

Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen GbR

iMA

Richter & Röckle

Immissionen
Meteorologie
Akustik

Messstelle § 26
BImSchG

Auftraggeber:

**Stadt Braunschweig
Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz
Petritorwall 6
38118 Braunschweig**

Stadtklimaanalyse Braunschweig Kapitel 5 und 6 Lufthygiene

Bearbeiter:

Dipl.-Phys. Dr. Wolfgang Steinicke

Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen

Dipl.-Geogr. Ulrike Schwab

Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen

Dipl.-Met. Dr. Rainer Röckle

iMA Richter & Röckle

Dipl.-Met. Claus-Jürgen Richter

iMA Richter & Röckle
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG

Dipl.-Met. Dr. Jost Nielinger

iMA Richter & Röckle
Anerkannter Beratender Meteorologe DMG

Freiburg, 21. Mai 2012



Inhaltsverzeichnis

5	LUFTHYGIENE	49
5.1	BEWERTUNGSGRUNDLAGEN	Akustik.....49
5.1.1	<i>Betrachtete Luftschadstoffe</i>	<i>49</i>
5.2	BEURTEILUNGSWERTE FÜR LUFTSCHADSTOFFE	50
5.3	ERMITTLUNG DER SCHADSTOFFEMISSIONEN UND -IMMISSIONEN	51
5.3.1	<i>Verkehrsbedingte Emissionen.....</i>	<i>51</i>
5.3.2	<i>Verkehrsaufkommen</i>	<i>52</i>
5.3.3	<i>Prognosejahr</i>	<i>53</i>
5.3.4	<i>Fahrzeugflotte</i>	<i>54</i>
5.3.5	<i>Straßentypus</i>	<i>54</i>
5.3.6	<i>Verkehrsfluss</i>	<i>54</i>
5.3.7	<i>Kaltstartanteil.....</i>	<i>54</i>
5.3.8	<i>Klimaanlagen</i>	<i>54</i>
5.3.9	<i>Aufwirbelung und Abrieb bei den Stäuben.....</i>	<i>55</i>
5.3.10	<i>Simulationsgebiet.....</i>	<i>55</i>
5.3.11	<i>Abschätzung der Hintergrundbelastung.....</i>	<i>55</i>
5.4	SIMULATIONSVERFAHREN.....	57
5.5	UMWANDLUNG NO \Rightarrow NO ₂	58
5.6	LUFTREINHALTEPLANUNG BRAUNSCHWEIG.....	58
5.7	ERGEBNISSE DER AUSBREITUNGSRECHNUNGEN	58
6	GRUNDLAGEN ZUR THERMISCHEN UND LUFTHYGIENISCHEN BEWERTUNG VON FLÄCHEN.....	62
6.1	WANN LIEGT EINE BELASTUNG VOR	62
6.1.1	<i>Kältebelastung.....</i>	<i>63</i>
6.1.2	<i>Wärmebelastung</i>	<i>64</i>
6.1.3	<i>Lufthygienische Belastung.....</i>	<i>66</i>

5 Lufthygiene

Abbildung 5-1 zeigt das Hauptverkehrswegenetz in Braunschweig. Im Norden verläuft die Autobahn A2, im Süden durch die A39 und im Westen verbindet die A391 die beiden anderen Autobahnen.

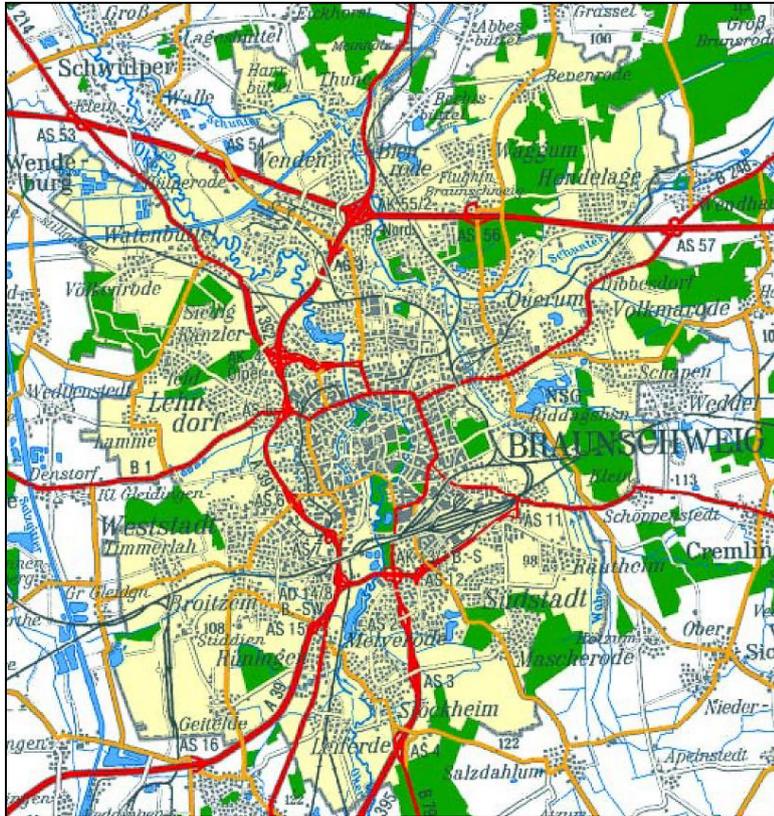


Abbildung 5-1: Hauptverkehrswegenetz in Braunschweig

5.1 Bewertungsgrundlagen

5.1.1 Betrachtete Luftschadstoffe

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden folgende Schadstoffe betrachtet:

- NO_2
- PM_{10} (inhalierbarer Feinstaub)
- $\text{PM}_{2,5}$ (lungengängiger Feinstaub)

NO_2 gilt als typische verkehrsbedingte Luftverunreinigung, bei der sowohl die mittlere Belastung als auch Spitzenwerte als toxisch relevant angesehen werden können.

PM_{10} ist als Staub definiert, der einen Abscheider passiert, der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $10\ \mu\text{m}$ zu 50 % zurückhält. Es handelt sich somit um Feinstaub. Der aerodynamische Teilchendurchmesser der unmittelbar vom Motor emittierten Partikeln liegt unter $1\ \mu\text{m}$. Abhängig von der Höhe der Belastung kann die Einwirkung von Feinstaub zu einer Irritation der Bronchialschleimhaut führen. Chronische Staubbelastungen können zu chronischer Bronchitis sowie zu Lungenfunktionsveränderungen führen. Verkehrsbedingter Schwebstaub enthält lufthygienisch relevante Stoffe, z.B. Rußpartikel, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle. Eingatemeter Staub, im Wesentlichen Schwebstaub, enthält sowohl nicht-lungengängige Anteile (Grobstaub)

als auch lungengängige Anteile (Feinstaub).

PM_{2,5} sind – analog zu PM₁₀ – Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 2,5 µm einen Abscheidegrad von 50% aufweist. PM_{2,5} ist somit eine Teilmenge von PM₁₀. Diese Korngrößen sind alveolengängig, d.h. die Partikel können bis in die Lungenbläschen vordringen.

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 Grenz- und Richtwerte. Sie werden daher nicht weiter betrachtet. Für Ruß sind keine Immissionswerte festgelegt. Die Beurteilung geschieht über PM₁₀-Staub, der die Rußfraktion beinhaltet.

