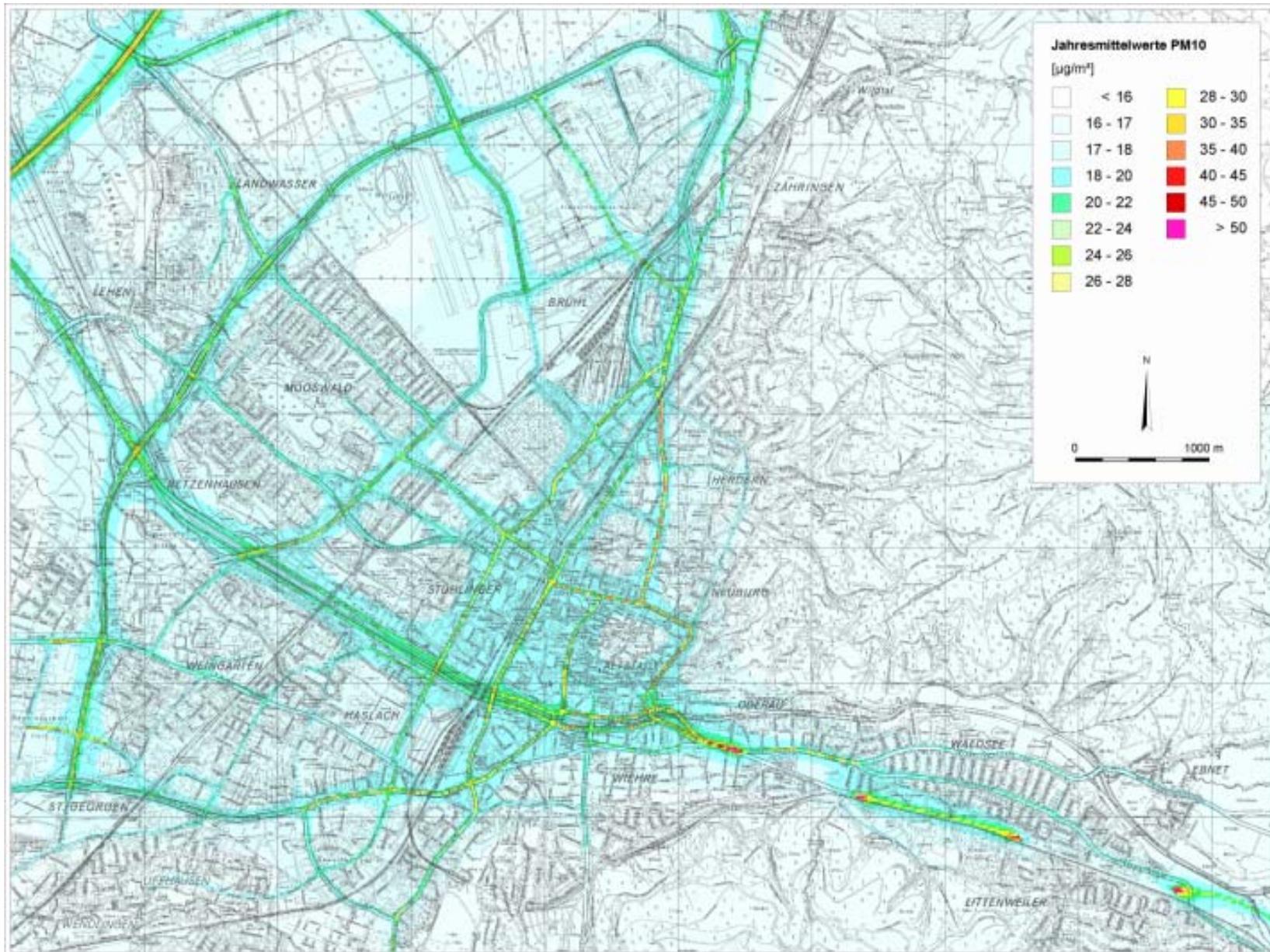


Abbildung B 6: Jahresmittelwerte PM10, Trend 2012