5.2 Beurteilungswerte für Luftschadstoffe

Zur Beurteilung der Schadstoffkonzentrationen werden die Immissionswerte der 39. BImSchV herangezogen. Die 39. BImSchV dient der Umsetzung der Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht. Ziel ist es, schädliche Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu vermeiden oder zu verringern. Diese Verordnung ersetzt die 22. und die 33. BImSchV. Sie ist am 6. August 2010 in Kraft getreten.

In der 39. BImSchV werden folgende Immissionskenngrößen begrenzt:

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

Tabelle 5-1 enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte mit entsprechender Definition und Literaturangabe.

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der wichtigsten Immissionsbeurteilungswerte.

Schadstoff	Literaturquelle	Konzentrationswert	Statistische Definition	Bedeutung / Verbindlichkeit / Zweck
NO₂	39. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	39. BImSchV, EU-Richtlinie	200 µg/m ³	Schwelle, die von maximal 18 Stundenmittelwerten pro Jahr überschritten werden darf (entspricht 99,8%-Wert)	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
Staub PM₁₀	39. BImSchV, EU-Richtlinie	40 µg/m ³	Jahresmittelwert	Grenzwert zum Schutz vor Gesundheitsgefahren
	39. 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
Feinstaub PM_{2,5}	39. BImSchV	25 µg/m ³	Jahresmittelwert	Zielwert bis 2015, danach Grenzwert

5.3 Ermittlung der Schadstoffemissionen und -immissionen

Die Immissionssituation im Untersuchungsgebiet wird durch die Vorbelastung durch die allgemeine Hintergrundbelastung, den Hausbrand und gewerbliche/industrielle Emissionen und den lokalen Kfz-Verkehr bestimmt.

Abbildung 5-2 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.

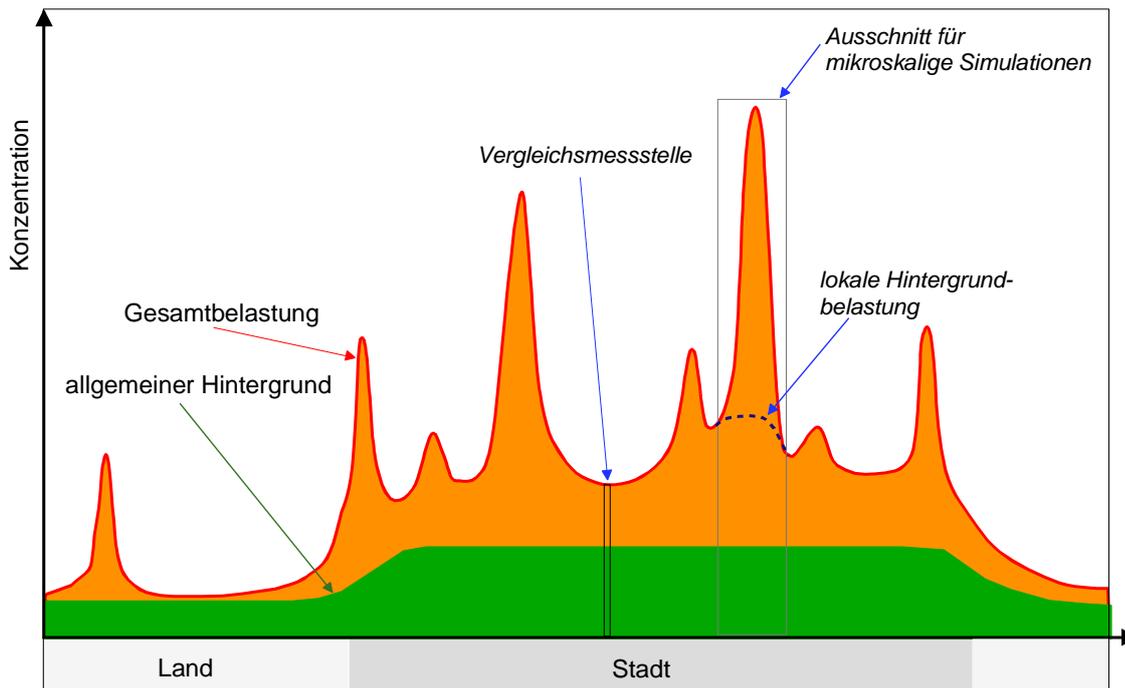


Abbildung 5-2: Konzentrationsverteilung auf einem Schnitt durch ländliches und städtisches Gebiet mit den entsprechenden Spitzen beim Anschnitt von viel befahrenen Straßenzügen.

Die Zusatzbelastung durch den Kfz-Verkehr wird zunächst mit dem Gaußmodell GAMOS für das Bezugsjahr 2015 aus dem Straßennetz von Braunschweig berechnet. Eine Kurzbeschreibung des Modells GAMOS ist im Anhang aufgeführt.

Die Vorbelastung im Umland und im städtischen Bereich kann aus Messungen abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 5.3.11).

5.3.1 Verkehrsbedingte Emissionen

Im Februar 2010 ist ein neues Handbuch für Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs (HBEFA Version 3.1) erschienen. Die Emissionsmodellierung erfolgt auf der Basis dieser Daten. Gegenüber dem vorangegangenen Handbuch 2.1 sind im Wesentlichen folgende Punkte zu beachten:

- Die Flottenzusammensetzung der Pkw in Deutschland enthält im neuen HBEFA einen höheren Anteil an Dieselfahrzeugen als im HBEFA 2.1 und tendenziell höhere Anteile an Fahrzeugen mit geringeren Emissionsstandards.



- Die geänderte Flottenzusammensetzung im HBEFA 3.1 gegenüber HBEFA 2.1 führt bei NO_x und Staub zu einer signifikanten Erhöhung der mittleren Emissionsfaktoren der Pkw (in manchen Fällen 1/3 der gesamten Änderung). Dagegen sind bei schweren Nutzfahrzeugen 20% bis 40% geringere NO_x- und Partikelemissionen ausgewiesen.
- Durch die vorgezogene Einführung von Partikelfiltern gehen die PM-Emissionen schon nach 2005 deutlicher zurück, so dass der mittlere Emissionsfaktor der Pkw im neuen HBEFA ab 2010 niedriger ist als im HBEFA 2.1.
- Ab 2015 sind die mittleren Emissionsfaktoren durch die Einführung von Euro VI-Fahrzeugen im neuen HBEFA niedriger als im früheren Handbuch, in dem hierfür keine Messungen hinterlegt waren.

Die Datenbank beinhaltet spezifische Emissionsfaktoren für unterschiedliche Fahrzeugkategorien (Pkw, INF, sNf, Busse und Krafträder) und unterschiedliche Bezugsjahre (1990 bis 2030). Die Emissionen wurden unter nachfolgend beschriebenen Ansätzen ermittelt. Eine kurze Zusammenstellung der Eingangsdaten findet sich im Anhang.

5.3.2 Verkehrsaufkommen

Die Verkehrszahlen sowie die Geodaten der Straßenabschnitte wurden vom Fachbereich Stadtplanung und Umweltschutz zur Verfügung gestellt.

Die Koordinaten der Straßenpolygone liegen im 3er Streifen vor. Es sind 2616 Abschnitte digitalisiert und mit den Verkehrszahlen hinterlegt.

Abbildung 5-3 zeigt das berücksichtigte Verkehrswegenetz. Die Polygone sind entsprechend dem DTV eingefärbt.

In die Emissionsmodellierung fließen folgende Werte des Datensatzes ein:

- DTV – mittleres tägliches Verkehrsaufkommen
- sNf – Anteil schwerer Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht > 3,5 t)
- INF – Anteil leichter Nutzfahrzeuge (zul. Gesamtgewicht zwischen 2,8 t und 3,5 t)
- Bus – Anteil der Reisebusse / Linienbusse
- Krad – Anteil der Krafträder
- nFs – Anzahl der Fahrspuren
- Kat – Straßenkategorie gemäß HBEFA 3.1 (aus Lage, Tempobegrenzung, Straßentyp)
- LN – Längsneigung der Straße

Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge (2,8 t bis 3,5 t) wurde für alle Fahrwege wie angegeben mit 5% angesetzt.

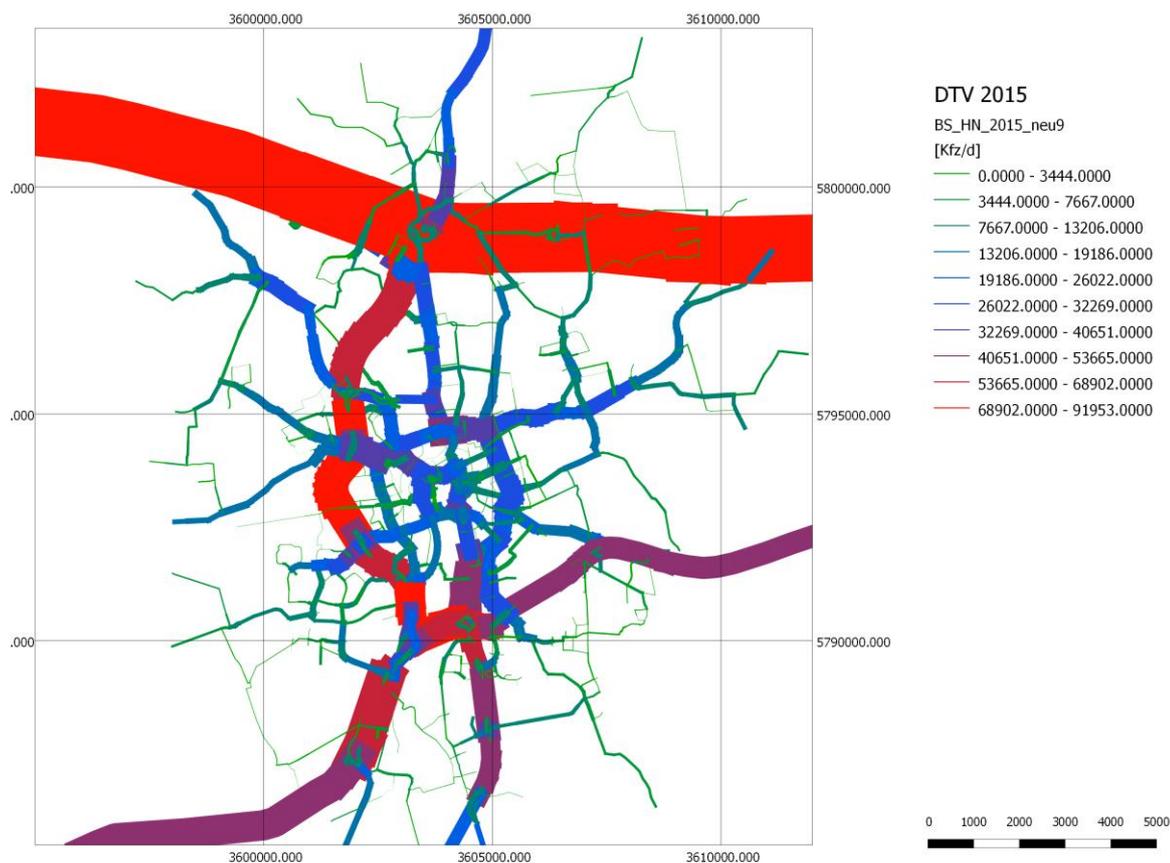


Abbildung 5-3: Prognose DTV für 2015

Da die Emissionsfaktoren für Reise- und Linienbusse im HBEFA 3.1 aufgeschlüsselt sind und sich hinsichtlich der spezifischen Emissionen unterscheiden, in den vorliegenden Verkehrsdaten nur allgemein Busse aufgeführt sind, wurde der Anteil an Linien- und Reisebussen wie in Tabelle 5-2 vorgenommen.

Tabelle 5-2: Standardwerte der Anteile an Reise- und Linienbussen an Bussen

Verkehrssituation	Aufteilung Busse	
	Reisebusse	Linienbusse
Innerorts	10%	90%
Außerorts ohne Autobahnen	80%	20%
Autobahnen	100%	0%

5.3.3 Prognosejahr

Im Handbuch für Emissionsfaktoren sind für unterschiedliche Prognosejahre zwischen 1990 und 2030 Emissionsfaktoren hinterlegt. Der sukzessive Ersatz von Altfahrzeugen durch emissionsärmere Neufahrzeuge führt zu einem Rückgang der spezifischen Emissionen.

Für die Emissionsberechnungen wurde 2015 als Prognosejahr angesetzt.

5.3.4 Fahrzeugflotte

In die Emissionen geht die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und deren Fahrleistung ein. Die Zusammensetzung der real im Untersuchungsgebiet fahrenden diesel- und benzinbetriebenen Fahrzeuge, aufgeschlüsselt nach Euro-Normen und Fahrleistungen liegt nicht vor. Deshalb wurde die Verteilung gemäß bundesdeutschem Schnitt angesetzt.

5.3.5 Straßentypus

Der Straßentypus wird aus den vorgelegten Daten nach den im Handbuch aufgeführten Mustern aufgestellt.

5.3.6 Verkehrsfluss

Im Handbuch (HBEFA 3.1) sind 4 Verkehrsqualitäten hinterlegt. Diese können wie folgt charakterisiert werden:

a) freier, flüssiger Verkehr

Frei und stetig fließender Verkehr; konstante, eher hohe Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbandbreiten: über 90 km/h auf Autobahnen, 45-60 km/h auf Straßen mit Tempolimit von 50 km/h.

b) dichter Verkehr

Flüssiger Verkehrsfluss bei starkem Verkehrsvolumen, vergleichsweise konstante Geschwindigkeit, Geschwindigkeitsbandbreiten: 70-90 km/h auf Autobahnen, 30-45 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

c) gesättigter Verkehr

Unstetiger Verkehrsfluss mit starken Geschwindigkeitsschwankungen bei gesättigtem / gebundenem Verkehrsfluss, erzwungene Zwischenstopps möglich, Geschwindigkeitsbandbreiten: 30-70 km/h auf Autobahnen, 15-30 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

d) Stop+Go

Stop+Go, starke Stauerscheinungen bis Verkehrszusammenbruch, Geschwindigkeitsschwankungen bei allgemein niedriger Geschwindigkeit. Geschwindigkeitsbandbreiten: 5-30 km/h auf Autobahnen, 5-15 km/h auf Straßen mit Tempolimit 50 km/h.

Die Verkehrsqualität ändert sich im Lauf eines Tages abhängig vom stündlichen Verkehrsaufkommen und der Kapazität einer Straße. Angesetzt werden Tagesgänge des Verkehrsaufkommens gemäß HBS (2001, Fassung 2009) für Straßen im Kernstadtbereich (Hauptverkehrsstraßen) und Kernstadt-rand (Nebenstraßen).

5.3.7 Kaltstartanteil

Kalte Motoren emittieren erheblich mehr Luftschadstoffe als betriebswarme Motoren. Die Kaltstartanteile hängen vom Straßentypus ab. Die Zuordnung der Kaltstartanteile erfolgt in Anlehnung an die VDI 3782 Blatt 7.

5.3.8 Klimaanlage

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

5.3.9 Aufwirbelung und Abrieb bei den Stäuben

Die Staubemissionen bestehen nur zum Teil aus den Motoremissionen. Ein Großteil der Feinstaubemissionen entsteht durch Aufwirbelung und Abrieb (Reifenabrieb, Straßenabrieb, Bremsabrieb). An diesen Emissionen sind alle Fahrzeuge – nicht nur dieselgetriebene – beteiligt. Aufwirbelung und Abrieb hängen vom Fahrmodus ab. Je größer die Störungen im Verkehrsablauf, also je häufiger Brems- und Beschleunigungsvorgänge auftreten, desto größer sind die spezifischen Emissionen. Die spezifischen Emissionen für die Aufwirbelung und den Abrieb werden entsprechend Untersuchungen von Schneider et al. (Oktober 2006) für PM_{10} angesetzt.

Für $PM_{2,5}$ erfolgt die Berechnung nach den im EMEP/EEA-Handbuch für Emissionsfaktoren (2007) veröffentlichten Faktoren.

5.3.10 Simulationsgebiet

Das Simulationsgebiet weist eine Größe von 13 km · 17 km auf

Die Berechnungen erfolgen für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 10 m · 10 m und einer Bezugshöhe von 1,5 m über Grund.

In den städtischen Bereichen wird pauschal von einer beidseitigen Randbebauung mit einer mittleren Höhe von 5 m ausgegangen.

5.3.11 Abschätzung der Hintergrundbelastung

Die Vorgehensweise erfordert eine Differenzierung in eine „allgemeine Hintergrundbelastung“ (Ferntransport) und die „lokale Hintergrundbelastung“ (Gewerbe/Industrie, Hausbrand) im Bereich des Untersuchungsgebietes.

$PM_{2,5}$ wurde bislang an keiner der beiden Stationen gemessen.

Immissionsseitig liegt das Verhältnis zwischen $PM_{2,5}$ und PM_{10} im Bereich zwischen 0,6 und 0,8. In der vorliegenden Studie wurde für die Abschätzung der Vorbelastung von einem Wert von 0,75 ausgegangen.

Aus den Immissionsverhältnissen (vgl. Kapitel 3.4.4) der vorstädtischen Station 2010 kann die Hintergrundbelastung für das Untersuchungsgebiet für NO_2 mit $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, für PM_{10} mit $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für $PM_{2,5}$ mit $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angesetzt werden. Für den Prognosehorizont 2015 ist tendenziell mit etwas geringeren Hintergrundbelastungen zu rechnen, konservativ werden jedoch diese Werte angenommen.

Tabelle 5-3: Angesetzte Hintergrundbelastung 2015.

	2015
NO_2	$16 \mu\text{g}/\text{m}^3$
PM_{10}	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
$PM_{2,5}$	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Die städtische Vorbelastung wurde als Punkte-Shape im 500m · 500m-Raster zur Verfügung gestellt. Sie enthält berechnete Zusatzbelastungen für PM_{10} und NO_X mit Bezugsjahr 2008. Die Berechnungen berücksichtigten das Nebenstraßennetz (auf der Basis der Emissionen des HBEFA 2.1), Industrie und Hausbrand.

In Abbildung 5-4 ist die städtische Hintergrundbelastung als Punkteplot dargestellt. In den städtischen

Bereichen liegt die Zusatzbelastung bei 2 bis 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vereinzelt auch bis 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Im industriell geprägten nördlichen Bereich werden auch bis 8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgewiesen. Da die Originaldaten im Gauß-Krüger 3er-Streifen vorlagen, ergibt sich eine leicht nach Osten abfallende Anordnung der Punkte.

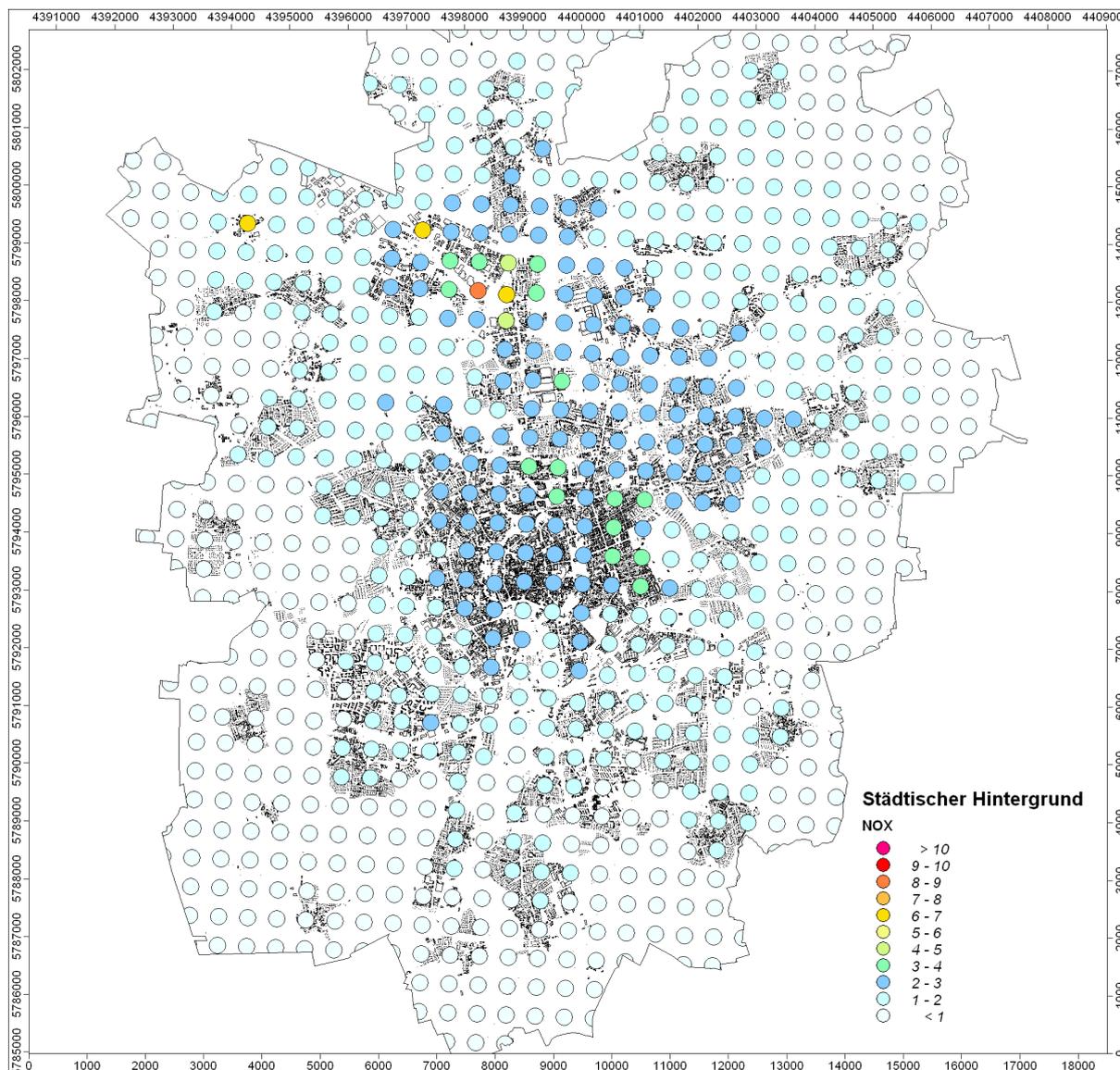


Abbildung 5-4: Städtische Hintergrundbelastung NO_x , Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Abbildung 5-5 zeigt die PM_{10} -Zusatzbelastung. Im städtischen Bereich liegt der Beitrag bei 0,3 bis 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In industriell geprägten Bereichen werden auch bis zu 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ausgewiesen.

Für die Überlagerung wurden die Punktwerte auf das verwendete kartesische Gitter interpoliert. Der Beitrag für $\text{PM}_{2,5}$ wurde mit 75% des PM_{10} -Wertes angenommen. Bei NO_x wurde davon ausgegangen, das 60% als NO_2 vorliegen.

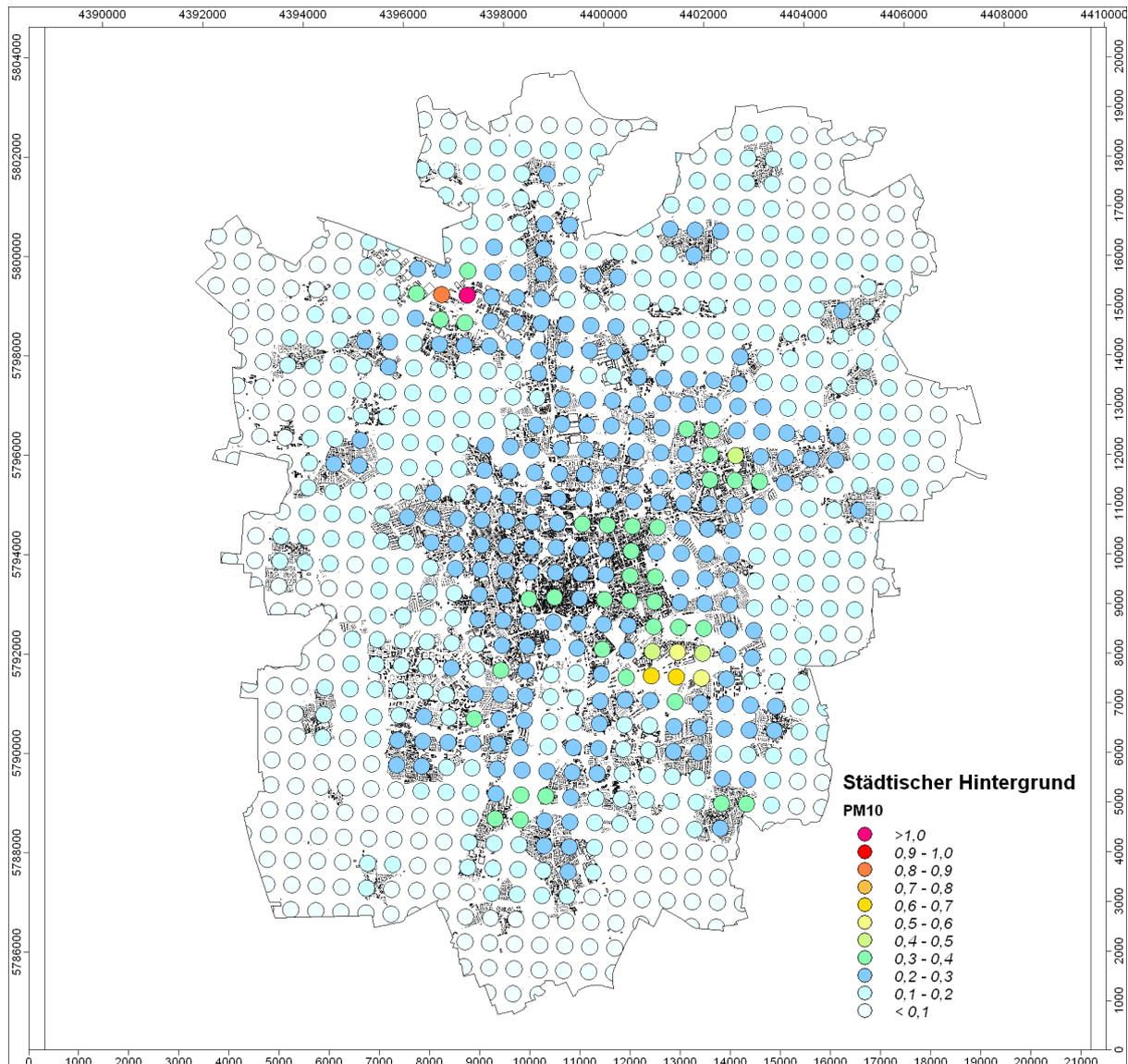


Abbildung 5-5: Städtische Hintergrundbelastung PM_{10} , Werte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.4 Simulationsverfahren

Die Immissionen im Stadtgebiet und der angrenzenden Umgebung werden anhand eines Screenings ermittelt. Hierzu wird das Gauß'sche Vielquellenmodell GAMOS V5.20 (auf der Basis des Gaußmodells der VDI-Richtlinie 3782, Blatt 1) eingesetzt.

Eingangsdaten für das Modell sind:

- die Kenngrößen der Verkehrsbelastung (Verkehrsaufkommen, Nutzfahrzeuganteile, Fahrmodi, Bezugsjahr); daraus errechnen sich die Emissionen für das Bezugsjahr 2015. Hierfür wurde das Handbuch für Emissionsfaktoren HBEFA 3.1 (2010) und die Ansätze zur Berücksichtigung der Aufwirbelung und des Abriebs von PM_{10} (Schneider et al., 2006) und von $PM_{2,5}$ (EMEP, 2009) herangezogen.

- b) die meteorologischen Randbedingungen
- c) die Hintergrundbelastung.

Die Eingangsdaten der 50 am höchsten belasteten Straßen sind im Anhang in Eingangsdaten und spezifische Emissionen sind in Tabelle 12-1 aufgeführt. Die Eingangsdaten aller berücksichtigten Straßen können auf Datenträger zur Verfügung gestellt werden.

Die Lage der Quellen kann Abbildung 5-3 entnommen werden.

5.5 Umwandlung $NO \Rightarrow NO_2$

Die Stickstoffoxide (NO_x) werden zu über 70 % in Form von NO emittiert. Der Großteil an NO_2 entsteht erst während der Ausbreitung. Im Nahbereich von Straßen wird die $NO \Rightarrow NO_2$ -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 NO_2 . Dies hat zum einen zur Folge, dass die NO_2 -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 $NO \Rightarrow NO_2$ -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 NO_2 gefunden. Es zeigt sich, dass hohe NO_x -Konzentrationen meist mit kleinen NO_2/NO_x -Verhältnissen verbunden sind. Dieser Ansatz (siehe Bächlin et al., 2006) stellt die Grundlage für die hier berechneten NO_2 -Verhältnisse dar.

5.6 Luftreinhalteplanung Braunschweig

Das Land Niedersachsen hat einen Luftreinhalte- und Aktionsplan für Braunschweig aufgestellt, der aufgrund einer Änderung der Zuständigkeit im Mai 2007 von der Stadt Braunschweig veröffentlicht wurde. Im Ergebnis zeigte dieser Plan, dass die darin festgelegten Maßnahmen eine erhebliche Reduktion der Luftschadstoffbelastung in Braunschweig bewirken, die Grenzwerte jedoch nicht im gesamten Stadtgebiet eingehalten werden können. Die Stadt Braunschweig hat daher eine Fortschreibung des Luftreinhalteplans erarbeitet und weitere Maßnahmen festgeschrieben.

Insbesondere der Ausbau der Fernwärme soll zur Entlastung der Innenstadt von Immissionen und zur Senkung der Hintergrundbelastung beitragen. Weitere Maßnahmen sind die energetische Sanierung der städtischen Liegenschaften, Reduzierungen des Durchgangsverkehrs, Stärkung des Radverkehrs, die Einführung eines umweltfreundlichen Verkehrsmanagements und die Erneuerung der Fahrzeugflotten der Stadt sowie des öffentlichen Personennahverkehrs.

5.7 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen

Die Ausbreitungsrechnungen liefern Jahresmittelwerte der Immissionen in 1,5 m über Grund. Sie geben einen Überblick über die großräumige Situation. Abbildung 5-6 und Abbildung 5-7 zeigen die Immissionssituation für NO_2 bzw. PM_{10} unter Berücksichtigung des neuen Handbuchs für Emissionsfaktoren und der in Kapitel 5.3.11 beschriebenen Hintergrundbelastung. (Die Hintergrundbelastung wurde noch einheitlich entsprechend der Werte der vorstädtischen Messstation angenommen. In der endgültigen



tigen Version werden in den städtischen Gebieten noch Zuschläge für die dort erhöhte Vorbelastung angenommen.)

Das Simulationsgebiet ist 12 km · 16 km groß. Die Berechnungen erfolgten für Rasterflächen mit einer Maschenweite von 10 m · 10 m.

Die höchsten Immissionen findet man im Verlauf der A2 und der A391. Hier sind die hohen Verkehrsbelastungen für die hohen Immissionen verantwortlich. Auch die städtischen Ringstraßen weisen erhöhte Immissionen auf. Hier sind neben den Verkehrsaufkommen auch die schlechteren Austauschbedingungen (häufig Straßenschluchten) verantwortlich. Mit zunehmendem Abstand von den Hauptverkehrsstraßen gehen die Immissionsbelastungen rasch zurück.

NO₂ stellt hinsichtlich der Bewertung die kritischere Komponente dar. Es fehlt in den Abbildungen jedoch noch die städtische Zusatzbelastung durch Gewerbe, Industrie und Hausbrand. Laut Luftreinhalteplan Braunschweig liegen die Beiträge bei NO₂ im Bereich von 10 µg/m³ und bei PM₁₀ bei 2 bis 3 µg/m³.

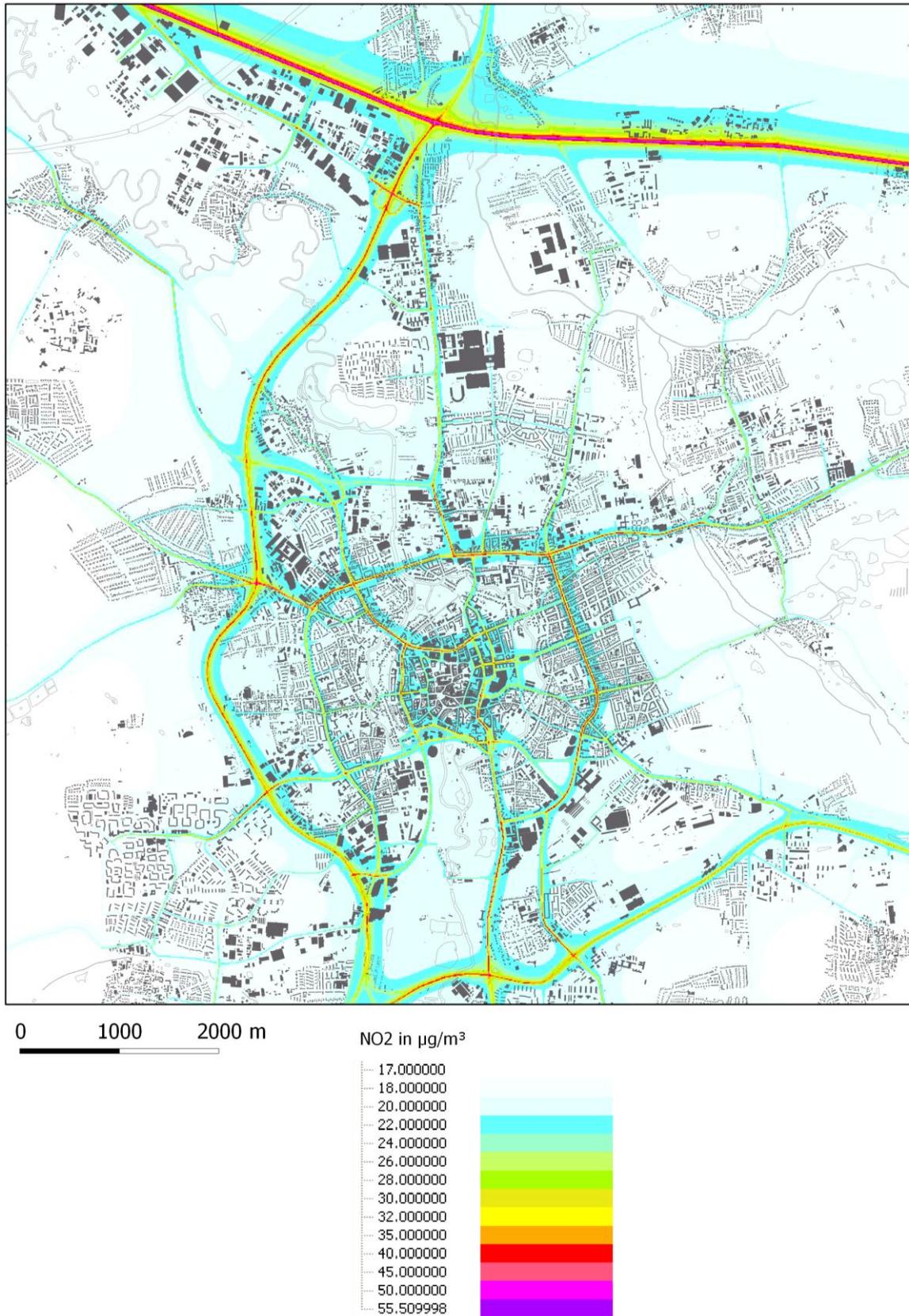


Abbildung 5-6: Jahresmittelwert der NO₂-Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über Grund (alt).

Jahresmittelwerte PM10



0 1000 2000 m

PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- 21.000000
- 22.000000
- 23.000000
- 24.000000
- 25.000000
- 26.000000
- 28.000000
- 30.000000
- 32.000000
- 35.000000
- 40.000000
- 45.000000

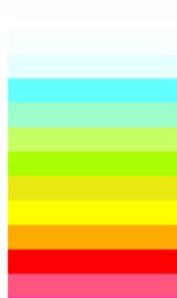


Abbildung 5-7: Jahresmittelwert der PM_{10} -Konzentration (Bezugsjahr 2015) in 1,5 m über Grund (alt).

6 Grundlagen zur thermischen und lufthygienischen Bewertung von Flächen

Aufgabe der Flächennutzungsplanung ist die behördenverbindliche Darstellung von Flächen für mögliche zukünftige Nutzungen. Wie können nun die hier zusammengestellten, recht vielschichtigen Ergebnisse im Bereich Klima und Lufthygiene bei dieser Planung berücksichtigt werden?

Die Verträglichkeit einer Flächenumnutzung ist auch an den Umweltqualitätszielen zu messen. Hierzu gehört u.a. der Schutz der menschlichen Gesundheit. Daraus ergeben sich für den Bereich Klima und Luft folgende Forderungen:

- Erhalt einer guten Luftqualität (Minimierung von Luftverunreinigungen)
- Erhalt für den menschlichen Organismus zuträglicher klimatischer Bedingungen (Minimierung von bioklimatischen Belastungen)
- Erhaltung und Schaffung einer hohen räumlichen Klimavielfalt (Erhöhung der Lebensqualität)

Um die Auswirkungen einer Flächenumnutzung zu bewerten, wird häufig die Methode der ökologischen Risikoanalyse angewandt. Bei dieser Analyse (Richter, C.-J. et al., 1998) sind drei aggregierte Einflussfaktoren zu betrachten, mit denen eine Beeinträchtigung dargestellt werden kann:

1. Intensität und Häufigkeit der Wirkung
2. Empfindlichkeit der betroffenen Schutzgüter gegenüber einer bestimmten Wirkung eines Vorhabens
3. Wert der Schutzgüter (Bedeutung, Funktionserfüllungsgrad u.a.)

Dies soll an einem Beispiel erläutert werden:

Wir weisen ein neues Baugebiet aus. Durch die Gebäude und weitere Versiegelungen sowie durch deren Nutzung (Quell- und Zielverkehr, Heizung, etc.) ändert sich das thermische Milieu im überplanten Gebiet selbst. Jedoch gibt es auch Auswirkungen auf die Umgebung. Die Durchlüftung wird reduziert, die thermische und lufthygienische Belastung nimmt zu.

Die *Intensität* dieser Maßnahme hängt dabei von stadtplanerisch beeinflussbaren Parametern wie Bebauungshöhe, Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad, Verkehrsaufkommen, Heizkonzepten usw. ab. Die Häufigkeit mit der Auswirkungen zu erwarten sind, hängt z.B. ab von der Zahl belastender Wetterlagen und/oder von der Häufigkeit von Windrichtung die Effekte in das betroffene Gebiet verfrachten.

Der *Wert* des Schutzgutes ist hoch, da es sich in der Regel bei den betroffenen Flächen um besiedelte Bereiche handelt.

Festzulegen ist jetzt noch die Empfindlichkeit der betroffenen Bereiche auf unerwünschte Auswirkungen. Bei besiedelten Gebieten hängt die *Empfindlichkeit* im Wesentlichen ab von

- der lufthygienischen und thermischen Vorbelastung des betroffenen Gebiets
- der Besiedlungsdichte, d.h. der Zahl der betroffenen Menschen.

Thermisch und lufthygienisch belastete städtische Gebiete mit hoher Einwohnerdichte sind also erheblich empfindlicher einzustufen als dünn besiedelte Vorstadtbereiche.

6.1 Wann liegt eine Belastung vor

Prinzipiell werden in der angewandten Stadtklimatologie thermische und lufthygienische Belastungen unterscheiden, so dass drei Belastungskategorien vorkommen:

- Kältebelastung
- Wärmebelastung
- Lufthygienische Belastung

Für die lufthygienische Belastung gibt es Bewertungsmaßstäbe, z.B. die in der 39. BImSchV festgelegten Immissionsgrenzwerte. Auch die thermische Belastung lässt sich anhand der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 bewerten.

Diese Bewertungsverfahren, insbesondere die bioklimatische Bewertung, berücksichtigen jedoch nicht den Raumbezug, den jegliche menschliche Aktivität hat. In den folgenden Tabellen werden typische Aktivitäten und deren Raum- und Zeitbezug aufgezeigt. Ein Merkmal ob eine Belastung erheblich ist, ist die Möglichkeit der Belastung auszuweichen. Weiterhin wird auf Maßnahmen eingegangen, die von Seiten der Stadtplanung möglich sind.

6.1.1 Kältebelastung

Betrachten wir zunächst die Kältebelastung, die normalerweise in Städten kein Problem darstellt, da Städte im Mittel wärmer sind als das Umland. Die Auswirkungen einer Kältebelastung auf unsere Tätigkeiten sind in Tabelle 6-1 aufgeführt.

Die meiste Zeit unseres Lebens verbringen wir in Innenräumen. Dies ist z.B. bei der Arbeit oder in der Schule der Fall. Auch die nächtliche Erholungsphase findet in überwiegend in Innenräumen statt. Außerhalb der Behausungen halten wir uns hauptsächlich in der Freizeit auf oder um Wege (von und zur Arbeit, um Besorgungen zu erledigen, usw.) zurückzulegen.

Tabelle 6-1: Kältebelastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussende Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Ja (Heizung)	Heizenergieeinsatz reduzieren	Bauweise Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Ja (Heizung)	–	–
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja (Kleidung, Innenräume)	(Klimavielfalt)	–
Wege (von und zur Arbeit, Besorgungen,...)	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Möglichkeiten in der Sonne zu gehen Zugigkeit vermeiden	Laubwerfende Bäume Hochhausbauten

Einer Kältebelastung kann man in der Regel gut ausweichen. Innenräume werden beheizt, um ein verträgliches Temperaturniveau zu gewährleisten. Beim Aufenthalt im Freien kann durch angepasste Kleidung ebenfalls einer starken Kältebelastung ausgewichen werden.

Da in unseren Breiten Kältebelastungen nicht selten sind, die Emissionen durch den Einsatz von Hei-

zungen möglichst gering sein sollen, ist darauf zu achten, dass die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung eingehalten oder übertroffen werden. Durch die Überwärmung der Stadt ist in dieser der Heizaufwand geringer, so dass sich hohe Bebauungsdichte und Versiegelungsgrad positiv auswirken, sofern das Ziel „reduzierter Heizenergieeinsatz“ im Vordergrund steht.

Für Wege, die im Freien zurückgelegt werden müssen, ist es bei Kältebelastung günstig in der Sonne zu gehen. Empfehlenswert sind deshalb Alleen mit laubwerfenden Bäumen, die in der kühlen Jahreszeit ein Gehen in der Sonne ermöglichen, im Sommer jedoch Schatten geben.

6.1.2 Wärmebelastung

Prinzipiell können zwei Arten von Wärmebelastung unterschieden werden:

- Nachmittägliche Wärmebelastung (Risikofaktor für empfindliche Menschen)
- Nächtliche Wärmebelastung während Hitzeperioden (mangelnde Erholung im Schlaf)

Analog zur Kältebelastung sind in Tabelle 6-2 die jeweiligen Aktivitäten und die Möglichkeit der Belastung auszuweichen, zusammengestellt.

Tabelle 6-2: Wärmebelastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussbare Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Bedingt (Kleidung, Klimatisierung)	Ausreichender Luftaustausch, reduzierte Außentemperatur	Bebauungsdichte, Versiegelungsgrad
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Nein	Ausreichender Luftaustausch	Lokale Windsysteme erhalten Bebauungsdichte
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja (Kleidung, Ort)	Klimavielfalt	Kurze Wege zw. Freiflächen, Parks, Waldbereichen, Siedlungsbereichen
Wege	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Möglichkeit im Schatten zu gehen	Alleen, Arkaden

Einer Wärmebelastung auszuweichen ist schon schwieriger, da durch die Wahl von Kleidung eine Minderung nur grenzt möglich ist. Der Aufenthalt in Innenräumen kann im Bedarfsfall durch Klimatisierung der Räume thermisch angenehm gestaltet werden. Dies ist in Büroräumen teilweise auch der Fall. In Wohnräumen ist dies hierzulande nicht üblich. Hier spielt vor allem die Nacht, in der die körperliche Regeneration im Schlaf stattfindet, eine wichtige Rolle. Einer Wärmebelastung kann nämlich in der Regel nicht ausgewichen werden.

Für Innenräume gibt die VDI-Richtlinie keine Bewertungsmaßstäbe an. Optimale Schlaftemperaturen liegen jedoch zwischen 16 und 18°C. Die folgende Abbildung zeigt einen Vergleich der Innenraum- zur Außentemperatur. Natürlich hängt die Innenraumtemperatur von zahlreichen Parametern ab, so dass die Temperaturverläufe nicht verallgemeinerbar sind.

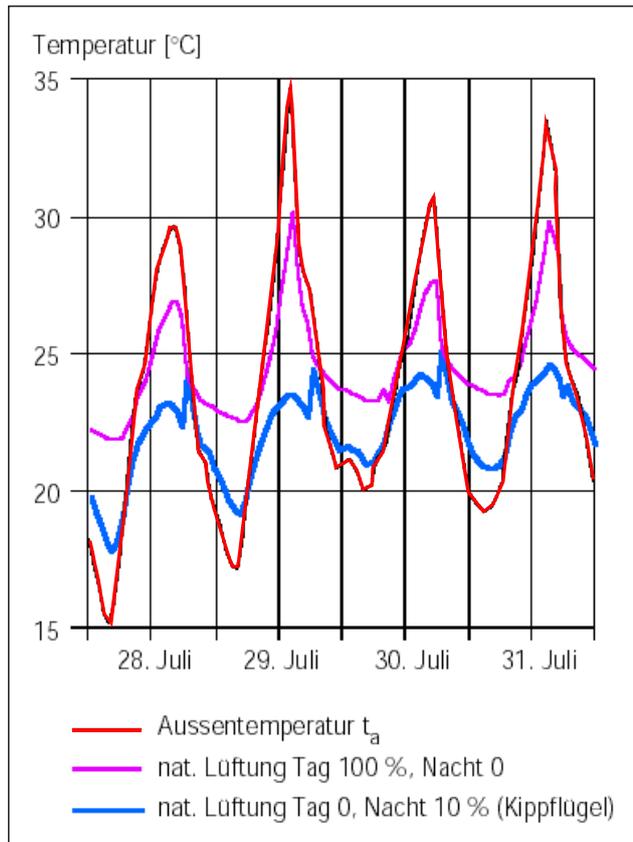


Abbildung 6-1: Temperaturgang bei unterschiedlichem Lüftungsverhalten; rot – Außenluft, lila – Fenster tagsüber geöffnet, nachts geschlossen; blau – Fenster tags geschlossen, nachts gekippt (aus Zimmermann, 1999)

Abbildung 6-1 zeigt, wie sich Lüftung auf die Innentemperaturen auswirkt. Hier stellt die rote Kurve die Außentemperaturen dar, die in der viertägigen Hitzeperiode zwischen 15 und 35°C schwankte. Sind tagsüber die Fenster geöffnet und nachts geschlossen (lila Kurve), wärmt sich die Raumluft tags stark auf und kühlt nachts nur wenig ab. Sind nachts die Fenster gekippt und tagsüber geschlossen (blaue Kurve), so kühlt die Raumluft nachts gut ab, erreicht jedoch nicht die Minimumtemperaturen der Außenluft. Tagsüber bleibt die Raumluft angenehm temperiert. Außerdem ist zu erkennen, dass sich die Raumluft auch bei richtigem Lüftungsverhalten mit zunehmender Dauer einer Hitzeperiode langsam erwärmt.

Folgende Sachverhalte gelten u.a. für Innenraumtemperaturen:

- Innenraumtemperaturen weisen einen ausgeglicheneren Temperaturtagesgang als die Außenluft auf (Speicherwirkung der Wände).
- Mit zunehmender Dauer einer Hitzeperiode erwärmt sich das Gebäude, so dass die Innentemperaturen langsam zunehmen.
- Durch Lüftung in den Nachtstunden kann die Innenraumtemperatur deutlich gesenkt werden.

Die Lüftung ist dann am effizientesten, wenn quergelüftet werden kann (offene Fenster auf gegenüberliegenden Gebäudeseiten). Bei der natürlichen Lüftung ist jedoch entscheidend, dass draußen eine gerichtete Luftbewegung vorhanden ist. Bei *Windstille* findet auch bei geöffneten Fenstern kaum ein Luftaustausch statt.

Ziel muss es folglich sein, den Luftaustausch vor allem nachts zu erhalten, denn dieser sichert eine effiziente Belüftung der Innenräume. Die Durchlüftung von Innenräumen bewirkt einen Abtransport der wärmeren Raumluft. Dadurch kühlen im Lauf der Nacht auch die Wände und Decken etwas ab. Fer-

ner wird ein leichter Luftzug bei Wärmebelastung thermophysiologisch günstig.

Bei unseren Aktivitäten im Außenbereich (Freizeit, Erholung, Wege) ist eine möglichst große Klimavielfalt günstig, da dann die Bereiche aufgesucht werden können, die dem jeweiligen Temperaturbedürfnis am Nächsten kommen.

6.1.3 Lufthygienische Belastung

Neben den thermischen Belastungen sind wir bei unseren Aktivitäten meist auch lufthygienischen Belastungen ausgesetzt. Tabelle 6-3 zeigt eine entsprechende Zusammenstellung.

Tabelle 6-3: Lufthygienische Belastung und Ausweichmöglichkeit in Abhängigkeit von der Aktivität

Aktivität	Raumbezug	Zeitbezug	Ausweichmöglichkeit	Ziel	Beeinflussbare Parameter (Stadtplanung)
Arbeiten, Schule usw.	überwiegend Innenräume	tags	Nein	Geringe Immission (hoher Luftaustausch)	Lage zu Emittenten Bebauungsdichte
Schlafen (körperliche Regeneration)	überwiegend Innenräume	nachts	Nein	Geringe Immission (hoher Luftaustausch)	Lage zu Emittenten Lokale Windsysteme erhalten Bebauungsdichte
Freizeit, Erholung	Außenbereich + Innenräume	Tag, frühe Nachtstunden	Ja	Geringe Immission	Sportanlagen, Freizeitanlagen nicht in hoch belasteten Zonen
Wege	überwiegend Außenbereich	Tag und Nacht	Bedingt	Weniger wichtig, da kurze Aufenthaltsdauer	Entflechtung Kfz-Verkehrswege - Fußwege

In natürlich belüfteten Innenräumen hängt die Schadstoffkonzentration von der Lage und Entfernung zu Emittenten ab. Dieser von außen geprägten Belastung kann in der Regel nicht ausgewichen werden. Von Seiten der Stadtplanung ist im Bereich von größeren Emittenten (in der Regel Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen) die Durchlüftung nicht einzuschränken. Neue Wohngebiete sollten nicht in direkter Nachbarschaft zu diesen Schadstoffquellen entstehen.